

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Ambiental e Ingeniera Ambiental*

**TRABAJO EXPERIMENTAL:**

**“DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL CANAL INTERNACIONAL  
ZARUMILLA FRENTE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS MEDIANTE  
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS”**

**AUTORES:**

KEVIN RICARDO MONTALUISA BALCÁZAR  
DOMÉNICA NICOLE SÁNCHEZ CUENCA

**TUTOR:**

ING. RUBÉN FERNANDO JERVES COBO, PhD

CUENCA - ECUADOR

2021

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Kevin Ricardo Montaluisa Balcázar con documento de identificación N° 0705971174 y Doménica Nicole Sánchez Cuenca con documento de identificación N° 0705801686, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales, en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL CANAL INTERNACIONAL ZARUMILLA FRENTE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Ambiental e Ingeniera Ambiental*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes cedida. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2021



Kevin Ricardo Montaluisa Balcázar

C.I. 0705971174



Doménica Nicole Sánchez Cuenca

C.I. 0705801686

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL CANAL INTERNACIONAL ZARUMILLA FRENTE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS”** realizado por Kevin Ricardo Montaluisa Balcázar y Doménica Nicole Sánchez Cuenca, obteniendo el *Trabajo Experimental*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2021



Ing. Civ. Rubén Jerves Cobo, Ph.D.

C.I. 0102017027

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Kevin Ricardo Montaluisa Balcázar con documento de identificación N° 0705971174 y Doménica Nicole Sánchez Cuenca con documento de identificación N° 0705801686, autores del trabajo de titulación: **“DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL CANAL INTERNACIONAL ZARUMILLA FRENTE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS”**, certificamos que el total del contenido del *Trabajo Experimental* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, febrero del 2021



Kevin Ricardo Montaluisa Balcázar

C.I. 0705971174



Doménica Nicole Sánchez Cuenca

C.I. 0705801686

## DEDICATORIA

*Este trabajo de titulación, se lo dedico a Dios y a la Virgen; porque ellos saben lo difícil de las adversidades que se presentaron a lo largo de esta meta, y que supieron darme tranquilidad, comprensión y sabiduría.*

*A mis padres Richard y Dora, por todos sus consejos y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, les dedico este trabajo que para mí es muy importante. Solo les digo este trabajo es por ustedes con mucho amor. Gracias por ser el mejor padre y la mejor madre que hay en el mundo. Los amo mucho.*

*A Daniel, mi hermano, mi gordo, mi gordito. Por ser una persona con el alma más sincera, pura y noble. Este trabajo fue por ti. Pará demostrarte que hay como divertirse y ser responsable a la misma vez. Solo te digo que las metas se cumplen y ¡Si se puede! Yo sé que tú puedes mucho más.*

*A mi abuelita Luzmila y Lilian, abuelito Segundo y Manuel, a mis tías Jenny, Jacqueline y Patricia, y a mis tíos Vinicio, Manuel y Marco. Por ser unas personas con bondad y amor en sus corazones, por apoyarme y siempre acordarse de mí, y hacerme sentir cerca de ustedes en los kilómetros que nos separan.*

*A Diana, mi novia, mi amada gorda, este trabajo te lo dedico con cariño y amor, por ser una mujer con corazón noble, humilde, paciente, comprensible y lleno de amor. Gracias por siempre apoyarme y darme palabras de aliento, gracias por hacerme feliz. Te amo mucho mi gorda hermosa.*

*A Doménica, mi amiga fiel y leal. Mi compañera de tesis, debes saber que di lo mejor de mí por nuestra amistad de tantos años, porque valoro cada momento que estuviste conmigo apoyándome. Míranos, ¡lo logramos! ¡Lo hicimos! Tenemos una vida por delante. Fighting!*

*A Fabián, mi amigo. Por ser una persona que nunca perdió la fe en mí y que siempre confío en mi trabajo. Gracias por hacerme sentir como todo un gran profesional. Usted es lo máximo.*

*A Catherine, Antonela y Diana. Por ser muy buenas amigas y por ser mis compañeras a lo largo de toda mi vida universitaria. Como alguien dijo, me llevo de ustedes esas anécdotas, enseñanzas y todos esos miles de risas, millones de risas.*

*A Lucita, Pauli, Jorge, Jairito, Joshi, Matito y a todos quienes forman parte de la mejor Unidad Técnica del Ecuador y el mundo, por ser unas personas divertidas y pacientes al enseñarme lo mucho que aprendí bajo sus tutelas. Diría mucho más pero no quiero ser dramático. Ustedes entienden.*

*Kevin Ricardo Montaluisa Balcázar*

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la salud, fortaleza y sabiduría que me permitieron llegar a este momento tan especial en mi vida y no dejarme vencer ante las adversidades.*

*A mis padres Clemente y Mercedes por ser el pilar más importante en mi vida, porque sin su amor, paciencia y apoyo incondicional no habría sido posible estudiar y cumplir un sueño más, gracias por confiar en mí recuerden que todo lo que soy se los debo a ustedes y no me alcanzará la vida para retribuirles todo lo que han hecho por mí. Los amo infinitamente.*

*A mi hermana Verónica, por siempre estar conmigo alentándome, aconsejándome, haberme escuchado cuando más lo necesitaba y estar al pendiente de mí. Gracias por ser mi cómplice en todo momento, eres y siempre serás la mejor hermana.*

*A mis abuelitos Noemí, Víctor y Emperatriz por siempre rezar por mí, sus oraciones y bendiciones me cuidaron en todo momento, gracias por su amor incondicional. Y a mi abuelito Demetrio quien desde el cielo me cuida y sé que se alegrará al ver a su nieta haber cumplido una meta, un sueño más.*

*A Joffre, mi novio, mi amigo, mi otra mitad, gracias por cuidarme y haber estado pendiente de mí en todo momento, cuando más lo necesitaba; gracias por tus consejos por darme un amor puro y sincero y nunca dejar que me rinda. Tienes un corazón de oro y te mereces lo más bonito de la vida. Te amo mi amor.*

*A Ricardo, mi compañero de tesis, mi amigo fiel desde hace muchos años, gracias por confiar en mí para realizar nuestro último trabajo de universidad. Lo logramos y te deseo de todo corazón que sigas cosechando muchos éxitos en la vida profesional, espero que nuestra amistad continúe. Fighting!!*

*A Fabián, mi mentor, porque en usted encontré un amigo incondicional, gracias por enseñarme más acerca de esta hermosa carrera de Ing. Ambiental, por haber sido un guía y un apoyo importante en el desarrollo de este trabajo de titulación. Mi criterio técnico y profesional se lo debo a usted, gracias por siempre confiar en mí y alentarme a ser mejor cada día. El mejor Ing. Ambiental del mundo mundial.*

*A mis amigas, Paula por ser mi amiga incondicional, gracias por escucharme y haber estado conmigo siempre, por haber compartido tantos momentos juntas, eres una persona de corazón noble y espero que triunfes y sigas cosechando más éxitos; a Marita, mi primera amiga que tuve en la universidad gracias por ayudarme a forjar mi carácter y encontrar mi personalidad, te deseo lo mejor del mundo y espero volvernos a encontrar más adelante como todas unas profesionales. Las quiero chicas y siempre ocuparán un lugar en mi corazón.*

*Doménica Nicole Sánchez Cuenca*

## **AGRADECIMIENTO**

*A la Universidad Politécnica Salesiana por haber sido el establecimiento educativo donde encontramos un hogar en todos nuestros años de estudio. Y por habernos ofrecido lo mejor para nosotros como estudiantes.*

*Agradecemos al Ing. Rubén Jerves Cobo por su paciencia, responsabilidad y su valioso aporte en nuestro trabajo de titulación. Pues gracias a su dirección y enseñanzas logramos cumplir con nuestro trabajo de titulación.*

*Agradecemos a todos los docentes que formaron parte de nuestra educación a lo largo de nuestra carrera universitaria. En especial a la Ing. Miriam Loayza quien, a más de haber sido una excelente directora de carrera, fue una gran amiga y consejera en todo momento.*

*Kevin Ricardo Montaluisa Balcázar y Doménica Nicole Sánchez Cuenca*

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como finalidad determinar la calidad del agua del canal internacional Zarumilla y el estero Puerto Hualtaco, mediante parámetros físicos, químicos y biológicos frente actividades antrópicas.

Para determinar el origen del problema se realizó una visita de campo que consistió en identificar qué actividades antrópicas son realizadas en el sector y mediante la matriz de importancia se identificó y valoró los impactos ambientales que causan dichas actividades. Teniendo como resultado que los impactos ambientales más críticos y los que causan mayor afectación son las descargas de aguas residuales, la presencia de residuos sólidos inorgánicos, la descomposición de residuos sólidos orgánicos y la presencia de sedimentos y la presencia de vectores que se dan en las zonas de Huaquillas (Ecuador) y Aguas Verdes (Perú) aledañas al canal de agua.

Se realizó el análisis de calidad de agua mediante la aplicación del Índice de Calidad del Agua e indicadores biológicos como el BMWP-Col, IBF-PR y AMBI, este último indicador biológico aplicado principalmente para el área de estuarios. Los resultados de manera general indicaron criterios de calidad de agua bajos en las zonas de los puntos de monitoreo 3, 4 y 5. Los parámetros evaluados con mayor representatividad en estos puntos son la DBO<sub>5</sub>, OD, amoniacos, fosfatos y coliformes fecales.

Se realizó un análisis comparativo con la normativa ambiental nacional para determinar que parámetros físicos, químicos y microbiológicos se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la Tabla 2. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios y la Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, del Acuerdo Ministerial 097-A reforma el Texto Unificado de Legislación Secundaria, Registro oficial N° 387 edición especial, específicamente en la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.

Estos análisis con la normativa ambiental nacional indican que del punto de monitoreo 2 al 3, la calidad del agua no es apta para preservar la vida acuática, indicando que la DBO<sub>5</sub>, OD y coliformes fecales son los parámetros que incumplen con los límites permisibles tanto para la estación seca como para la estación lluviosa. Mientras que los parámetros evaluados en el estero indican que están dentro del límite permisible a pesar de que el análisis del ICA y de los índices biológicos demuestran lo contrario.

**Palabras claves:** ICA, BMWP-Col, ACP, IBF-PR, AMBI, agua dulce, estuario, aguas residuales, residuos sólidos.



## ABSTRACT

The present research work was to determine the water quality of the Canal Internacional Zarumilla and the Puerto Hualtaco estuary, by means of physical, chemical and biological parameters against anthropic activities.

To determine the origin of the problem, a field visit was carried out that consisted of identifying which anthropic activities are carried out in the sector and, through the importance matrix, the environmental impacts caused by said activities were identified and assessed. As a result, the most critical environmental impacts and those that cause the greatest impact are wastewater discharges, the presence of inorganic solid waste, the decomposition of organic solid waste and the presence of sediments and the presence of vectors that occur in the areas of Huaquillas (Ecuador) and Aguas Verdes (Peru) adjacent to the water channel.

The water quality analysis was carried out using biological indicators such as ICA, BMWP-Col, IBF-PR and AMBI, this last biological indicator applied mainly to the estuarine area. The results generally indicated low water quality criteria in the areas of monitoring points 3, 4 and 5. The most representative parameters evaluated at these points are BOD5, DO, ammonia, phosphates, and fecal coliforms.

A comparative analysis with national environmental regulations was carried out to determine which physical, chemical and microbiological parameters are within the permissible limits established in Table 2. Acceptable quality criteria for the preservation of aquatic and wildlife in fresh, marine waters and estuaries and Table 9. Limits of discharge to a body of fresh water, Ministerial Agreement 097-A reforms the Unified Text of Secondary Legislation, Official Register No. 387 special edition, specifically in the Environmental Quality Standard and discharge of effluents: Water Resource.

These analyzes with the national environmental regulations indicate that from monitoring point 2 to 3, the water quality is not suitable to preserve aquatic life, indicating that BOD5, DO and fecal coliforms are the parameters that do not comply with the permissible limits for both the dry season as well as the rainy season. While the parameters evaluated in the estuary indicate that they are within the permissible limit, even though the analysis of the ICA and the biological indices show the opposite.

**Keywords:** ICA, BMWP-Col, PCA, IBF-PR, AMBI, fresh water, estuary, wastewater, solid waste.

## INDICE

<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>1.1 Identificación del problema y justificación</b> .....	16
<b>1.2 Delimitación del área de estudio</b> .....	18
<b>1.3 Objetivos</b> .....	19
<b>1.3.1 Objetivo general</b> .....	19
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	19
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	20
<b>2.1 Calidad del agua</b> .....	20
<b>2.2 Características hidromorfológicas</b> .....	21
<b>2.3.1 Parámetros físicos</b> .....	22
<b>2.3.2 Parámetros químicos</b> .....	23
<b>2.3.3 Parámetros microbiológicos</b> .....	26
<b>2.4 Macroinvertebrados como indicadores biológicos</b> .....	26
<b>2.5 Método de aforo por flotadores</b> .....	27
<b>2.6 Índice de calidad del agua (ICA)</b> .....	28
<b>2.6.1 Estimación del índice de calidad del agua (ICA)</b> .....	29
<b>2.7 Índice Biológico BMWP ( Biological Monitoring Working Party)</b> .....	30
<b>2.8 Índice Biótico de las Familias</b> .....	31
<b>2.9 Índice Biótico Marino (AMBI)</b> .....	31
<b>2.11 Análisis Estadístico</b> .....	32
<b>2.11.1 Matriz de correlación</b> .....	32
<b>2.11.2 Análisis de Componentes Principales (ACP)</b> .....	32
<b>2.12 Matriz de impacto ambiental</b> .....	33
<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	35
<b>3.1 Estaciones de muestreo</b> .....	35
<b>3.2 Metodología</b> .....	36
<b>3.2.1 Visita de campo al área de estudio</b> .....	38
<b>3.2.2 Determinación del caudal</b> .....	38
<b>3.2.4 Determinación del índice de calidad del agua (ICA)</b> .....	41
<b>3.2.4.1 Tipo de muestras</b> .....	41
<b>3.2.4.2 Frecuencia y procedimiento de muestreo</b> .....	41
<b>3.2.4.3 Cálculo del índice de calidad del agua (ICA)</b> .....	43

3.2.5	Determinación de los índices biológicos BMWP-COL, IBF PR y AMBI .....	45
3.2.5.1	Tipo de muestreo .....	45
3.2.5.2	Frecuencia y procedimiento de muestras en campo .....	45
3.2.5.3	Cálculo del índice biológico BMWP modificado para Colombia .....	48
3.2.5.4	Cálculo del Índice Biótico de las Familias (IBF) modificado para Puerto Rico .....	49
3.2.6	Análisis estadístico de los parámetros físicoquímicos, microbiológicos y biológicos .....	52
3.2.7	Análisis de cumplimiento de la normativa nacional de la calidad del agua .....	53
3.2.8	Matriz de Importancia.....	54
3.3	Consideraciones éticas .....	56
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>57</b>
4.1	Caracterización de actividades antrópicas desarrolladas en la zona de estudio. ....	57
4.2	Valoración cualitativa del impacto ambiental ocasionado por actividades antrópicas aplicando la matriz de importancia.....	62
4.2.1	Descripción de los impactos identificados.....	65
4.3	Análisis del caudal y velocidad .....	68
4.4	Resultados del análisis de la calidad hidromorfológica .....	69
4.5	Análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.....	72
4.6	Resultados del análisis con la normativa ambiental .....	81
4.7	Análisis del Índice de Calidad de Agua (ICA).....	85
4.8	Índice Biológico BMWP adaptado para Colombia (BMWP-Col) y Puntaje Promedio por Taxón (ASPT).....	87
4.9	Índice Biótico de Familias (IBF-PR) .....	90
4.10	Índice Biótico Marino (AMBI).....	91
4.11	Análisis de Componentes Principales para los parámetros físicoquímicos, índice BMWP-COL e índice AMBI en estación seca. ....	94
4.12	Análisis de Componentes Principales para los parámetros físicoquímicos, indicador BMWP-Col e indicador AMBI en estación lluviosa.....	96
Conclusiones .....		98
6.	Recomendaciones .....	101
7.	Referencias Bibliográficas .....	102
8.	ANEXOS .....	107

## INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Delimitación del área de estudio.....	19
Ilustración 2. Ubicación de puntos de muestreo .....	36
Ilustración 3. Esquema metodológico.....	37
Ilustración 5. Materiales usados en la medición del caudal.....	39
Ilustración 6. Sonda multiparamétrica .....	41
Ilustración 7. Registro Fotográfico de la toma de muestras de agua.....	42
Ilustración 8. Colecta de macroinvertebrados.....	46
Ilustración 9. Tratamiento para conservación de muestras .....	47
Ilustración 10. Procesamiento de muestras en laboratorio.....	48
Ilustración 11. Relación entre un gradiente de alteración o contaminación, el Índice Biótico, AMBI y la abundancia relativa de los diferentes grupos ecológicos. ....	52
Ilustración 12. Plantaciones de plátano.....	57
Ilustración 13. Presencia de residuos sólidos orgánicos en el canal internacional.....	58
Ilustración 14. Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el canal internacional .....	58
Ilustración 15. Tránsito peatonal sobre el canal de agua .....	59
Ilustración 16. Presencia de residuos sólidos como consecuencia del comercio de productos hidrobiológicos .....	60
Ilustración 17. Limpieza de vehículos de transporte de productos hidrobiológicos .....	60
Ilustración 18. Disposición de residuos sólidos domiciliarios.....	61
Ilustración 19. Descarga de aguas residuales.....	62
Ilustración 20. Porcentaje por tipo de impacto .....	68
Ilustración 21. Caudal y velocidades del efluente.....	69
Ilustración 21. Temperatura en estación seca y estación lluviosa.....	72
Ilustración 22. Sólidos totales en estación seca y estación lluviosa.....	73
Ilustración 23. Turbidez en estación seca y estación lluviosa.....	73
Ilustración 24. Conductividad eléctrica en estación seca y estación lluviosa .....	74
Ilustración 25. Salinidad en estación seca y estación lluviosa .....	75
Ilustración 26. Oxígeno Disuelto en estación seca y estación lluviosa.....	75
Ilustración 27. Potencial de hidrógeno en estación seca y estación lluviosa .....	76
Ilustración 28. Clorofila en estación seca y estación lluviosa.....	77
Ilustración 29. DBO <sub>5</sub> en las estación seca y estación lluviosa.....	77
Ilustración 30. Amoniaco en estación seca y estación lluviosa .....	78
Ilustración 31. Nitratos en estación seca y estación lluviosa .....	79
Ilustración 32. Fosfatos en estación seca y estación lluviosa.....	79
Ilustración 33. Cloruros en la estación seca y estación lluviosa .....	80
Ilustración 34. Coliformes fecales en estación seca y estación lluviosa .....	81
Ilustración 49. Índice de Calidad del agua para estación seca y lluviosa.....	87
Ilustración 50. Índice BMWP-Col para la estación seca y lluviosa.....	89
Ilustración 51. IBF-PR para estación seca y lluviosa.....	91
Ilustración 52. AMBI para estación seca y lluviosa.....	92
Ilustración 53. Abundancia de macroinvertebrados por sitios de muestreo.....	93
Ilustración 54. ACP para las variables fisicoquímicas y biológicas en estación seca.....	96
Ilustración 55. Varianza de los componentes principales para estación seca .....	96

Ilustración 56. ACP para las variables fisicoquímicas y biológicas en estación lluviosa .....	97
Ilustración 57. Varianza de los componentes principales para la estación lluviosa.....	98

### Índice de tablas

Tabla 1: Valores para variables hidromorfológicas de un cuerpo de agua .....	21
Tabla 2: <i>Factor de corrección para la velocidad superficial que depende del material del fondo del canal</i> .....	28
Tabla 3: Clasificación del ICA propuesto por Brown.....	29
Tabla 4: Pesos de los parámetros propuestos por Brown 1970.....	30
Tabla 5: Coordenada de los puntos de muestreo.....	35
Tabla 6: Asignación de valores.....	40
Tabla 7: Calidad hidromorfológica según valores obtenidos.....	40
Tabla 8: Parámetros usado para análisis del ICA.....	43
Tabla 9: Funciones de los Subíndices del WQI .....	44
Tabla 10: Puntos asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col.....	48
Tabla 11: Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP Col y ASPT.....	49
Tabla 12: Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del índice IBF-PR.....	50
Tabla 13: Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el puntaje total para el IBF-PR .....	50
Tabla 14: AMBI IB GE Clasificación Salud de la Comunidad Equivalencias entre el valor de AMBI, el Índice Biótico (IB), el GE dominante, la clasificación de la alteración y la salud de la comunidad. ....	51
Tabla 15: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.....	53
Tabla 16: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce .....	53
Tabla 17: Parámetros de importancia.....	54
Tabla 18: Valoración, calificación y significado del impacto.....	55
Tabla 19: Categorización del impacto .....	56
Tabla 20: Matriz de identificación de impactos.....	63
Tabla 21: Matriz de importancia .....	64
Tabla 22: Listado de impactos identificados.....	65
Tabla 23: Valores de caudal por estaciones .....	68
Tabla 24. Velocidad y profundidad del cuerpo de agua en cada punto de monitoreo .....	71
Tabla 25. Calidad hidromorfológica en cada punto de monitoreo .....	71
Tabla 26: Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 1 .....	81
Tabla 27: Evaluación de Límites Máximos permisibles en el punto 2 .....	82
Tabla 28: Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 3 .....	83
Tabla 29. Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 4 .....	83
Tabla 30: Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 5 .....	84
Tabla 31: Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 6 .....	84
Tabla 32: Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 7 .....	85
Tabla 33: índice de Calidad del agua para estación seca y lluviosa por sitio de muestreo .....	86

Tabla 34: Criterio general del ICA para estación seca y lluviosa .....	87
Tabla 35: Índice BMWP-Col para estación seca y lluviosa.....	88
Tabla 36: Criterio general del BMWP-Col para las estaciones seca y lluviosa.....	89
Tabla 37: IBF-PR para estación seca y lluviosa.....	90
Tabla 38: Criterio general del IBF-PR para estación seca y lluviosa.....	91
Tabla 39: AMBI para estación seca y lluviosa.....	92
Tabla 40: Criterio general del AMBI para estación seca y lluviosa.....	92
Tabla 41: Número de macroinvertebrados por familia en estación seca.....	107
Tabla 42: Número de macroinvertebrados por familia en estación lluviosa .....	108
Tabla 43: Componentes principales en estación seca .....	115
Tabla 44: Matriz de correlación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, índice de calidad del agua e índices biológicos en estación seca.....	116
Tabla 45: Componentes principales en estación lluviosa .....	117
Tabla 46: Matriz de correlación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, índice de calidad del agua e índices biológicos en estación lluviosa.....	118

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua es una de las causas principales de degradación ecológica a nivel mundial. Durante el último siglo el crecimiento demográfico y el aumento de las actividades humanas han provocado cambios y alteraciones en los ecosistemas naturales (Holguin-Gonzalez et al., 2014). La descarga de efluentes domésticos e industriales, así como las escorrentías urbanas y agrícolas, afectan los ecosistemas acuáticos dificultando su capacidad de autodepuración dando como resultado alteraciones en sus funciones ecológicas, en la diversidad biológica, crecimiento excesivo de la vegetación y disminución de las actividades fotosintéticas (Escobar, 2002).

La importancia de conocer la calidad de los cuerpos de agua ha llevado a la realización de diversas investigaciones, con el fin de utilizar modelos matemáticos (fórmulas o ecuaciones) que permitan identificar de manera confiable y real el estado fisicoquímico y biológico de los recursos hídricos (García, 2012). Los índices fisicoquímicos y bacteriológicos presentan gran número de variables clasificadas en 5 categorías establecidas por Dunnet en 1979: nivel de oxígeno, eutrofización, aspectos de salud, características físicas y sustancias disueltas; los índices biológicos, como los macroinvertebrados, se presentan como una herramienta complementaria en el monitoreo y evaluación de la calidad del agua debido a que aportan una visión más completa sobre las condiciones de los cuerpos de agua (Pontón, 2018).

El canal internacional Zarumilla construido por el Perú, dentro del marco del Protocolo de Río de Janeiro del año 1942, constituye el límite fronterizo entre los países de Ecuador y Perú; y se encuentra ubicado en el cantón Huaquillas, Provincia de El Oro, al sur del Ecuador y al norte del Perú. Cuenta con una longitud de aproximadamente 23 km y divide a las localidades fronterizas de Huaquillas (Ecuador) y Aguas Verdes (Perú). El canal se abastece del agua del río Zarumilla gracias a la bocatoma La Palma (SENAGUA, 2013). La infraestructura empezó a funcionar en el año 1947, con el objetivo de suministrar de agua de riego a 1,400 ha de terrenos de cultivo del Perú y Ecuador, con recursos del río Zarumilla en época de lluvias. Aproximadamente el 60% de la longitud del canal cuenta con un revestimiento de concreto que permite el transporte del caudal de diseño de 4 m<sup>3</sup>/s; salvo en tramos puntuales donde el revestimiento ha colapsado como consecuencia de ingresos de agua producto del drenaje pluvial de la zona. El 40% restante del canal cuenta con un revestimiento muy deteriorado, dejando al descubierto el suelo del lugar y un crecimiento excesivo de vegetación, afectando el caudal que atraviesa por el este lo que provoca acumulación de sedimentos y de residuos sólidos (SENAGUA, 2013).

Debido al acelerado incremento de la población y a las actividades antrópicas que se desarrollan a lo largo del canal, tanto agrícolas, como urbanas y pecuarias, se ha deteriorado drásticamente la calidad del agua del canal, esta agua a su vez desemboca al manglar de Puerto Hualtaco y posteriormente llega al mar.

Son muy pocos los estudios y proyectos de carácter ambiental que se han realizado en esta área sobre la evaluación de la calidad del agua en el canal. La investigación realizada por (Granda & Echeverría, 2007) en un tramo del canal, la misma que comprende un poco más de 150 m del área urbana (Calle Benalcázar hasta la Plazoleta Cívica), demuestra que la principal fuente de afectación son las descargas directas de aguas servidas provenientes de la red de alcantarillado del cantón, así como las descargas de desechos sólidos en zonas donde la recolección municipal no abastece. (Luna, 2016), indica que en el sector La Playita del cantón Huaquillas, existen actividades de comercialización con el país vecino de productos hidrobiológicos; en dichos lugares los residuos sólidos son arrojados al canal, al igual que las descargas líquidas de la limpieza de los productos en mención y de los camiones de abastecimiento, afectando las condiciones físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua.

Desde 1998, año en que se firmó el Acuerdo de Paz entre Ecuador y Perú, se han realizado obras de saneamiento del canal; sin embargo, estas solo se han limitado a la limpieza de este, el cual se lo realiza dos veces por año. A pesar de esto no se ha logrado grandes cambios debido a las deficiencias de gestión de residuos sólidos en la ciudad (Plan Binacional Ecuador & GAD Huaquillas, n.d.).

### **1.1 Identificación del problema y justificación**

La afectación ambiental a los cuerpos hídricos, como otras preocupaciones ambientales, ha sido de interés público desde hace varias décadas (Abel, 1996). Si bien esto tiene muchos beneficios, a veces puede parecer que la percepción de público sobre la afectación al agua, como se manifiesta, por ejemplo, en el debate político y las actividades de los grupos de presión, no siempre concuerdan con la realidad científica (Abel, 1996). El desconocimiento de las condiciones ambientales en las que se encuentra un cuerpo hídrico puede conducir a acciones mal aconsejadas o ineficaces en cuanto a costos, incluida la legislación y regulación, en un intento de lidiar con problemas percibidos o publicitados que muchas veces resultan ser menos serios que otros. Por lo tanto, es importante tener una idea clara de la naturaleza real y el alcance de la afectación (Abel, 1996)

Para determinar la necesidad de tratamiento del agua y la correcta tecnología de tratamiento, los contaminantes específicos en el agua deben ser identificados y ser medidos. En casi todos los países desarrollados, el control de la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos se realiza mediante el uso conjunto de diferentes tipos de análisis fisicoquímicos e índices biológicos (FAO, 1981). Los análisis fisicoquímicos son el único método existente para la identificación y cuantificación de contaminantes, pero sólo proporcionan valores de calidad instantánea del agua. En la normativa de la mayoría de los países del mundo incluyendo Ecuador están definidos estándares de calidad de las aguas, dependiendo si éstas son para consumo, abastecimiento, recreación, agricultura, uso piscícola, etc. (Ocasio, 2008); también están



determinadas para muchos países la frecuencia y las técnicas analíticas de aplicación. A pesar de lo anterior, el análisis periódico de los parámetros fisicoquímicos no siempre es suficiente para determinar la calidad del medio acuático, debido a que estos análisis no muestran la alteración del hábitat físico (L. Álvarez, 2005).

Es por eso, que se utilizan indicadores biológicos, para complementar los resultados obtenidos a partir de los análisis fisicoquímicos; sin embargo, es casi imposible identificar los agentes contaminantes existentes en el medio. Las ventajas de los índices biológicos son que no se limitan al momento de toma de la muestra, revelan cambios producidos en un periodo de tiempo, ya que los organismos vivos presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales y límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas, permitiendo así tener una cierta visión histórica de los cambios ocurridos en un período de tiempo, en función de la dinámica de las comunidades biológicas presentes (L. Álvarez, 2005). La Directiva Marco del Agua (DMA) establece que, el seguimiento biológico es una herramienta útil para la evaluación de procesos de recuperación en ambientes acuáticos y debe formar parte, necesariamente, de la gestión ambiental del medio (A. Borja, Muxika, & Franco, 2006).

El canal internacional Zarumilla atraviesa tres zonas: agrícola, urbana y acuícola, durante todo este trayecto y debido a las actividades antrópicas desarrolladas, el canal se ha convertido en un lugar de acumulación de desechos sólidos producto de un deficiente sistema de gestión de residuos sólidos. Además, se evidencia varios puntos de descargas de aguas residuales provenientes de conexiones clandestinas de viviendas ubicadas a lo largo del canal en las ciudades de Aguas Verdes y Huaquillas, todo esto ha contribuido a la generación de olores, cambios en la coloración del agua del canal, acumulación de sedimentos, crecimiento excesivo de vegetación, entre otros (Luna, 2016). A su vez el agua del canal desemboca en el estero Puerto Hualtaco, el mismo que demarca una zona de bosque tropical y un brazo de mar, constituido por varios manglares; y sigue su recorrido hasta llegar al mar. Es por ello la necesidad de evaluar la calidad del agua del canal debido a que se ven comprometido varios ecosistemas acuáticos, pudiendo verse afectado el equilibrio ecológico del canal y del estero Puerto Hualtaco, generando condiciones favorables para ciertas comunidades acuáticas y terrestres y perjudicando a otras, repercutiendo directamente en la cadena alimenticia de estos ecosistemas (Cocha, 2009).

Esta investigación tiene la finalidad de brindar información técnica sobre el estado de la calidad del agua del canal y su incidencia en el estero Puerto Hualtaco, mediante la utilización de parámetros físicos químicos y de macroinvertebrados acuáticos (bioindicadores) presentes, que permitan evaluar el estado de la calidad ecológica del canal y del estero, para así determinar si existe afectación ambiental y cuál sería el grado de afectación (leve, moderada, grave o crítica) en estos dos puntos de interés. Además, se espera que

esta investigación sirva como una base científica y sustento legal para futuros estudios y toma de decisiones por parte de las autoridades competentes.

## **1.2 Delimitación del área de estudio**

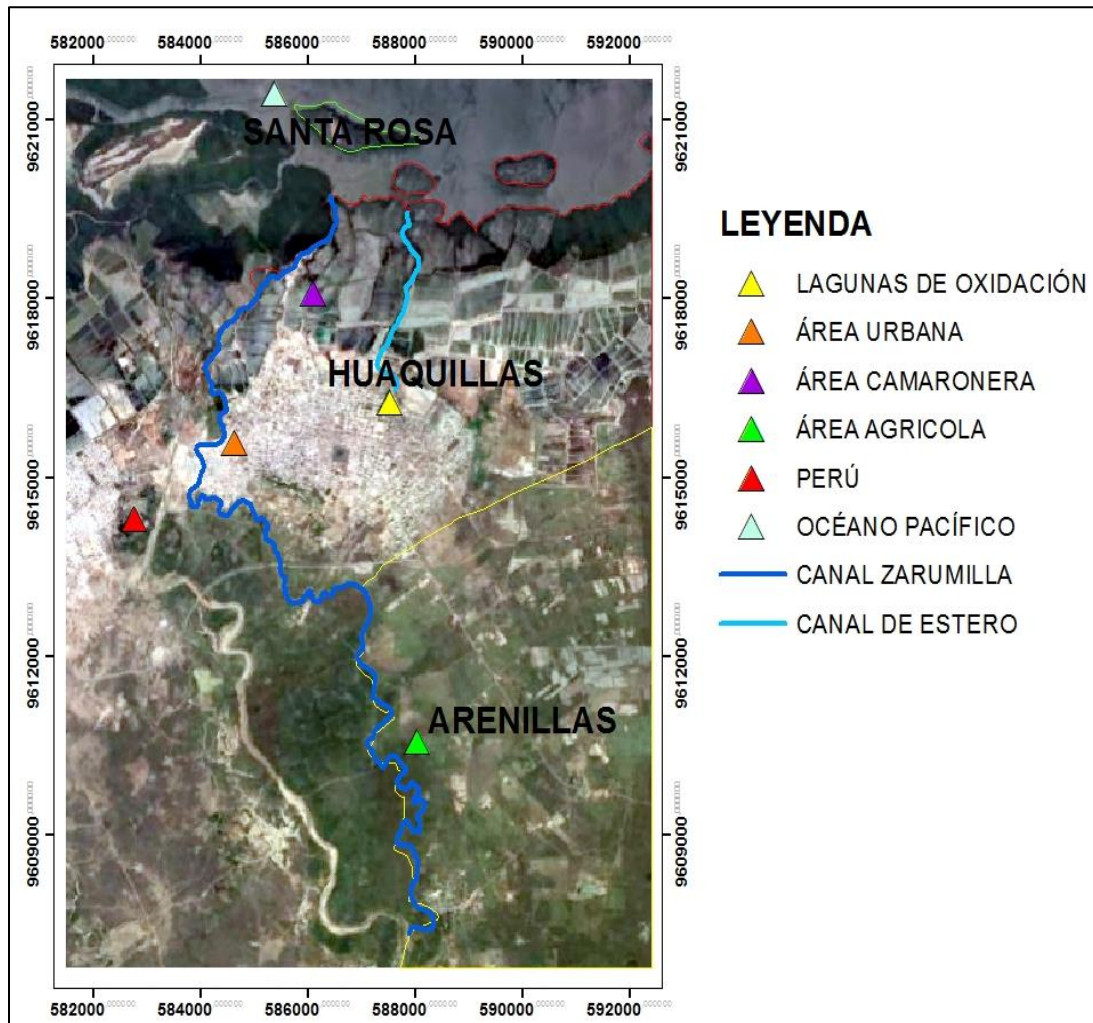
El área de estudio se limita a un sector ubicado al Noreste del Cantón Arenillas y al Suroeste del Cantón Huaquillas extendiéndose hasta el Norte de la misma ciudad, donde además del estudio del canal internacional Zarumilla, se investigará el estado de un pequeño brazo de estuario que desemboca desde el área urbana de Huaquillas hasta el área de manglares (ver ilustración 1). Los sectores mencionados están ubicados en los límites fronterizos dispuestos de manera lineal (Porción de 23 Km del Canal Internacional Ecuador-Perú iniciando desde la presa Bocatoma-La Palma) y sus alrededores. Su conformación sirve para abastecer zonas de riego y posteriormente atraviesa la zona urbana y acuícola de Huaquillas; finalmente pasa por zona de manglares y desemboca en el Océano Pacífico (Aguas., 2011). Con base a esto la ciudad de Huaquillas está directamente relacionada durante el paso de este canal, con una población estimada de 60.440 habitantes (INEC, 2010).

El área de estudio es de 46 km<sup>2</sup>, que representa el 5% del área total de la cuenca del río Zarumilla. Del área de estudio, 20 km<sup>2</sup> corresponde al área que el canal atraviesa junto a zonas pobladas (Huaquillas y Aguas Verdes), 16 km<sup>2</sup> pertenecen al área que el canal atraviesa por zonas de cultivo y riego, 9 km<sup>2</sup> corresponde al área que el canal pasa junto a zonas de actividades acuícolas y 1 km<sup>2</sup> es zona de manglares.

El flujo de este canal está regulado por la Presa Bocatoma-La Palma. El objetivo principal de la infraestructura es captar el caudal del río Zarumilla para desviarlo hacia el Canal Zarumilla, posibilitando el riego de alrededor de 1400 Ha de terrenos agrícolas en el Perú y Ecuador (SENAGUA, 2013).

En estación lluviosa este flujo se ve disminuido debido a la extracción de agua dentro de los primeros 15 km, flujo que se utiliza para atender las necesidades de las actividades agrícolas. Como consecuencia de estas actividades, hay una disminución del caudal antes de pasar por el área urbana, además, debido a la cercanía del mar, el canal se une con un brazo de mar, sirviendo como suministro de agua de para las actividades camaroneras del sector; sin embargo, en estación seca, el flujo de agua se agota dejando como resultado un reservorio residual de agua, en el área urbana de la Ciudad de Huaquillas, reservorio que se mantiene intacta hasta la próxima estación lluviosa.

Ilustración 1. Delimitación del área de estudio



Fuente: Autores

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua del canal internacional Zarumilla mediante la aplicación de índices que incluyen en su determinación parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos o biológicos.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las actividades antrópicas realizadas que influyan directamente sobre el Canal Internacional de Zarumilla y por ende a la zona del estuario.
- Valorar cualitativamente el impacto ambiental ocasionado por actividades antrópicas.
- Definir cuantitativa y cualitativamente los índices; ICA, BMWP-COL, IBF-PR y AMBI.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 Calidad del agua

Los cuerpos de agua se caracterizan generalmente por tres componentes principales: hidromorfología, condiciones fisicoquímicas y biológicas. Una evaluación completa de la calidad del agua se basa en seguimiento adecuado de estos componentes (Chapman, 1992)

La calidad del agua describe la condición en la que se encuentra un determinado cuerpo de agua teniendo en cuenta sus características físicas, químicas y biológicas, generalmente con respecto a su idoneidad para sustentar diversos usos o procesos (necesidades de una o más comunidades bióticas o cualquier necesidad o propósito humano, etc.) (Bartram & Ballance, 1996). Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se encuentran relacionados con la salud de los ecosistemas, salud humana y agua potable. Además, involucra las acciones de valoración y monitoreo (Fernandez & Solano, 2005).

La calidad del agua se puede medir por varios parámetros, como la concentración de oxígeno disuelto, bacterias, salinidad, turbidez, clorofila, etc. En ciertos cuerpos de agua, la concentración de algas microscópicas y las cantidades de pesticidas, herbicidas, metales pesados y otros contaminantes también pueden medirse para determinar la calidad del agua (UNITED NATIONS, 2014).

De acuerdo con lo expresado por UNESCO/WHO/UNEP (1992), el proceso de la valoración de la calidad de agua corresponde a la evaluación de la naturaleza, química, física y biológica del agua, en relación con su calidad natural, efectos humanos y uso pretendido, incluidos: consumo, recreación, irrigación y pesca; y particularmente, usos que puedan afectar la salud pública o la “salud” de los sistemas acuáticos (Fernandez & Solano, 2005).

La finalidad de la evaluación de la calidad del agua pueden ser resumidos de la siguiente manera (Fernandez & Solano, 2005) :




- Verificar si la calidad de agua observada es adecuada para el uso pretendido. Por ejemplo, si un conjunto de estándares es alcanzado.
- Determinar tendencias en la calidad de agua y en la evaluación de impactos tales como la liberación de contaminantes o los efectos de medidas de restauración.
- Estimar el flujo de nutrientes o contaminantes. o valorar el entorno y trasfondo de la calidad de los ambientes acuáticos.

## 2.2 Características hidromorfológicas

Las características hidromorfológicas hacen referencia a la vegetación que se encuentra en la periferia o dentro de un cuerpo de agua, el paisaje próximo al cuerpo de agua y algunos otros, como su forma y sustrato. El objetivo es valorar cual es el grado de degradación del canal fluvial y de la vegetación de ribera adyacente que son el soporte de las comunidades biológicas de un cuerpo de agua. Algunas veces, aunque la calidad del agua (física, química y microbiológica) sea buena, la alteración del canal y de las riberas afecta a las comunidades biológicas del río y puede reducir su diversidad. (Encalada, Rieradevall, Ríos-Touma, García, & Prat, 2011).

Para llevar a cabo la evaluación de calidad ecológica en cuerpos de agua se escoge un tramo que mida entre 50 y 100 metros de longitud. Para Encalada et al. (2011) se observan y valoran ocho variables como: *la vegetación de la ribera de un cuerpo de agua*, es decir, si la vegetación está compuesta por árboles o bosques mixtos de especies nativas, arbustos, árboles introducidos, cultivos y pastos o si está compuesto por tierra baldía; *la continuidad de ribera*, que es, si la vegetación que hay en la ribera está conectada con otros paisajes naturales o si, por el contrario, está rodeada de plantaciones, potreros o elementos urbanos; *la conectividad de vegetación*, es decir, si el paisaje próximo está compuesto de vegetación natural, por una combinación de bosques de cultivos, si la vegetación está próxima a elementos de urbanismo o si está ocupado por agricultura; *presencia de basuras y escombros*, que será evaluada de acuerdo a la dificultad que represente limpiarla o removerla; *la naturalidad del canal*, es decir, si el cuerpo de agua no muestra signos de que su cauce haya sido modificado, no esté rectificado ni canalizado, y no tiene cemento, ni estructuras sólidas, se considera que es completamente natural; *la composición de sustrato*, donde se evalúa la presencia de los distintos sustratos que se encuentra en el cuerpo de agua; *velocidad y profundidad del cuerpo de agua*, en donde, se evalúan distintas combinaciones de profundidades presentes en el río, así como la velocidad; y finalmente *elementos de heterogeneidad*, esta sección evalúa elementos de heterogeneidad que favorecen el aumento de biodiversidad de organismos acuáticos, tales como, hojarasca, troncos y ramas, diques naturales, raíces sumergidas, vegetación acuática sumergida (musgos y plantas) y vegetación acuática sumergida (algas). Una vez obtenido los valores de cada parámetro se realiza la sumatoria correspondiente y se compara con la Tabla 1 para determinar la calidad hidromorfológica.

Tabla 1: Valores para variables hidromorfológicas de un cuerpo de agua

Calidad del agua	Color	Valor
Excelente		0-10
Buena		10-20
Moderada		20-28

Mala		28-35
Pésima		>35

*Fuente: Encalada et al. (2011)*

## 2.3 Características físicoquímicas y microbiológicas del agua

Los programas de monitoreo de la calidad de agua en su mayoría abarcan la determinación de una amplia cantidad de variables tanto físicas, químicas y microbiológicas en distintos puntos; y con los resultados obtenidos del monitoreo se lleva a cabo una apreciación del estado del cuerpo hídrico (Teixeira de Mello, 2007).

### 2.3.1 Parámetros físicos

#### Sólidos totales

Los sólidos totales disueltos (TDS) definido analíticamente como residuo filtrable total (en mg/L), es un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua, y proporciona una indicación general de la calidad química del agua (Carpio, 2007). La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un cuerpo agua (Argandoña & Macías, 2013). Los “sólidos totales” se definen como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103°C - 105 °C. El valor de los sólidos totales incluye sólidos disueltos totales, que es la cantidad de sólidos que pasa a través del filtro y sólidos suspendidos totales que es la cantidad de sólidos totales retenidos en el filtro (Carpio, 2007). La presencia de sólidos en suspensión determina el grado de turbidez presente en el agua, mientras que la de sólidos disueltos determina la salinidad del medio, y en consecuencia la conductividad de este (Argandoña & Macías, 2013)

#### Turbidez

Es la disminución de la transparencia de un líquido causada por la presencia de sólidos suspendidos coloidales y/o particulares (Bartram & Ballance, 1996). La presencia de materia suspendida en el agua puede indicar un cambio en su calidad (por ejemplo, contaminación por microorganismos) y/o la presencia de sustancias inorgánicas finamente divididas (arena, fango, arcilla) o de materiales orgánicos. La turbidez es un factor ambiental importante en las aguas naturales, y afecta al ecosistema ya que la actividad fotosintética depende en gran medida de la penetración de la luz. Las aguas turbias tienen, por supuesto, una actividad fotosintética más débil, lo que afecta a la producción de fitoplancton y también a la dinámica del sistema (Argandoña & Macías, 2013).

## **Temperatura**

La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. La temperatura de un cuerpo de agua se ve influenciada por la latitud, la altitud, la estación, la hora del día, la circulación del aire, la capa de nubes y el flujo y la profundidad de la masa de agua; y afecta los procesos físicos, químicos y biológicos en los cuerpos de agua, así como la concentración de algunas variables. A medida que aumenta la temperatura del agua también lo hace la velocidad de las reacciones químicas, generalmente aumenta junto con la evaporación y volatilización de sustancias del agua (Chapman, 1992). Al aumentar la temperatura disminuye la solubilidad de gases en el agua, como O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y otros. El metabolismo de los organismos acuáticos también está relacionado con la temperatura, y en aguas cálidas, la tasa de respiración aumenta, lo que lleva a un mayor consumo de oxígeno y una mayor descomposición de la materia orgánica. Las tasas de crecimiento también aumentan (siendo más evidente para las bacterias y el fitoplancton, que duplican sus poblaciones en períodos de tiempo muy cortos), aumentando la turbidez del agua, el crecimiento de vegetación acuática y el desarrollo de algas, cuando las condiciones de nutrientes son adecuadas (Chapman, 1992).

## **Conductividad**

La conductividad, es una medida de la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica expresado en microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ). Está relacionado con las concentraciones de sólidos disueltos totales e iones y es sensible a las variaciones de estos, es decir el grado en que los TDS se disocian en iones, la cantidad de carga eléctrica en cada ión, la movilidad de los iones y la temperatura de la solución influyen en la conductividad. Además, de ser un indicador aproximado del contenido mineral cuando otros métodos no pueden usarse fácilmente, la conductividad se puede medir para establecer una zona de contaminación, por ejemplo, alrededor de una descarga de efluentes, o la extensión de la influencia de las aguas de escorrentía (Chapman, 1992).

### **2.3.2 Parámetros químicos**

#### **DBO<sub>5</sub>**

Es la cantidad total de oxígeno disuelto consumida por los microorganismos durante los primeros cinco días de biodegradación de la materia orgánica presente en el agua. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas (Raffo & Ruiz, 2014)

### **Amoníaco (NH<sub>3</sub>)**

El amoníaco se produce de forma natural en los cuerpos de agua por descomposición de materia orgánica e inorgánica nitrogenada en el suelo y el agua, la excreción de la biota, la reducción del gas nitrógeno en el agua por los microorganismos y el intercambio de gases con la atmósfera. De manera antrópica se genera por la descarga de procesos industriales (por ejemplo, la producción de pulpa y papel a base de amoníaco), vertimiento de desechos municipales o comunitarios, etc. Las altas concentraciones de amoníaco (NH<sub>3</sub>) son tóxicas para la vida acuática y, por lo tanto, perjudiciales para el equilibrio ecológico de los cuerpos de agua (Chapman, 1992). Además, es un indicador de contaminación orgánica, provocada por la descarga de aguas residuales domésticas, desechos industriales y escorrentía de fertilizantes, o como resultado de la muerte y descomposición de los organismos acuáticos, en particular el fitoplancton y bacterias (Chapman, 1992).

### **Nitritos (NO<sup>-2</sup>) y Nitratos (NO<sup>-3</sup>)**

Son compuestos solubles formados por moléculas de nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO<sup>-2</sup>) generalmente se convierte a nitrato fácilmente (NO<sup>-3</sup>), lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas. Las actividades antrópicas incrementan los niveles de concentración principalmente en el suelo, y es debido a su solubilidad en agua, que llega a alcanzar concentraciones importantes en algunos cuerpos de agua como ríos o lechos profundos. Las fuentes de contaminación de las aguas naturales por compuestos nitrogenados se vinculan a actividades de origen agrícola, industrial, ganadero o urbano (vertido de residuos industriales, de aguas residuales urbanas o de efluentes orgánicos de las explotaciones ganaderas, y lixiviación de vertederos, entre otros), y también por las descargas de la emisión de gases de vehículos (Bolaños, Cordero, & Segura, 2017).

### **Ortofosfatos**

El fósforo se oxida rápidamente en las rocas terrestres como ortofosfato, en el agua también se lo encuentra como: piro-meta- polifosfatos y ligados a moléculas compuestas orgánicas. Todas estas formas se presentan en solución, partículas o detritus. El orto fosfato (ácido fosfórico o normal) es muy soluble y es la fracción útil que absorben las plantas autótrofas. En ciertos casos se lo considera como un limitador del crecimiento; la ruta de ingreso del ortofosfato hacia las masas de agua superficiales o subterráneas se da por la descarga de aguas residuales (domiciliarios o industriales), escorrentías agrícolas, etc. Por un lado pueden estimular el crecimiento de micro o macroorganismos acuáticos fotosintéticos en cantidades exageradas o, por otro lado, contaminar las capas freáticas (Maisterrena, 1999)



## **Fosfatos totales**

El fósforo es un nutriente esencial para los organismos vivos y existe en los cuerpos de agua como especies tanto disueltas como particuladas. Generalmente es el nutriente limitante para el crecimiento de algas y, por lo tanto, controla la productividad primaria de un cuerpo de agua. Las altas concentraciones de fosfatos pueden indicar la presencia de contaminación y son en gran parte responsables de las condiciones eutróficas (Chapman, 1992). El fósforo total (PT) es una medida de la concentración del fósforo total biológicamente disponible y por ende de la calidad del cuerpo de agua (Sánchez, n.d.)

## **Cloro**

La mayor parte del cloro se presenta como cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) en solución. Entra en aguas superficiales con la deposición atmosférica de aerosoles oceánicos, la meteorización de algunas rocas sedimentarias (principalmente depósitos de sal gema), la descarga de efluentes industriales y cloacales, y escorrentías agrícolas. Las altas concentraciones de cloruro pueden hacer que las aguas sean desagradables y, por lo tanto, no aptas para consumo. Dado que el cloruro se asocia con frecuencia con las aguas residuales, a menudo se incorpora en las evaluaciones de la calidad del agua como una indicación de una posible contaminación fecal o como una medida del grado de dispersión de las descargas de aguas residuales en los cuerpos de agua (Chapman, 1992).

## **Oxígeno disuelto**

Este parámetro hace referencia a la cantidad disuelta de oxígeno en el agua. Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida (Ocasio, 2008)

## **Clorofila**

Se considera la variable principal para evaluar el estado trófico de un cuerpo de agua, determina la productividad y la condición de estuarios, costas y las aguas oceánicas, reflejando el efecto integrado de muchos de los factores de calidad del agua que pueden ser alterados por las actividades de restauración (Boyer, Kelble, Ortner, & Rudnick, 2009).

## **pH**

El pH tiene una escala de medida de 0 a 14, representa la acidez o alcalinidad del cuerpo de agua, configurándose de 0 a 7 como una sustancia ácida y desde 7 a 14 como alcalina, un valor de pH 7 indica neutralidad. Las aguas naturales pueden tener pH ácido debido al  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  disueltos. Las aguas contaminadas por descargas de aguas residuales suelen tener un pH muy ácido (Ocasio, 2008).

### **2.3.3 Parámetros microbiológicos**

#### **Coliformes fecales**

Los coliformes fecales también denominados coliformes termo tolerantes porque soportan temperaturas hasta de 45 °C. Aunque los coliformes en sí mismos se consideran benignos, indican la presencia de contaminación fecal que puede contener organismos patógenos, como salmonella, shigella y virus entéricos. Son mejores indicadores de higiene en alimentos y en aguas, la mayoría son E. coli (Bohn & Buckhouse, 1985).

#### **2.4 Macroinvertebrados como indicadores biológicos.**

Son aquellos organismos invertebrados que durante algún momento de su ciclo de vida habitan algún tipo de ambiente y en la mayoría de los casos son lo suficientemente grandes para ser vistos en campo sin necesidad de usar métodos ópticos de aumento y se agrupan en distintos grupos taxonómicos tales como artrópodos, anélidos, moluscos y platelmintos. La mayoría de macroinvertebrados acuáticos presentes en cuerpos de agua se encuentran relacionados a los diferentes sustratos estables presentes en el fondo del agua conformando así la comunidad bentónica. Esta suele extenderse en todo el gradiente longitudinal, desde las cabeceras de pequeñas quebradas o arroyos hasta la desembocadura de grandes ríos (González, Crespo, Acosta, & Hampel, 2019).

Son excelentes indicadores de la calidad del agua, y, al usarlos en el monitoreo, se puede evidenciar el estado en que se encuentra un determinado cuerpo de agua, debido a que algunos de ellos requieren agua en buenas condiciones para sobrevivir, y otros, en cambio, resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación. Por ejemplo, las moscas de piedra sólo viven en agua muy limpia y desaparecen cuando el agua está contaminada a diferencia de algunas larvas o gusanos de otras moscas que resisten la contaminación y abundan en agua sucia. Estas larvas, al crecer, se transforman en moscas que provocan enfermedades como la malaria o el paludismo (Carrera & Fierro, 2001).

#### **Se los puede encontrar en:**

Los macroinvertebrados pueden vivir en hojas flotantes y en sus restos, en troncos caídos y en descomposición, en el lodo o en la arena del fondo del río, sobre o debajo de las piedras, donde el agua es más correntosa y en lagunas, lagos, aguas estancadas, pozas y charcos, etc. (Carrera & Fierro, 2001).

### Se pueden alimentar de:

Vegetaciones acuáticas, restos de plantas y algas, otros invertebrados y peces, pequeñas fracciones de comida en estado descomposición y elementos nutritivos del suelo, animales en descomposición, elementos nutritivos del agua, sangre de otros animales, etc. (Carrera & Fierro, 2001).

### **2.5 Método de aforo por flotadores**

El método de aforo por flotadores es un método de campo, sencillo y rápido para estimar el caudal de agua que pasa en una sección transversal del río. Con este método se calcula las velocidades superficiales de la corriente de un canal o río, utilizando materiales sencillos (flotadores) que se puedan visualizar y cuya recuperación no sea necesaria (Díaz, Leon, & Ramos, 2015).

Los objetos se mueven a igual velocidad que el agua en la cual permanecen flotando, de tal manera que al medir la velocidad del objeto flotante se puede medir la línea de flujo en el cual se mueve; según lo citado por Chamorro de Rodriguez (2011) el cálculo para la medición del caudal es el siguiente:

$$Q = A * V$$

#### **Donde:**

Q: Caudal (m<sup>3</sup> /s)

A: Área (m)

V: Velocidad (m/s)

#### **Cálculo del área**

$A = h_p * a$ , donde  $h_p$  es la profundidad promedio del río y  $a$  es el ancho del río, ambas cantidades expresadas en metros.

#### **Cálculo de la velocidad**

$V = d / t$ , donde  $d$  es la distancia recorrida por el flotador expresada en metros, y  $t$  es el tiempo promedio que recorren los flotadores en segundos.

Con el fin de corregir la velocidad superficial encontrada, se debe multiplicar por un coeficiente de corrección, debido a que los valores obtenidos por este método son valores aproximados. En la Tabla 2 se establecen los factores de corrección para los distintos tipos de material que fondo que presente el río.

Tabla 2: Factor de corrección para la velocidad superficial que depende del material del fondo del canal

Factor de Corrección	Material
0,4-0,52	Poco áspero
0,46-0,75	Grava con hierba y caña
0,58-0,7	Grava gruesa y piedras
0,7-0,9	Madera, hormigón o pavimento
0,62-0,75	Grava
0,65-0,83	Arcilla y arena

Fuente: García (2012)

## 2.6 Índice de calidad del agua (ICA)

El índice de calidad de agua (ICA) es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado. En general, el ICA incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua (Yogendra & Puttaiah, 2008). Por medio del ICA se puede realizar un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles, y determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales (Soni & Thomas, 2014). Esta herramienta surge como una alternativa para la evaluación de los cuerpos hídricos permitiendo que los procesos de formulación de políticas públicas y seguimientos de los impactos sean más eficaces (Caho & López, 2017)

El Índice de calidad de agua propuesto por (Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970) es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que, en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de comparar lo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Para la determinación del “ICA” interviene 9 parámetros, los cuales son:






- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)

- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub> en mg/ L)
- Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/L)
- Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

### 2.6.1 Estimación del índice de calidad del agua (ICA)

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio (Yungán, 2010). Con base a la Tabla 3 se clasifica la calidad del agua.

Tabla 3: Clasificación del ICA propuesto por Brown

Calidad del agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: Brown et al. (1970)

Para calcular el Índice de Brown se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICA<sub>a</sub>) o una función ponderada multiplicativa (ICA<sub>m</sub>). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i) \quad (1)$$

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i}) \quad (2)$$

Donde:

- **w<sub>i</sub>**: Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub<sub>i</sub>), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

- **Subi:** Subíndice del parámetro i.

Otros autores (Landwehr y Denninger, 1976), demostraron que el cálculo de los “ICA” mediante técnicas multiplicativas es superior a las aritméticas, es decir que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad. Es por esta razón que la técnica que se aplicará en este estudio es la multiplicativa (SNET, n.d.).

Para determinar el valor del “ICA” es necesario sustituir los datos en la ecuación 2, los  $Sub_i$  se eleva por sus respectivos  $w_i$  y se multiplican los 9 resultados obteniendo de esta manera el “ICA”.

Los pesos de los parámetros utilizados para determinar el ICA se indican en la Tabla 4.

Tabla 4: Pesos de los parámetros propuestos por Brown 1970

i	Sub <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>
1	Coliformes fecales	0.15
2	Ph	0.12
3	DBO <sub>5</sub>	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Solidos disueltos Totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto	0.17

Fuente: Brown et al. (1970)

## 2.7 Índice Biológico BMWP ( Biological Monitoring Working Party)

El BMWP está basado en la presencia de grupos taxonómicos, y es independiente al número de individuos recolectados (Gutiérrez-Fonseca, Ramírez, Rico, & Juan, 2016). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como *Perlidae* y *Oligoneuriidae* reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, *Tubificidae*, reciben una puntuación de 1.0 (Gutiérrez-Fonseca et al., 2016). La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP.

Roldán (2003) adapta el sistema del BMWP para evaluar la calidad del agua en Colombia mediante el uso de los macroinvertebrados acuáticos. Con base en el conocimiento que actualmente se tiene en Colombia sobre los diferentes grupos de macroinvertebrados hasta el nivel de familia, propone utilizar el método BMWP/Col, como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos.

Este método se ha utilizado para analizar la calidad del agua en zonas costeras, por lo que es recomendable usarlo en esta área de estudio (Roldán, 2016).

## 2.8 Índice Biótico de las Familias

El Índice Biótico de Familias (IBF) fue desarrollado por Hilsenhoff (1988) y es similar al BMWP, el índice asigna un puntaje a los grupos taxonómicos de acuerdo con su tolerancia o sensibilidad a la contaminación en una escala que va de 0 a 10 (Gutiérrez-Fonseca et al., 2016). A diferencia del BMWP, los taxones sensibles a la contaminación reciben los puntajes más bajos; mientras que los taxones que toleran la contaminación reciben altos puntajes. Este índice combina estos puntajes de tolerancia con la abundancia de cada grupo y el número total de individuos en una muestra:

$$IBF = \frac{\sum(n_i * t_i)}{N},$$

Donde  $n_i$  es el número de individuos en un grupo taxonómico;  $t_i$ , el valor de tolerancia de cada grupo taxonómico y  $N$  el número total de individuos en la muestra. El valor obtenido con dicha fórmula es asociado a una categoría de calidad de agua. El IBF incluye siete categorías de estado de contaminación, o de calidad de agua, que van desde poca posibilidad de contaminación orgánica hasta contaminación orgánica muy severa (Gutiérrez-Fonseca et al., 2016)

## 2.9 Índice Biótico Marino (AMBI)

El Índice Biótico Marino de AZTI (AMBI, del inglés AZTI's Marine Biotic Index), fue propuesto por (A. Borja, Franco, & Pérez, 2000) como un indicador del grado de alteración del medio costero y estuárico por medio del análisis de la respuesta de las comunidades bentónicas de fondo blando a alteraciones ambientales, tanto naturales como antropogénicas. Este índice proporciona la información ecológica necesaria para visualizar los cambios en los efectos que diferentes presiones producen sobre las comunidades bentónicas (Muxica, 2007)

La contribución más novedosa de esta propuesta consiste en una fórmula matemática que permite obtener una serie continua de valores en base a las proporciones relativas de cinco Grupos Ecológicos (GEs), definidos por Leppäkoski (1975), Glémarec y Hily (1981) y Grall y Glémarec (1997), a los que se adscriben las diferentes especies de macroinvertebrados acuáticos (A. Borja et al., 2000)

- GE I: Agrupa a las especies muy sensibles al enriquecimiento orgánico y a la alteración del medio y presente en condiciones no contaminadas (estado inicial de un cuerpo de agua). Entre ellos se encuentran los carnívoros especializados y algunos poliquetos tubícolas que se alimentan de depósitos.

- GE II: Especie indiferente a la alteración del medio, siempre presentes en bajas densidades con variaciones no significativas en el tiempo (desde el estado inicial del cuerpo de agua, hasta un ligero desequilibrio). Estas especies incluyen alimentadores de suspensión, carnívoros menos selectivos y carroñeros.
- GE III: Agrupa a las especies tolerantes pueden habitar cuerpos de agua que presenten un nivel de contaminación medio. Son especies que se alimentan de depósitos superficiales, como espiónidos tubícolas.
- GE IV: Agrupa a las especies oportunistas de segundo orden. Tolerables a condiciones ambientales desfavorables.
- GE V: Agrupa a las especies que son oportunistas de primer orden. Tolerables a un nivel de desequilibrio ambiental alto ( depositívoros como *Capitella capitata*).

## **2.11 Análisis Estadístico**

El análisis estadístico es una herramienta que nos ayuda a discernir la información importante y relevante de una gran cantidad de datos; en este estudio se utilizó el análisis multivariado, el cual consiste en investigar la influencia de dos o más variables de carácter independiente en conjunto o no, a una o varias variables coligadas en relación con una o más variables de carácter dependiente (Del Carpio Rivera, 2016). Los análisis estadísticos utilizados fueron: matriz de correlaciones y ACP (Análisis de componentes principales), los cuales se describen a continuación:

### **2.11.1 Matriz de correlación**

La matriz de correlación muestra el coeficiente de correlación ( $r$ ) generado para todas las variables a analizar; siendo la correlación una medida de la relación lineal entre dos variables, donde el valor de  $r = 0$  significa que no existe correlación entre las variables. La correlación positiva se refiere a que ambas variables permutan en el mismo sentido, en cambio en la correlación negativa varían en sentidos contrarios. La correlación se especifica en cláusulas de varianza y covarianza. (Vinuesa, 2016).

### **2.11.2 Análisis de Componentes Principales (ACP)**

Es un método estadístico/algebraico que consiste en la reducción o síntesis de un número amplio de variables a un número menor incluyendo la mayor información posible (Pontón, 2018). Los componentes encontrados se toman como las nuevas variables, eligiendo un porcentaje de ellos que sea suficiente donde la pérdida de varianza total sea mínima a medida que se sintetiza, minimiza y organiza los datos iniciales. El ACP parte de la matriz de correlaciones, su análisis se basa en la observación de gráficos y las correlaciones significativas de las variables ya sean positivas o negativas (Lozares Carlos & López, 1991).



## 2.12 Matriz de impacto ambiental

La Matriz de Impacto Ambiental, es el método analítico, por el cual, se le puede asignar la importancia (I) a cada impacto ambiental posible de la ejecución de un proyecto, obra o actividad en todas y cada una de sus etapas. Dicha Metodología, pertenece (Conesa F, Conesa R, Capella, & Conesa R, 1997).

Ecuación para el Cálculo de la Importancia (I) de un impacto ambiental:

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

### Dónde:

$\pm$  = Naturaleza del impacto.

I = Importancia del impacto

i = Intensidad o grado probable de destrucción

EX = Extensión o área de influencia del impacto

MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto

PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto

RV = Reversibilidad SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples

AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo

EF = Efecto (tipo directo o indirecto)

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos

A continuación, se expone la explicación de estos conceptos (Servicios Hidrológicos Ambientales, n.d.):

### Signo (+/ -)

El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.

### Intensidad (i)

Este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en el que actúa. El baremo estará comprendido entre 1 y 12, en el que 12 expresará una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto y el 1 una afección mínima.

### Extensión (EX)

Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del Proyecto dividido el porcentaje del área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto.

**Momento (MO)**

El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción ( $t_0$ ) y el comienzo del efecto ( $t_j$ ) sobre el factor del medio considerado.

**Persistencia (PE)**

Se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.

**Reversibilidad (RV)**

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el Proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.

**Recuperabilidad (MC)**

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del Proyecto, es decir la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).

**Sinergia (SI)**

Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.

**Acumulación (AC)**

Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

**Efecto (EF)**

Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

**Periodicidad (PR)**

La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo).

### CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio es de carácter investigativo e incluyó un análisis estadístico y matemático para evaluar la calidad del agua del canal internacional Zarumilla. Se utilizó el método de aforo por flotadores para determinar el caudal del canal (Cárdenas-Calle & Mair, 2014); el Análisis de Componente Principales (ACP) y la matriz de correlación de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos, como métodos estadísticos; la aplicación del Índice de calidad del agua (ICA), y la valoración y análisis de familias de macroinvertebrados acuáticos mediante el índice biológico BMWP-COL y su variante ASPT, el Índice Biótico de las Familias (IBF-PR) y el Índice Biótico Marino (AMBI).

#### 3.1 Estaciones de muestreo

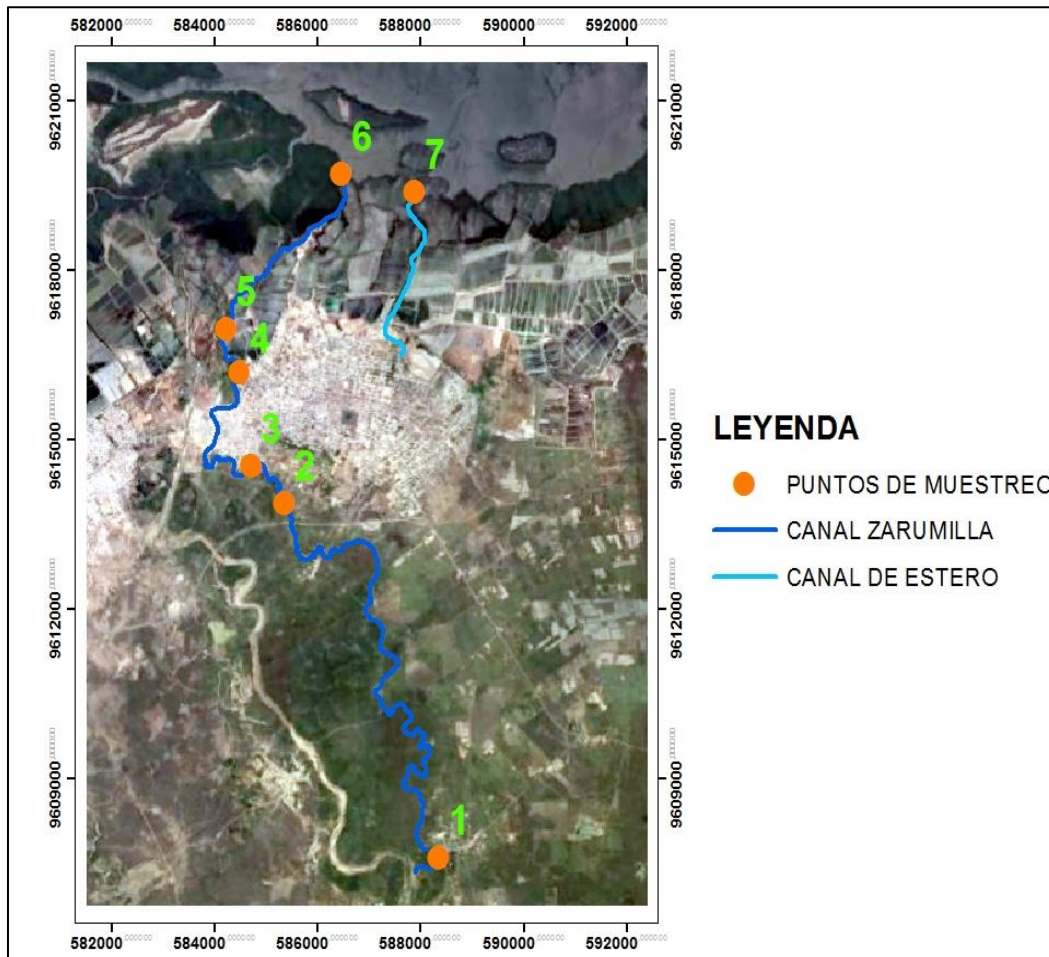
Las estaciones o puntos de muestreo se ubicaron de manera estratégica, en lugares donde el acceso fue posible, facilitando la medición de caudales y toma de muestras (ver Tabla 5 e Ilustración 2). Cabe mencionar que el área de estudio; por su ubicación geográfica y por las características climáticas, fue intervenida en 2 ocasiones para la toma de muestras de agua y la recolección de macroinvertebrados en dos fechas distintas. La primera fecha fue en estación seca donde la toma de muestras se realizó a partir desde el punto 3 al punto 7 (ver Ilustración 2); y, la segunda fecha fue en la estación lluviosa donde la toma de muestras se realizó a partir del punto 1 al punto 7 (ver Ilustración 2).

*Tabla 5: Coordenada de los puntos de muestreo*

ESTACIÓN	X	Y
1	588330,79 m E	9607591,14 m S
2	585329,86 m E	9613870,08 m S
3	584683,58 m E	9614528,79 m S
4	584462,31 m E	9616185,67 m S
5	584193,83 m E	9616949,15 m S
6	586433,94 m E	9619701,04 m S
7	587868,61 m E	9619373,84 m S

*Fuente: Autores*

Ilustración 2. Ubicación de puntos de muestreo



Fuente: Autores

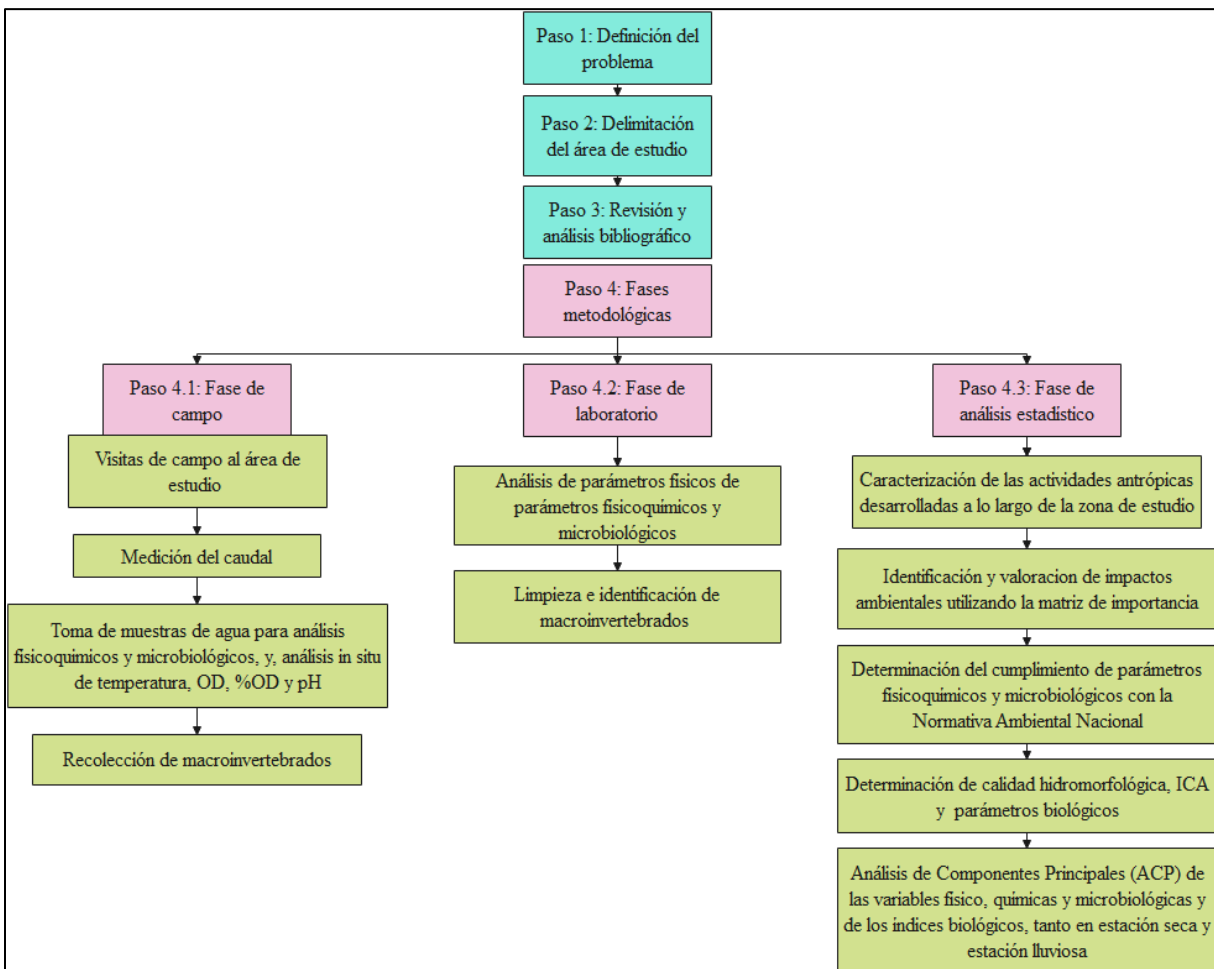
### 3.2 Metodología

El esquema metodológico de este trabajo se muestra resumido en la ilustración 3 y se desarrolla en 4 pasos diferentes. La sección de introducción analizó el primer paso de definición del problema, donde se explicó el origen y la importancia del problema que se planteó; el segundo paso fue la delimitación del área de estudio, es decir cuál fue el área intervenida y sobre la cual se realizó el trabajo; el tercer paso fue la fundamentación teórica donde se realizó una revisión y análisis bibliográfico, es decir, la literatura más reciente e importante acerca del problema. El siguiente paso fue la recopilación y procesamiento de datos que se muestra en la sección de fases metodológicas las cuales se dividieron de la siguiente manera:

1. Fase de campo, donde se desarrollaron visitas de campo al área de estudio para identificar qué actividades antrópicas se realizan en el lugar y que de alguna manera causan afectación al canal internacional, medición del caudal en estación seca y lluviosa, toma de muestras de agua para análisis físico, químico y microbiológico, y, la recolección de macroinvertebrados.

2. Fase de laboratorio, la cual consistió en el análisis físico, químico y microbiológico de las muestras de agua tomadas anteriormente y la limpieza e identificación de los macroinvertebrados recolectados.
3. Fase de análisis estadístico, la cual consistió en la caracterización de las actividades antrópicas identificadas en las visitas de campo, la identificación y valoración de impactos ambientales utilizando la metodología de la matriz de importancia, la determinación del cumplimiento de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos analizados con la Normativa Ambiental vigente, la determinación de calidad hidromorfológica, índice de calidad del agua (ICA) y parámetros biológicos, y por último, la realización de un Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables físico, químicas y microbiológicas y de los índices biológicos, tanto en estación seca y estación lluviosa, para una mejor comprensión de las interrelaciones entre las mencionadas.

Ilustración 3. Esquema metodológico



Fuente: Autores

### 3.2.1 Visita de campo al área de estudio

Se realizó una visita estratégica a lo largo del canal con el fin de conocer la situación real y actual del lugar, todo esto para realizar un diagnóstico previo e identificar las actividades productivas que se realizan y que de alguna manera afectan al canal internacional; para esto se levantó la información necesaria de los lugares recorridos y de las personas contactadas, la temática en la que se basó el levantamiento de información de los moradores del sector fue mediante una conversación con temas referentes al uso y retorno del agua al canal, así como el cuidado del mismo y sus alrededores, las actividades económicas que los pobladores realizan, la evolución social que han tenido a través de los años desde su perspectiva y las características culturales que influyan directamente con el canal de agua. La información levantada de las visitas de campo realizadas fue usada para relacionarlas con los datos fisicoquímicos y biológicos obtenidos y determinar un diagnóstico apegado a la realidad.



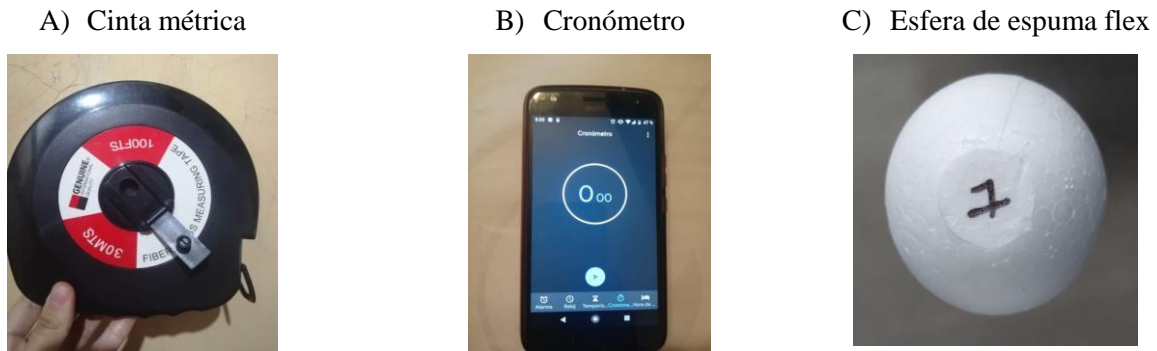
### 3.2.2 Determinación del caudal

En base a la fórmula establecida por Chamorro de Rodriguez (2011) (véase sección 2.5), se procedió a medir la profundidad promedio y el ancho del río, con la finalidad de calcular el área de la sección transversal del mismo. La profundidad promedio se calculó midiendo diferentes profundidades que tiene el canal, usando una varilla de madera y un flexómetro; el ancho del río se midió utilizando la cinta métrica (Ilustración 4).

En primera instancia, el 70% del tramo total de estudio, posee una infraestructura que le da una forma regular, esto sirvió para poder calcular el área transversal de manera precisa y así determinar el caudal; para el resto del tramo la medición fue más compleja debido a la irregularidad del área transversal. Para calcular la velocidad se utilizó flotadores, en este caso, esferas de espuma de poliestireno, y un cronómetro (ver Ilustración 4), midiendo el tiempo que tarda la esfera en recorrer una distancia establecida previamente, en este caso la distancia impuesta fue de 12m (Chamorro de Rodriguez, 2011).

Este procedimiento se repitió 4 veces por estación; luego de haber concluido con la medición de los tiempos, se sumó y dividió para el número de veces que se realizó el cronometraje en el mismo tramo, estableciendo un promedio entre los mismos; a la velocidad encontrada se le multiplicó por el coeficiente de corrección de velocidad superficial perteneciente al tipo de sustrato que se encuentre en el lugar.

*Ilustración 4. Materiales usados en la medición del caudal*



*Fuente: Autores*

### 3.2.3 Determinación de la calidad hidromorfológica

Es necesario evaluar la calidad de la rivera fluvial y la conservación de la vegetación adyacente a la rivera, la misma que influyen directamente la vida de las comunidades biológicas del río (Armijos & Sánchez, 2019); por lo tanto, se analizaron 8 parámetros que consideran la vegetación de la rivera y el estado natural del canal fluvial. Los aspectos considerados son importantes en el mantenimiento de las comunidades biológicas y de la calidad del agua. Se usó la metodología propuesta por Encalada et al. (2011) en la que asigna valores de 0 a 5 a los parámetros descritos a continuación:

1. **La vegetación de la ribera de bosque:** Si la vegetación encontrada está compuesta por árboles o bosques mixtos de especies nativas puntaje 5; arbustos, árboles introducidos puntaje 3; cultivos y pastos puntaje 1 y si está compuesto por tierra baldía puntaje 0.
2. **Continuidad de ribera:** Si la vegetación es continua puntaje de 5; vegetación continua moderada puntuación 3 y si la vegetación está alejada puntaje de 1.
3. **Conectividad de vegetación:** Si el paisaje próximo está compuesto de vegetación natural puntaje 5; si está compuesto por una combinación de bosques de cultivos cuya superficie sea inferior al 50 %, entonces la conectividad es moderada cuya superficie sea inferior al 50 %, entonces la conectividad es moderada, puntaje 3, aquí no deben existir elementos urbanos; si los cultivos ocupan más del 50% del paisaje, puntaje 1; si la vegetación está próxima a elementos de urbanismo ocupan menos el 50% del paisaje, puntaje 2 y si está ocupado por agricultura y los elementos del urbanismo ocupan más del 50% reciben un puntaje 0.



4. **Presencia de basuras y escombros:** Presencia de basura aislada y fácil de remover, puntaje 2; basura acumulada en forma de botadero, puntaje 0 y si no hay escombros ni basura puntaje 5.
5. **Naturalidad del canal:** Si el río no muestra signos de que su cauce haya sido modificado puntaje 5; si las terrazas adyacentes al río han sido modificadas para hacer plantaciones o para pasto para ganado puntaje 3; Si uno de los lados del canal del río está modificado por una estructura sólida, puntaje 1 y si los dos lados del río están modificados por una estructura sólida puntaje 0.
6. **Composición de sustrato:** Se identifica en el río cada tipo de sustrato (grava, piedras, arena más arcilla, bloque, canto, por cada tipo de sustrato es 1 punto).
7. **Velocidad y profundidad del río:** Se evalúan distintas combinaciones de profundidades presentes en el río, así como la velocidad. La zona somera tiene profundidades  $< 0,4$  m; zona rápida por donde el agua corre de forma aparente, esto quiere decir que si depositamos un objeto flotante (una hoja o ramita) éste debería recorrer por lo menos 30 cm en un segundo. Cada combinación aporta un punto y se añade un punto más si el tramo de río tiene las cuatro combinaciones.
8. **Elementos de heterogeneidad:** Esta sección evalúa elementos de heterogeneidad que favorecen el aumento de biodiversidad de organismos acuáticos cada uno de ellos suma 1 punto (hojarasca, troncos y ramas, diques naturales, raíces sumergidas, musgos, plantas y algas).

Los valores antes descritos se asignan de acuerdo con la Tabla 6.

*Tabla 6: Asignación de valores*

Valor	Estado de la variable
0	Pésimo
1	Malo
2	Regular
3	Moderado
4	Muy bueno
5	Excelente

*Fuente: Encalada et al. (2011)*

Para finalizar se suman todas estas variables y se compara con la Tabla 7.

*Tabla 7: Calidad hidromorfológica según valores obtenidos*

Valor	Calidad Hidromorfológica	Color
0 a 10	Pésima	Rojo
10 a 20	Mala	Naranja
20 a 28	Moderada	Amarillo
28 a 35	Buena	Verde
>35	Excelente	Azul

*Fuente: Encalada et al. (2011)*



### 3.2.4 Determinación del índice de calidad del agua (ICA)

Se eligió 7 puntos de muestreo a lo largo del área de estudio, considerando el sector agrícola, urbano, acuícola y de manglar; en cada sitio de muestreo se midió los 9 parámetros necesarios para el cálculo del ICA, de los cuales 4 se registraron in situ: oxígeno disuelto(OD), % saturación OD, temperatura (ambiente y del canal) y potencial de hidrógeno (pH) con ayuda de una sonda multiparamétrica la cual se puede visualizar en la ilustración 5 (Jerves-Cobo et al., 2018); los demás parámetros (DBO<sub>5</sub>, sólidos totales, fosfatos, nitratos, coliformes fecales y turbidez) fueron analizados en laboratorio.

*Ilustración 5. Sonda multiparamétrica*



*Fuente: Autores*

#### 3.2.4.1 Tipo de muestras

Las muestras fueron de tipo simple, es decir, se tomaron una solo vez en el sitio de muestreo. Este tipo de muestra, se utiliza para determinar parámetros de calidad de agua (Instituto de Toxicología de la Defensa, 2016). El muestreo y análisis de muestras fue llevado a cabo por parte del laboratorio Grupo Químico Marcos, laboratorio Ambiental Acreditado ISO 17025. Para el procedimiento de la toma de muestras se tomó en cuenta el procedimiento Ejecutado bajo PG-GQM-09- Agua, toma, manejo, manipulación , gestión de muestra, basado en las normas NTE INEN-2169:2013: Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras y NTE INEN 2176:2013: Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo.

#### 3.2.4.2 Frecuencia y procedimiento de muestreo

La toma de muestras se realizó manualmente, en las dos estaciones climáticas que tiene la zona de estudio, es decir en estación seca y estación lluviosa, en las fechas 28 de octubre de 2019 y 9 de marzo de 2020 respectivamente. El procedimiento llevado a cabo por el Grupo Químico Marco para la toma de muestras de agua fue el siguiente:

1. Se utilizó guantes
2. Se etiquetó los envases a utilizar.
3. Se lavó el balde con el agua a muestrear al menos 2 o 3 veces, desechando el agua de enjuague.
4. Se colocó el balde en sentido contrario a la corriente (si el cuerpo de agua es estático se debe crear una corriente artificial, moviendo el recipiente en dirección horizontal siempre hacia el frente).

5. Seguidamente se sumergió el balde con la boca hacia abajo para evitar la introducción de material superficial, luego se invierte el recipiente para que la boca quede ligeramente hacia arriba.
6. Luego, se llenó los envases hasta 2/3 de la capacidad de este para poder homogenizar la muestra en el laboratorio al momento del análisis, previamente estos envases se lavaron con el agua a muestrear.
7. Se cerró el envase y se colocaron las muestras en la hielera con hielo para que se mantenga a una temperatura  $< 6^{\circ}\text{C}$ .
8. Posteriormente se llenó con agua otro envase de muestra para realizar los parámetros de campo.
9. Finalmente se registraron los siguientes datos de la toma de muestra en el sistema de Control de Laboratorio: fecha, hora, lugar de toma de muestra, identificación del punto de toma de muestra, coordenadas, datos de campo (temperatura, temperatura ambiente, humedad), e indicaciones del clima: (nublado, despejado, soleado, lluvia etc).
10. Se tomó las fotos necesarias que demuestren la ejecución de la actividad.

*Ilustración 6. Registro Fotográfico de la toma de muestras de agua*

A) Referencia del sitio de muestreo



B) Lavado del balde con el agua a muestrear



C) Toma de muestra de agua para parámetros analizados in situ.



D) Toma de muestra para análisis de los demás parámetros



- E) Envases para el análisis de agua en laboratorio
- F) Colocación de muestras en hielera y registro de datos



Fuente: Autores

### 3.2.4.3 Cálculo del índice de calidad del agua (ICA)

Como se mencionó en el capítulo anterior el índice de calidad de agua (ICA) permite determinar el estado de un cuerpo de agua en un tiempo determinado, al incorporar en su análisis parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática. Para calcular el Índice usaremos la propuesta por Brown et al. (1970):

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

**Donde:**

**Sub<sub>i</sub>:** Función subíndice de calidad para el parámetro i.

**W<sub>i</sub>:** Coeficiente de ponderación para el parámetro i.

**ICA:** Índice de calidad de agua

Los pesos de los diversos coeficientes respectivos para cada parámetro se indican en la Tabla 8.

Tabla 8: Parámetros usado para análisis del ICA

Parámetro	Ponderación Definitiva	Descripción Importancia del Parámetro
Oxígeno Disuelto	0,17	Condiciones críticas para la vida acuática.
DBO <sub>5</sub>	0,11	Materia orgánica biodegradable, limitante para aguas de consumo humano. Se termina a los 5 días.
Turbidez	0,08	Limitante para aguas de consumo humano.

Sólidos Totales	0,07	Limitante para aguas de consumo humano.
Nitratos	0,10	Determina niveles de eutrofización riesgo por consumo.
Fosfatos	0,10	Determina niveles de eutrofización.
pH	0,11	Condiciones para la vida acuática y agua potable.
Temperatura	0,10	Crítico para la vida acuática y consumo humano.
Coliformes Fecales	0,16	Contaminación fecal, limitante para consumo humano.

Fuente: Abbasi & Abbasi (2012)

Para calcular los Subíndices (Sub<sub>i</sub>) de Calidad General se debe usar las fórmulas indicadas en la Tabla 9.

Tabla 9: Funciones de los Subíndices del WQI

Parámetro	Dimensión	Función del Subíndice (I)
DBO	mg/L	$SI_{DBO_5} = e^{(4,5824 - 0,1078DBO_5 + 2,4581 \times 10^{-14} e^{(1/DBO_5)})}$ $DBO_5 > 30 \text{ mg/L}, SI_{DBO_5} = 2$
OD (%)	%Sat	$SI_{OD} = e^{(1,3663 + 0,063\%sat - 0,000303\%sat^2)}$ $\%sat > 140, SI_{ODt} = 50$
Turbiedad (Turb)	UNT	$SI_{Turb} = e^{(4,561 - 0,0196Turb + 2,4167 \times 10^{-5}Turb^2)}$ $Turb > 100 \text{ UNT}, SI_{Turb} = 5$
Solidos Totales (ST)	mg/L	$SI_{ST} = \frac{1}{0,0123 - 1,3545 \times 10^{-5}ST + 9,265 \times 10^{-8}ST^2}$ $ST > 500 \text{ mg/L}, SI_{ST} = 20$
pH	Unidades pH	$SI_{pH} = e^{(-7,6434pH + 18,5352 \frac{1}{pH} + 14,625[\ln(pH)]^2)}$ $2.0 > pH < 12.0, SI_{pH} = 0$
Coliformes Fecales (CF)	NMP	$SI_{CF} = e^{(4,5922 - 0,106 \ln(CF) - 0,152[\ln(CF)]^2)}$ $\text{Coliformes Fecales} > 10^5 / 100 \text{ mL}, SI_{CF} = 2$
PO <sub>4</sub>	mg/L PO <sub>4</sub>	$SI_{SF} = \frac{1}{0,0084 + 0,0143PO_4 + 0,00074(PO_4)^2}$

			$PO_4 > 10 \text{ mg/L}, SI_{SF} = 2$
N-NO <sub>3</sub>	mg/L		$SI_N = e^{(4,4706 - 0,043N + 2,8813 \times 10^{-5}N^2)}$
	N-NO <sub>3</sub>		
			$N > 100 \text{ mg/L}, SI_N = 1$
T ( $\Delta T$ : desviación de la temperatura desde el equilibrio)	oC ( $\Delta T$ )		$SI_T = 1,9619E - 6(\Delta T)^6 - 1,3964E - 4(\Delta T)^5 + 2,5908E$ $- 3(\Delta T)^4 + 1,5398E - 2(\Delta T)^3 - 6,7952E$ $- 1(\Delta T)^2 - 6,7204E - 1(\Delta T) + 9,0392E$ $+ 1$

---

Nota: Ecuación editada con base en la comparación de resultados obtenidos con la ecuación de Brian Oram en 2014

*Fuente: Jiménez & Vélez (2006)*

### 3.2.5 Determinación de los índices biológicos BMWP-COL, IBF PR y AMBI

Este apartado comprende la metodología utilizada para la recolección e identificación de macroinvertebrados acuáticos, los cuales fueron utilizados para calcular los índices biológicos BMWP-COL, Índice Biótico de Familias (IBF) modificado para Puerto Rico y el Índice Biótico Marino (AMBI).

#### 3.2.5.1 Tipo de muestreo

Estos índices se fundamentan en las comunidades de macroinvertebrados presentes en los medios acuáticos (Alba-Tercedor, 1996); el muestreo realizado fue de tipo cualitativo y se recolectó tres muestras sencillas para formar una muestra compuesta de acuerdo a el tipo de sustratos que se pudo encontrar en los puntos de muestreo, tales como vegetación, piedras, hojarascas, etc. En cuanto al procedimiento de toma de muestras se usará el recomendado por González et al. (2019).

#### 3.2.5.2 Frecuencia y procedimiento de muestras en campo

El muestreo se realizó manualmente, en las fechas planteadas para la toma de muestras del índice ICA. El procedimiento para la toma de muestras fue el siguiente:

#### Colecta de muestras:

1. Se identificó los diferentes hábitats acuáticos donde se realizará la toma de muestras, teniendo en cuenta los tipos de sustratos tanto del canal como del estero, tales como vegetación, hojarascas, ramas, piedras, entre otros (Ilustración 7) (Jerves-Cobo et al., 2018).
2. El muestreo de macroinvertebrados se realiza con una red de 500 micras de ojo de malla, cuyo tamaño mínimo fue de 1m<sup>2</sup>. Se consideró un total de 4 réplicas (cada una de aproximadamente 900 cm<sup>2</sup> de área) las cuales se distribuyen según la representatividad de los microhábitats en el tramo



escogido. Es decir, los microhábitats dominantes en el tramo son muestreados con más réplicas, mientras que en los microhábitats marginales se toman como máximo dos réplicas (Ilustración 7) (González et al., 2019).

3. Una vez escogido el microhábitat, se colocó la malla contra corriente, pateando el fondo del canal y removiendo el sustrato de modo que los macroinvertebrados adheridos se suelten y sean transportados por la corriente hacia el fondo de la red. Este procedimiento se realiza cubriendo toda al área de muestreo definida y no excediendo los dos minutos por microhábitat. Una vez terminado este proceso, se levantan y observa el sustrato removido dentro del área de muestreo ya que algunos organismos podrían quedar aun fuertemente adheridos a las piedras y no ser desprendidos con la remoción física inicial (Ilustración 7) (González et al., 2019).
4. Para el tramo de agua salada o estero, las muestras se extrajeron del sedimento mediante el uso de la draga Van Veen, de 0,1 m<sup>2</sup> de área de mordida durante la marea baja en la zona intermareal en estación seca y marea alta estación lluviosa; en cada punto de muestreo se recolectaron tres réplicas que fueron tamizadas en un tamiz de ojo de malla de 1mm, especialmente usado para retener macroinvertebrados (Ilustración 7) (FAO, 1981).

*Ilustración 7. Colecta de macroinvertebrados*

A) Identificación de hábitats acuáticos



B) Recolección de macroinvertebrados en la red



C) Búsqueda de macroinvertebrados adheridos al sustrato



*Fuente: Autores*

#### **Tratamiento para conservación de muestras:**

1. Una vez obtenidas las muestras, se depositan en una bandeja blanca grande y se limpian los sustratos minerales u orgánicos grandes (cantos, hojarasca grande, ramas, etc.), teniendo precaución de lavarlos cuidadosamente para desprender los macroinvertebrados que pudieran estar sobre los mismos. Sí la muestra presenta caracoles o tricópteros con estuches de piedra, los cuales

suelen quedarse junto con el sustrato fino, se recomienda transportar toda la muestra al laboratorio (Ilustración 8) (González et al., 2019).

5. Una vez obtenida toda la muestra, se deposita en envase con cierre hermético, previamente etiquetado y con alcohol al 92% y se le adiciona unas gotas de glicerina para preservar mejor los macroinvertebrados; para su traslado al laboratorio se las conservará en un enfriador de espuma de poliestireno con hielo (Ilustración 8) (González et al., 2019).

*Ilustración 8. Tratamiento para conservación de muestras*

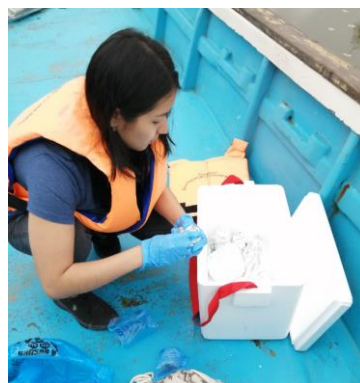
A) Limpieza de la muestra del sustrato grande



B) Separación de macroinvertebrados grandes



C) Preservación de muestras en enfriador de espuma flex



*Fuente: Autores*

### **Procesamiento de muestreo en laboratorio:**

1. El procesamiento de las muestras de los macroinvertebrados se realizará en el laboratorio de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, de acuerdo con el cronograma establecido, se identificaron hasta el nivel de familia desde los taxones, con la ayuda de un esteroscopio (Ilustración 9).
2. En el laboratorio se lavaron nuevamente las muestras y se fraccionarán en 4, 8 o 16 partes cada sustrato dependiendo del volumen de la muestra, posteriormente se colocaron en cajas Petri, en cantidad suficiente para que sea adecuado observar a través del esteroscopio y lograr así identificar la familia y especie de los macroinvertebrados acuáticos, con ayuda de pinzas de punta fina (Ilustración 9).
3. Los macroinvertebrados separados de cada muestra se conservaron en alcohol al 92%, preferentemente separados a nivel de familia (Ilustración 9).

Ilustración 9. Procesamiento de muestras en laboratorio

A) Limpieza de muestras en laboratorio



B) Fraccionamiento de muestras



C) Identificación de macroinvertebrados



Fuente: Autores

### 3.2.5.3 Cálculo del índice biológico BMWP modificado para Colombia

Luego de la identificación de las muestras en el laboratorio, se elaboró un inventario con todas las familias presentes en los sitios de muestreo; se buscó la puntuación asignada a cada familia la cual se especifica en la tabla 10; la sumatoria de las puntuaciones de las familias nos dio como resultado el valor del índice biológico por estación (Alba-Tercedor, 1996). A este valor obtenido previamente se lo dividió para el número de familias encontradas y se obtuvo la variante ASPT.

Tabla 10: Puntos asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col

Familias				Puntos
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae,	Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae	Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae	Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Coryphoridae, Ephemeraeidae, Euthyplociidae,	Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae	Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae	Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9
Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae,	Hydroptilidae, Leptoceridae, Limnephilidae, Lymnaeidae, Naucoridae	Palaemonidae, Planorbidae (cuando es dominante Biomphalaria)	Pseudothelphusidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae	8
Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae,	Dicteriadidae, Dixidae, Glossosomatidae, Hyalellidae	Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Lestidae	Pyralidae, Simuliidae, Veliidae	7
Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae,	Dryopidae, Dugesiidae, Elmidae, Hyriidae	Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae	Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae	6



Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae,	Glossiphoniidae, Gyrinidae, Libellulidae	Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae	Tabanidae, Thiaridae	5
Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydriidae,	Haliplidae, Hydriidae, Muscidae	Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae	Hydrometridae, Noteridae. Sciomyzidae	4
Chaoboridae, Cyclobdellidae,	Hydrophilidae (larvas)	Physidae, Stratiomyidae	Tipulidae	3
Chironomidae (cuando no es la familia dominante, si domina es 1)		Culicidae, Psychodidae	Syrphidae	2
Tubificidae				1

Fuente: Arango, Alvarez, & Arango (2008)

Una vez que se obtuvo el valor del índice biológico y el valor de su variante ASPT, se compararon los resultados con los valores de la Tabla 11 para la determinación de la clase, calidad y significado ecológico del agua del canal internacional y el estero Hualtaco.

Tabla 11: Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP Col y ASPT

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Valor del ASPT	Significado	Color
I	Buena	> 150	>910	Aguas muy limpias	Azul
		101-120	>89	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61-100	>6,5-8	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	>4,5-6,5	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	>3- 4,5	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<15	1-3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	Rojo

Fuente: Arango, Alvarez, & Arango (2008)

### 3.2.5.4 Cálculo del Índice Biótico de las Familias (IBF) modificado para Puerto Rico

Como se mencionó en el capítulo anterior el índice biológico IBF-PR se utilizó como complemento del índice biológico BMWP-COL, es decir, para comprobar que los resultados obtenidos sean más exactos.

Para la aplicación de este índice biológico se utilizó la ecuación:

$$IBF = \frac{\sum(n_i * t_i)}{N}$$

Donde:

$n_i$ = Número de individuos en un grupo taxonómico.

$t_i$ = Valor de tolerancia de cada grupo taxonómico.

$N$ = Número total de individuos en la muestra.

El valor de  $t_i$  es obtenido de la Tabla 12 que muestra el grado de tolerancia propuesto por este indicador.

Tabla 12: Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del índice IBF-PR

Familias	Puntuación
Blephariceridae	0
Lestidae, Calamoceratidae, Hydrobiosidae, Leptoceridae, Psephenidae, Ptilodactylidae, Corethrellidae	1
Xiphocentronidae, Haliplidae, Lampyridae, Ptiliidae, Hydraenidae, Noteridae, Ancyliidae, Sphaeridae, Blaberidae	2
Aeshnidae, Protoneuridae, Glossosomatidae, Helicopsychidae, Hydroptilidae, Polycentropodidae, Scarabaeidae, Scirtidae, Limnichidae, Sciomyzidae	3
Baetidae, Caenidae, Elmidae, Gyrinidae, Ceratopogonidae, Chaoboridae, Hydrachnidia, Atyidae, Palaemonidae, Xiphocarididae, Pseudothelphusidae, Neritidae	4
Leptophlebiidae, Coenagrionidae, Libellulidae, Nepidae, Notonectidae, Pleidae, Hydropsychidae, Philopotamidae, Crambidae, Dytiscidae, Hydrophilidae, Staphylinidae, Turbellaria, Hydrobiidae	5
Corixidae, Hydrometridae, Hebridae, Mesoveliidae, Naucoridae, Dolichopodidae, Empididae, Amphipoda, Hirudinea, Ampullaridae, Lymnaeidae, Limacidae, Corbiculidae	6
Belostomatidae, Saldidae, Sarcophagidae, Stratiomyidae, Tabanidae, Thaumelidae, Tipulidae	7
Gerridae, Veliidae, Dixidae, Simuliidae, Planorbiidae	8
Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae, Muscidae, Psychodidae, Syrphidae, Thiaridae, Physidae	9
Oligochaeta	10

Fuente: Gutiérrez & Ramírez (2016)

Una vez que se obtuvo los valores del IBF-PR para cada sitio de muestreo, en un rango de 0 a 10, se compararon los resultados con los valores de la Tabla 13, para la determinación del grado de afectación del cuerpo de agua.

Tabla 13: Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el puntaje total para el IBF-PR

Calidad del Agua	Interpretación del grado de contaminación	Categoría	Valor IBF-PR	Color representativo
Excelente	Contaminación orgánica poco posible	1	0.00 - 4.24	Azul
Muy Buena	Contaminación orgánica leve	2	4.25 - 5.11	Azul Claro

Buena	Alguna contaminación orgánica	3	5.12 - 5.98	Azul celeste
Regular	Contaminación orgánica sustancial	4	5.99 - 6.85	Verde
Regular Pobre	Contaminación orgánica muy sustancial	5	6.86 - 7.72	Amarillo
Pobre	Contaminación orgánica severa	6	7.73 - 8.59	Naranja
Muy Pobre	Contaminación orgánica muy severa	7	8.60 - 10.00	Rojo

Fuente: Gutiérrez & Ramírez (2016)

### 3.2.5.5 Cálculo del AMBI

La fórmula matemática tomada de Muxica (2007), que se utilizó fue la siguiente:

$$AMBI = 0 * p_I + 1,5 * p_{II} + 3 * p_{III} + 4,5 * p_{IV} + 6 * p_V$$

Dónde:  $p_I$  a  $p_V$  es la abundancia relativa de los Grupos ecológicos del I al V.

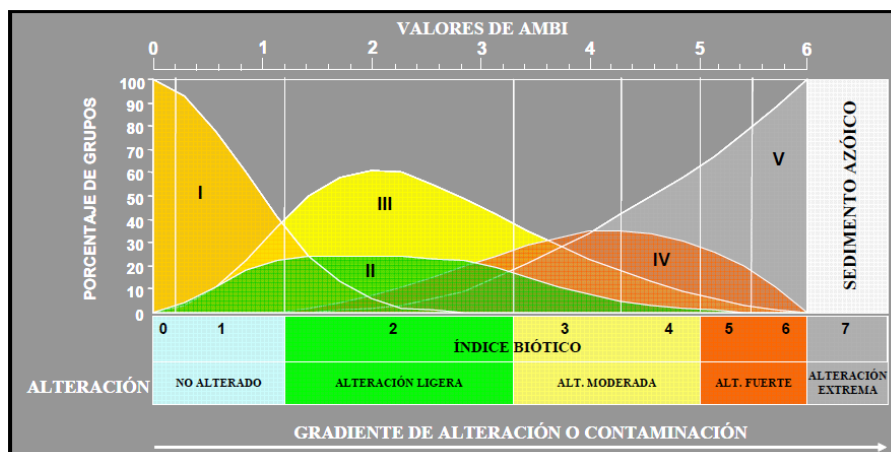
El resultado de la ecuación mencionada es un único valor para cada combinación de porcentajes de grupos ecológicos, comprendido entre 0 y 6 (7 para sedimentos azoicos), igual que en las escalas establecidas por autores como Hyli (1984), Hyli, Le Bris & Glemarec (1986) y Majeed (1987). Sobre dicha escala, en base a las proporciones de los grupos ecológicos, se establecieron unos límites (Tabla 14; Ilustración 4) que permiten definir el estado de ‘salud’ de las comunidades bentónicas (Grall & Glemarec, 1997).

Tabla 14: AMBI IB GE Clasificación Salud de la Comunidad Equivalencias entre el valor de AMBI, el Índice Biótico (IB), el GE dominante, la clasificación de la alteración y la salud de la comunidad.

AMBI	IB	GE	Clasificación	Salud de la Comunidad
0,0 <AMBI ≤0,2	0	I	Alteración Nula	Normal
0,2 <AMBI ≤1,2	1			Empobrecida
1,2 <AMBI ≤3,3	2	III	Alteración Ligera	Desequilibrada
3,3 <AMBI ≤4,3	3	IV-V	Alteración Media	Transicional a contaminada
4,3 <AMBI ≤5,0	4			Contaminada
5,0 <AMBI ≤5,5	5	V	Alteración Fuerte	Transicional a muy contaminada
5,5 <AMBI ≤6,0	6			Muy contaminada
6,0 <AMBI ≤7,0	7	Azoico	Alteración Extrema	Comunidad inexistente

Fuente: Grall & Glemarec (1997).

Ilustración 10. Relación entre un gradiente de alteración o contaminación, el Índice Biótico, AMBI y la abundancia relativa de los diferentes grupos ecológicos.



Fuente: Borja, Muxika, & Franco (2006)

### 3.2.6 Análisis estadístico de los parámetros físicoquímicos, microbiológicos y biológicos

Los parámetros considerados son la demanda biológica de oxígeno a los 5 días ( $DBO_5$ ), amoníaco ( $NH_4$ ), nitrato ( $NO_3$ ), nitrito ( $NO_2$ ), ortofosfatos ( $PO_4$ ), cloruro (Cl) y coliformes fecales (FC).

Se incluyeron parámetros que podrían ser afectados por la contaminación tales como la clorofila-a, oxígeno disuelto (OD), saturación de oxígeno, salinidad, la temperatura y los índices biológicos (BMWP-Col, IBF-PR y AMBI) (Jerves-Cobo et al., 2018).

Con los datos que se obtuvo del laboratorio, se realizó la interpretación de los mismos, antes de realizar el análisis del ICA; y con la ayuda del programa estadístico R (R Foundation for Statistical Computing., 2018) se llevó a cabo el análisis mediante dos técnicas multivariadas como matriz de correlaciones y Análisis de Componentes Principales (ACP).

El ACP es un método estadístico que fue usado por la facilidad que dio para simplificar el complejo espacio muestral conformado por 20 parámetros diferentes entre sí, resumiendo su explicación en componentes principales; se obtuvo la matriz de correlación entre las variables; esta matriz se calcula mediante el método de Pearson (R-Core-Team, 2017). Cuando se obtiene la matriz, se toma en cuenta las relaciones que tienen mayor representatividad (directamente proporcionales) y las que tienen menor representatividad se las descarta. Se obtuvo 3 componentes principales para la estación seca y lluviosa que comprende el mayor porcentaje de la varianza (aproximándose al 100%). Con las componentes principales obtenidas se puede determinar por cuales parámetros evaluados están más representados en cada caso; como complemento se realizó las gráficas de influencias entre los componentes principales en el que visualiza mejor los parámetros más representativos.

Las influencias van de -1 a 1, y las que más se aproximen a estos polos son las variables que más afectan al componente.

Dentro de los parámetros evaluados se incluyó la variable temperatura, la cual se tomó con el fin de analizar cómo influyó este parámetro con las demás variables.

Para evaluar la correlación entre los índices biológicos BMWP-Col, IBF-PR, AMBI, los índices ICA y los parámetros fisicoquímicos, mediante el método de Pearson

### 3.2.7 Análisis de cumplimiento de la normativa nacional de la calidad del agua

Para determinar si las condiciones en las que se encuentra el cuerpo de agua son aptas para preservar la vida acuática, se verificó los límites permisibles de algunos parámetros establecidos en la Tabla 15 que hace referencia a la Tabla 2 del Acuerdo Ministerial 097-A reforma el Texto Unificado de Legislación Secundaria, Registro oficial N° 387 edición especial, específicamente en la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.

*Tabla 15: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios*

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2	
Nitratos	NO <sub>3</sub>	mg/l	13	200
DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>5</sub>	mg/l	20	-

*Fuente: TULSMA (2015)*

Con la Tabla 16 que hace referencia a la Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, de la misma normativa ambiental, se comparó los resultados de los parámetros coliformes fecales, únicamente para los puntos de muestreo que corresponden a un cuerpo de agua dulce.

*Tabla 16: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce*

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	2000

*Fuente: TULSMA (2015)*

### 3.2.8 Matriz de Importancia

Luego de haber obtenido información relacionada a las actividades antrópicas que se realizan en el área de estudio y que influyan directamente sobre la calidad del agua, se valoró el impacto ambiental generado de cada una de las actividades antrópicas desarrolladas a lo largo del área de estudio; como descarga de aguas residuales, generación de desechos sólidos orgánicos e inorgánicos, presencia de vectores, etc.

El desarrollo de la ecuación de **(I)** especificado en el apartado 2.11 fue llevado a cabo mediante el modelo propuesto en la Tabla 17.

Tabla 17: Parámetros de importancia

<b>Signo</b>		<b>Intensidad (i) *</b>	
Beneficioso	+	Baja	1
Perjudicial	-	Total	12
<b>Extensión (EX)</b>		<b>Momento (MO)</b>	
Puntual		Largo plazo	1
Parcial	1	Medio plazo	2
Extenso	2	Inmediato	4
Total	4	Critico	8
Critica	8		
	12		
<b>Persistencia (PE)</b>		<b>Reversibilidad (RV)</b>	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
<b>Sinergia (SI)</b>		<b>Acumulación (AC)</b>	
Sin sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		

Efecto (EF)		Periodicidad (PR)	
Indirecto	1	Irregular	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
Recuperabilidad (MC)		$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$	
Recup. Inmediato	1		
Recuperable	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

\* Admite valores intermedios.

Fuente: Conesa F et al. (1997)

Posterior a evaluar cada uno de los impactos identificados, se valoró el impacto ambiental, según la Tabla 18.

Tabla 18: Valoración, calificación y significado del impacto

Valor I (13 y 100)	Calificación	Significado
< 25	BAJO	La afectación de este es irrelevante.
25 ≥ < 50	MODERADO	La afectación de este no precisa prácticas correctoras o protectoras intensivas.
50 ≥ < 75	SEVERO	La afectación de este exige la recuperación de las condiciones del medio a través de medidas correctoras o protectoras. El tiempo de recuperación necesario es en un periodo prolongado
≥ 75	CRITICO	La afectación de este es superior al umbral aceptable. Se produce una pérdida permanente de la calidad en las condiciones ambientales. NO hay posibilidad de recuperación alguna.

Fuente: Conesa F et al. (1997)

En definitiva, la matriz quedó conformada con las categorías presentadas en la Tabla 19.

Tabla 19: Categorización del impacto

Valor I Ponderado	Calificación	Categoría
< 2,5	BAJO	
2,5 ≥ < 5	MODERADO	
5 ≥ < 7,5	SEVERO	
≥ 7,5	CRITICO	
Los valores con signo + se consideran de impacto nulo		

Fuente: Conesa F et al. (1997)

Finalmente, en base a estos resultados, se detallaron los impactos potenciales directos e indirectos, que actúan fundamentalmente sobre los factores físicos y bióticos, activando los diversos procesos sobre el medio ambiente.

### 3.3 Consideraciones éticas

La finalidad de este trabajo de investigación es que tenga una credibilidad alta basada en un respaldo técnico verificado, por lo que, para la realización de los análisis fisicoquímicos, se trabajó con el Laboratorio Químico Marcos, mismo que cuenta con procedimientos de laboratorio de ensayos ambientales acreditado por el SAE No. SAE-LEN-005-001. Además, el trabajo fue socializado con el GAD Municipal de Huaquillas, previo a la ejecución de las actividades que se llevaron a cabo en la realización de este *Trabajo de Titulación*. Cabe recalcar que se realizó un análisis bibliográfico acerca de investigaciones o estudios de carácter ambiental acerca del canal internacional para evitar el plagio o repetición del trabajo.



## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de actividades antrópicas desarrolladas en la zona de estudio.

Las actividades descritas a continuación son el resultado de la visita de campo, es decir, del recorrido por la zona de estudio y la información obtenida de los moradores del sector. Se describieron aquellas actividades que más causan afectación y que pueden actuar de manera individual o sinérgica incrementando o no el impacto generado.

#### Utilización de bombas a combustible fósil para bombeo de agua de riego.

Esta actividad es realizada en la zona agrícola, la cual ocupa 16 km<sup>2</sup> de toda el área de estudio. En estación lluviosa los agricultores instalan bombas a combustible fósil junto al canal, para succionar agua y transportarla para riego por inundación a toda el área de cultivo de plátano y cacao. En estación seca, se extrae agua de pozos, debido a que el agua del canal disminuye considerablemente llegando incluso secarse en su totalidad (Ilustración 11).

*Ilustración 11. Plantaciones de plátano*



*Fuente: Autores*

#### Disposición de residuos sólidos orgánicos originados del comercio de productos perecibles.

La venta de productos perecibles tales como: frutas, verduras, carnes, etc.; es característica del área urbana que ocupa aproximadamente 20 km<sup>2</sup> del área total del estudio. Estas actividades al desarrollarse en un punto binacional, abarca a comerciantes y compradores de Huaquillas y Aguas Verdes; la ciudad de Huaquillas en su mayoría se dedica al comercio formal e informal, básicamente es el sustento económico de la mayoría de la población. En ambas ciudades se evidencia puestos de venta improvisados y construcciones de concreto junto al canal internacional; y a causa de estas actividades, los residuos sólidos orgánicos que se generan son arrojados cerca o directamente al canal de agua; debido a la falta de una cultura de aseo y al deficiente sistema de recolección de residuos sólidos en la ciudad de Huaquillas (Ilustración 12).

*Ilustración 12. Presencia de residuos sólidos orgánicos en el canal internacional*

A) Disposición de residuos sólidos orgánicos en el suelo



B) Disposición de residuos sólidos orgánicos en el agua



*Fuente: Autores*

### **Disposición de residuos sólidos inorgánicos originados del comercio de productos no perecibles**

Al igual que los comerciantes que se dedican a la venta de frutas, verduras y carnes mencionadas anteriormente, esta actividad hace referencia a la venta de alimentos de primera necesidad no perecibles, ropa, zapatos, productos plásticos, etc. Debido al flujo comercial que surge, los residuos sólidos inorgánicos tales como: fundas, botellas, sorbetes de plástico y otros residuos inusuales como vestimentas, electrodomésticos, muebles, llantas etc., son arrojados cerca o directamente al canal. (Ilustración 13).

*Ilustración 13. Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el canal internacional*

A) Disposición de residuos sólidos inorgánicos en el agua



B) Desechos especiales (neumáticos fuera de uso) en el suelo



*Fuente: Autores*

## Tránsito peatonal sobre el canal de agua

Al ser una línea de frontera, el libre y masivo tránsito de personas de ambos países es notorio por turismo y comercio. Existen dos puentes de paso oficiales a través del canal; y existen pasos informales e improvisados contruidos con madera que sirven para el mismo fin. Esta actividad humana diaria, genera el impacto ambiental de desechar una variedad de residuos sólidos y líquidos, que día a día se van acumulando (Ilustración 14).

*Ilustración 14. Tránsito peatonal sobre el canal de agua*

A) Paso peatonal oficial a través del canal



B) Paso informal a través del canal



*Fuente: Autores*

## Comercio de productos hidrobiológicos

A pocos metros del puente internacional que une a los países de Ecuador y Perú; existe un sector comercial llamado “Playita Sur”, ubicado en la ciudad de Huaquillas, el cual se caracteriza por el embarque y desembarque de una gran variedad de pescados, entre ambos países, que son transportados a Quito y Guayaquil. Esta actividad genera residuos sólidos orgánicos e inorgánicos que son dispuestos en las cercanías del canal o en su mayoría arrojados directamente a este, en consecuencia, atraen a vectores, tales como moscas, ratas e insectos (Ilustración 15).



*Ilustración 15. Presencia de residuos sólidos como consecuencia del comercio de productos hidrobiológicos*

A) Residuos sólidos en el canal



B) Residuos sólidos en el canal



C) Restos de pescados en el canal



*Fuente: Autores*

### **Limpieza de vehículos que transportan productos hidrobiológicos**

Esta actividad causa afectación ambiental a la calidad del agua, debido a que los vehículos son lavados en el lugar de embarque y desembarque de los productos hidrobiológicos y el agua generada de la limpieza es vertida directamente al canal. En la actualidad, el lavado de los vehículos es realizado con mayor incidencia en el lado del Perú (Ilustración 16).

*Ilustración 16. Limpieza de vehículos de transporte de productos hidrobiológicos*



*Fuente: Autores*

## Disposición de residuos sólidos domiciliarios al canal internacional por parte de moradores aledaños

El área de asentamientos humanos se ha extendido a tal punto de estar a solo unos cuantos metros del canal, los residuos sólidos generados son depositados a las orillas del canal internacional y en algunos casos depositados directamente en el mismo. Los moradores indican que es una forma rápida y fácil de deshacerse de sus residuos domiciliarios debido al deficiente sistema de recolección de residuos sólidos (Ilustración 17).

*Ilustración 17. Disposición de residuos sólidos domiciliarios*

A) Desechos domiciliarios dispuestos en el suelo a lado del canal



B) Desechos domiciliarios dispuestos en el agua del canal



*Fuente: Autores*

## Actividades acuícolas

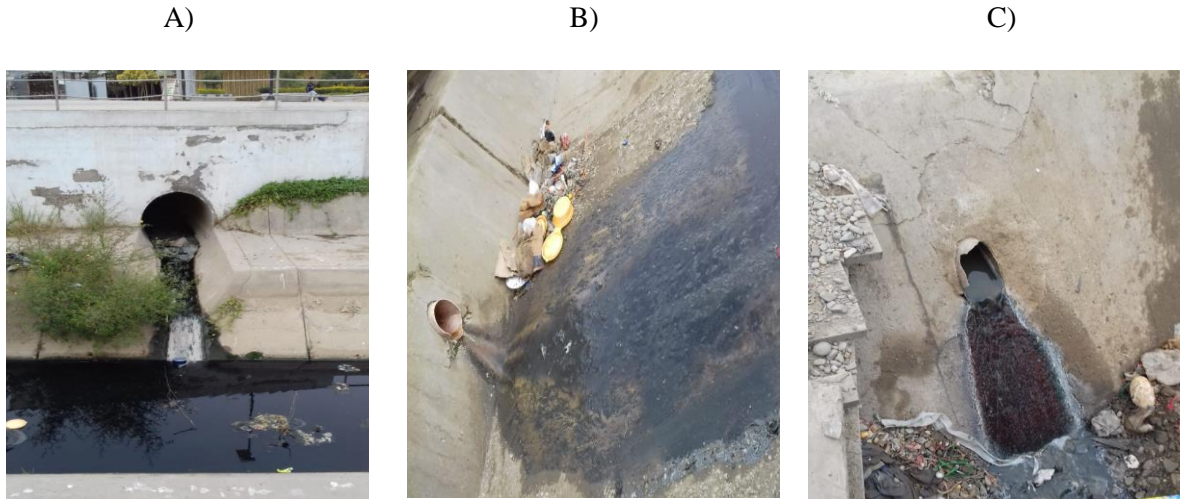
A unos 2 a 3 kilómetros antes de llegar al estuario del Puerto Hualtaco, se encuentran empresas acuícolas, ocupando aproximadamente 9 km<sup>2</sup> del área de estudio, extendiéndose masivamente en la zona de estuario. Se dedican a la crianza de camarones para la venta local y exportación. Como parte de las actividades que conlleva la crianza de camarones; una actividad relevante es la limpieza de las piscinas que se realiza cada cierto periodo de tiempo y que consiste, en depositar el agua residual de la piscina al canal de agua de estuario. Esta agua residual contiene materia orgánica y otras sustancias químicas usadas para la limpieza de las piscinas.

## Descarga de aguas residuales domiciliarias

Debido a la presencia de asentamientos humanos cercanos al canal internacional, existen varios puntos de descargas de aguas residuales provenientes de conexiones de viviendas ubicadas a lo largo del

canal. Se ha podido evidenciar que estas descargas están ubicados cerca al puente internacional que une a Huaquillas y Aguas Verdes, del igual forma las aguas residuales del camal municipal de Huaquillas; y, otras que salen directamente de pequeños locales de Puerto Hualtaco también se descargan al canal en mención (Ilustración 18).

*Ilustración 18. Descarga de aguas residuales*



*Fuente: Autores*

### **Tránsito de botes y lanchas**

El Puerto Hualtaco es la zona de estuario que abarca aproximadamente 1km<sup>2</sup> de la zona de estudio, se encuentra en el tramo final del canal, este sector se dedica al turismo y a la pesca artesanal. Para la movilización de los vecinos de la zona son usados pequeños botes y lanchas. El tránsito de botes y lanchas es permanente, causando la generación de residuos sólidos que son arrojados al agua por parte de las personas que transitan en estos.

### **4.2 Valoración cualitativa del impacto ambiental ocasionado por actividades antrópicas aplicando la matriz de importancia**

La matriz de importancia (Tabla 20) muestra la valoración total de los impactos negativos o positivos según sea su incidencia benéfica o negativa en cada factor ambiental. Una vez identificadas las actividades antrópicas realizadas en el área de estudio y que influyen directamente sobre la calidad del agua, se realizó la matriz de identificación de impactos para determinar qué impacto ambiental generan las actividades antrópicas descritas anteriormente, como descarga de aguas residuales, generación de desechos sólidos orgánicos e inorgánicos, presencia de vectores, etc.

Tabla 20: Matriz de identificación de impactos

Matriz de Identificación de Impactos			UTILIZACIÓN DEL AGUA DE CANAL MEDIANTE SISTEMA DE BOMBEO PARA RIEGO DE CULTIVO DE PLÁTAN Y CACA O	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS ORIGINADOS DEL COMERCIO DE PRODUCTOS PERECIBLES	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS INORGÁNICOS ORIGINADOS DEL COMERCIO DE PRODUCTOS NO PERECIBLES	TRÁNSITO PEATONAL SOBRE EL CANAL	COMERCIO DE PRODUCTOS HIDROBIOLÓGICOS	LIMPIEZA DE VEHICULOS QUE TRANSPORTAN PRODUCTOS HIDROBIOLÓGICOS	DISPOSICION DE RESIDUOS DOMICILIARIOS DE MORADORES ALEDAÑOS AL CANAL	ACTIVIDADES ACUICOLAS	DESCARAGA DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS	TRÁNSITO DE BOTES Y LANCHAS
Componente	Subcomponente Ambiental	Factor Ambiental	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Biótico	Agua	Calidad del Agua	Posible derrame de hidrocarburos en el agua por las bombas utilizadas	Descomposición residuos sólidos orgánicos en el agua	Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el agua	Descomposición de residuos sólidos orgánicos en el agua	Descomposición de residuos sólidos orgánicos en el agua	Alteración de la calidad del agua por descargas de agua de lavado de vehículos que transportan productos hidrobiológicos.	Descomposición de residuos sólidos orgánicos en el agua	Alteración de la calidad del agua por descargas de agua de lavado producto de la limpieza de camaroneras	Alteración de la calidad del agua por descargas de aguas residuales domiciliarias	Descomposición de residuos sólidos orgánicos en el agua
				Presencia de vectores	Presencia de vectores	Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el agua	Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el agua	Presencia de vectores	Presencia de residuos sólidos orgánicos en el agua			Presencia de vectores
						Presencia de vectores	Presencia de vectores		Presencia de vectores			
Biótico	Suelo	Calidad de suelo	Posible derrame de hidrocarburos en el suelo por las bombas utilizadas	Descomposición residuos sólidos orgánicos en el suelo	Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el agua	Presencia de vectores	Presencia de vectores	Presencia de vectores	Presencia de vectores	Presencia de sedimentos		
					Presencia de vectores	Descomposición residuos sólidos orgánicos en el suelo	Descomposición residuos sólidos orgánicos en el suelo		Descomposición residuos sólidos orgánicos en el suelo			
				Presencia de vectores		Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el suelo	Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el suelo		Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el suelo			

Fuente: Autores



Una vez identificados los impactos ambientales que generan cada una de las actividades antrópicas se valoró el impacto ambiental utilizando la metodología de la matriz de importancia que se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21: Matriz de importancia

MATRIZ DE IMPORTANCIA														
FACTOR AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	EVALUACIÓN DE IMPACTOS											Intensidad	Calificación
		SIGNO	I	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC		
CALIDAD DEL AGUA	Posible derrame de hidrocarburos en el agua por las bombas utilizadas	-	12	2	4	2	2	4	4	4	2	2	-64	SEVERO
	Alteración de la calidad del agua por descargas de aguas residuales domiciliarias	-	12	8	4	2	2	2	1	4	4	4	-75	CRÍTICO
	Presencia de vectores	-	1	8	8	2	2	2	4	4	2	2	-45	MODERADO
	Presencia de sedimentos	-	12	8	2	2	2	4	4	4	4	4	-78	CRÍTICO
	Descomposición residuos sólidos orgánicos en el agua	-	12	8	4	4	2	4	4	4	4	2	-80	CRÍTICO
	Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el agua	-	12	8	4	4	2	4	4	4	4	2	-80	CRÍTICO
	Alteración de la calidad del agua por descargas de agua de lavado de vehículos que transportan productos hidrobiológicos.	-	12	2	4	2	2	4	4	4	2	2	-64	SEVERO
Alteración de la calidad del agua por descargas de aguas de agua de lavado producto de la limpieza de piscinas camaroneras	-	12	4	8	2	2	4	4	4	4	4	-76	CRÍTICO	
CALIDAD DEL SUELO	Posible derrame de hidrocarburos en el agua por las bombas utilizadas	-	12	2	4	2	2	4	4	4	2	2	-64	SEVERO
	Presencia de sedimentos	-	12	8	2	2	2	4	4	4	4	4	-78	CRÍTICO
	Presencia de vectores	-	12	8	4	2	1	2	4	4	4	2	-75	CRÍTICO
	Descomposición residuos sólidos orgánicos en el suelo	-	12	8	4	2	2	2	4	4	4	2	-76	CRÍTICO
	Presencia de residuos sólidos inorgánicos en el suelo	-	12	8	4	2	2	2	4	4	4	2	-76	CRÍTICO

Fuente: Autores



#### 4.2.1 Descripción de los impactos identificados

De acuerdo con la aplicación de la matriz de importancia, se evaluaron 11 actividades antrópicas, que generan impactos ambientales relevantes y que afectan directamente al canal y en consecuencia al estero. Al evaluar las actividades antrópicas con cada uno de los factores ambientales se pudo identificar 12 impactos ambientales, de los cuales todos son impactos negativos. De los impactos negativos evaluados 5 son críticos, 1 es impacto moderado y 6 son impactos severos. No existen impactos de significancia baja. En la Tabla 22 se detallan cada uno de los impactos identificados.

Tabla 22: Listado de impactos identificados

<b>Impactos positivos</b>	No existen
<b>Impactos bajos</b>	No existen
<b>Impactos moderados</b>	<b>Presencia de vectores:</b> La disposición de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos en el agua atraen vectores que muchas veces pueden ser perjudiciales para la salud humana, como <i>aedes aegypti</i> (mosquito portador del dengue), debido a que se convierten en un hábitat idóneo para estos vectores. Estos residuos sólidos llegan al agua como consecuencia de una falta de cultura de aseo por parte de vendedores informales, moradores aledaños al lugar, turistas, etc., y a un deficiente sistema de recolección de residuos sólidos en la ciudad.
<b>Impactos severos</b>	<b>Alteración de la calidad del agua por descargas de agua de lavado de vehículos que transportan productos hidrobiológicos:</b> Por lo general los productos químicos usados para el lavado de estos vehículos no son biodegradables, una vez que llegan al cuerpo de agua, se hacen responsables (junto con los residuos de los fertilizantes utilizados en la zona de agricultura) del fenómeno de la eutrofización de las aguas. De hecho, muchos de los detergentes están hechos con grandes cantidades de sustancias derivadas del fósforo y nitrógeno, que son nutrientes para la vegetación acuática y pueden hacer que proliferen más de lo necesario. Por lo tanto, la vegetación sobrealimentada y no desechadas por los consumidores primarios (es decir, los animales acuáticos), pueden aumentar la actividad bacteriana, reducir la cantidad de oxígeno en el agua y de hecho a sofocar a la comunidad bentónica presente.  <b>Posible derrame de hidrocarburos en el agua por las bombas utilizadas:</b>

	<p>Los hidrocarburos tienden a flotar debido a la diferencia de densidad que presentan con respecto al agua, bloqueando de esta manera la penetración de la luz y el intercambio de gases, dicho bloqueo favorece la solubilización de materiales que afectan a las distintas poblaciones acuáticas. Pueden causar asfixia, alteración en las funciones fisiológicas en las comunidades acuáticas que habitan en el cuerpo de agua. Además, puede provocar cambios ecológicos como la pérdida de organismos clave de una comunidad y la aparición de especies oportunistas.</p> <p><b>Posible derrame de hidrocarburos en el suelo por las bombas utilizadas:</b> Los hidrocarburos generan minerales tóxicos en el suelo disponible para ser absorbidos, además, conduce a un deterioro de la estructura del suelo; pérdida del contenido de materia orgánica; y pérdida de nutrientes minerales. Además, el suelo se expone a la lixiviación y erosión.</p>
<p><b>Impactos críticos</b></p>	<p><b>Alteración de la calidad del agua por descargas de aguas residuales domiciliarias:</b> Las aguas residual procedentes de conexiones residenciales, instalaciones comerciales, públicas y similares; están compuestas por sólidos suspendidos (materia orgánica biodegradable), sólidos sedimentables (materia inorgánica), nutrientes, fósforo, nitrógeno y organismos patógenos, como coliformes fecales, que alteran potencialmente al cuerpo de agua.</p> <p><b>Presencia de sedimentos:</b> La presencia de sedimentos en el agua puede aumentar la turbidez de esta, provocando que los animales acuáticos que existan en el cuerpo de agua no puedan ver su alimento. Además, impide el crecimiento de vegetación natural en el agua, alteran la cadena alimenticia natural al destruir el hábitat donde viven los organismos más pequeños y pueden alterar el caudal de agua y reducir la profundidad de esta.</p> <p><b>Alteración de la calidad del agua por descargas de aguas de agua de lavado producto de la limpieza de piscinas camaroneras:</b> El agua de lavado de piscinas camaroneras contiene altos niveles de sólidos en suspensión, sedimentos anaeróbicos, concentraciones de nitrógeno y fósforo que pueden conducir a condiciones anóxicas, aumento en la DBO (demanda bioquímica de oxígeno), producción exuberante de ácido sulfhídrico y desaparición paulatina de la fauna de macroinvertebrados. Además, puede contener materia orgánica acumulada durante el ciclo de producción,</p>

camarones y peces muertos, mudas de camarón, y estadíos (huevos y larvas) de especies diferentes al camarón.

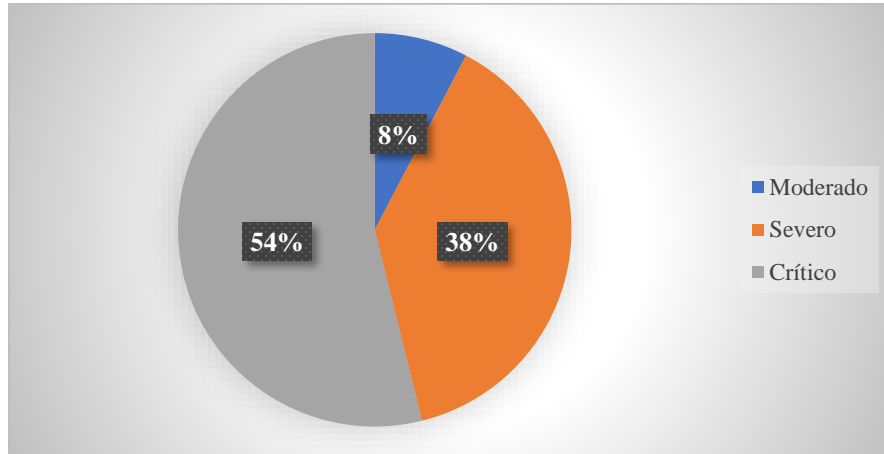
**Descomposición de residuos sólidos orgánicos:** La descomposición de materia orgánica, se lleva a cabo por bacterias, protozoarios y diversos organismos mayores. Ese proceso de descomposición ocurre tanto en el agua como en el suelo y se lleva a cabo mediante reacciones químicas que requieren oxígeno para transformar sustancias ricas en energía en sustancias pobres en energía. El oxígeno disuelto en el agua puede ser consumido por la fauna acuática a una velocidad mayor a la que es reemplazado desde la atmósfera, lo que ocasiona que los organismos acuáticos compitan por el oxígeno, y en consecuencia se vea afectada la distribución de la vida acuática. La presencia de residuos sólidos en la zona de estudio se debe a que vendedores de productos perecibles o hidrobiológicos al tener sus locales informales cerca del canal, desechan directamente los residuos generados a este o su periferia, de igual manera los moradores aledaños, turistas optan desechar sus residuos domiciliarios al canal por ser una manera rápida para deshacerse de su basura.

**Presencia de residuos sólidos inorgánicos:** La acumulación de residuos sólidos inorgánicos, como plásticos, electrodomésticos, muebles, desechos especiales como llantas, entre otros puede represar el cauce normal del cuerpo de agua y por lo tanto afectar el flujo normal del agua, causar lixiviados con presencia de metales pesados que afectan a la comunidad biótica que habita en cuerpo de agua. Su presencia se debe a las actividades de comercio mencionadas anteriormente, y a un deficiente sistema de recolección de residuos.

**Presencia de vectores:** La disposición de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos en el agua atraen vectores que muchas veces pueden ser perjudiciales para la salud humana. Se evidencia la presencia de roedores y de insectos como cucarachas a lo largo de la zona de estudio. Los residuos sólidos llegan al agua como consecuencia de una falta de cultura de aseo por parte de vendedores informales, moradores aledaños al lugar, turistas, etc., y a un deficiente sistema de recolección de residuos sólidos en la ciudad.

Como se puede apreciar en la ilustración 19, un 8% de los impactos identificados son calificados como impactos moderados, un 50% como impactos severos y un 42% como impactos críticos.

Ilustración 19. Porcentaje por tipo de impacto



Fuente: Autores

### 4.3 Análisis del caudal y velocidad

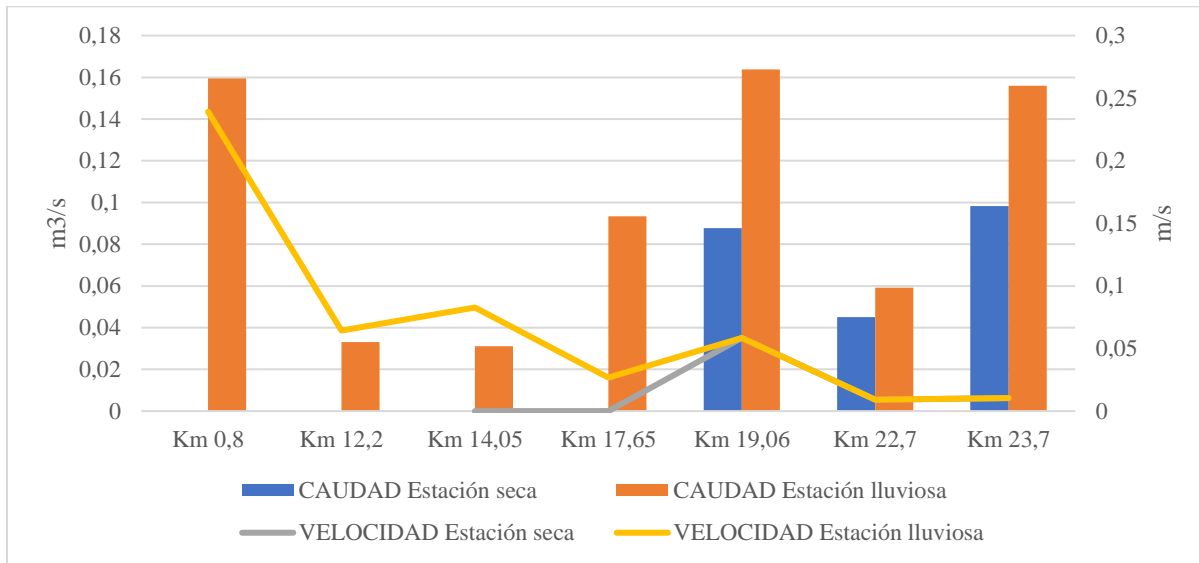
Como se puede observar en la Tabla 23 e ilustración 20, los caudales y velocidades de agua en el canal en la estación lluviosa son muy altos y esto es debido a la presencia de precipitaciones en toda cuenca hidrográfica binacional del Rio Zarumilla y la cual pertenece este canal de agua. En estación seca o de estiaje, los valores de caudales y velocidades de agua llegan a cero hasta el punto 4 (Km 17,65); y desde el punto 5 (Km 19,06) hay presencia de caudal y velocidad de agua que son mínimos en comparación con la estación lluviosa. Sin embargo, esto se da en época de estiaje y puede ser por 2 razones: el primero motivo puede ser que, al estar en un estuario, estos parámetros se ven alterados por el horario de mareas. El segundo motivo puede ser que la presencia de caudal y velocidad de agua es causada por las descargas de aguas residuales y aguas residuales de la limpieza de las piscinas camaroneras desde el punto 5 (Km 19,06) en adelante.

Tabla 23: Valores de caudal por estaciones

ETAPAS DE MONITOREO					
		28/10/2019		09/03/2020	
PUNTO	ABSCISA(km)	ESTACIÓN SECA		ESTACIÓN LLUVIOSA	
		Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)
1	0,8	-	-	0,159	0,239
2	12,2	-	-	0,033	0,064
3	14,05	0	0	0,031	0,082
4	17,65	0	0	0,093	0,026
5	19,06	0,087	0,058	0,163	0,058
6	22,7	0,045	0,009	0,059	0,009
7	23,7	0,098	0,010	0,156	0,010

Fuente: Autores

Ilustración 20. Caudal y velocidades del efluente



Fuente: Autores

#### 4.4 Resultados del análisis de la calidad hidromorfológica

Se evaluó la calidad hidromorfológica de manera general de toda la zona de estudio, pero seccionándolo en los 7 puntos de monitoreo, de acuerdo con el criterio técnico y en base a la metodología elegida para la misma. A continuación, se calificó y describió cada uno de los 8 parámetros propuestos para la evaluación:

##### 1. La vegetación de la ribera de bosque:

Para los puntos 1 y 2 se calificó con valor 0; debido a que está compuesto por grava, arena y una remoción total de cobertura vegetal. Cabe indicar que, en estos tramos, el canal de agua cuenta con una infraestructura de hormigón.

Para los puntos 3, 4 y 5 se calificó con valor 2; debido a que este compuesto por grava, arena, lodo y existe la presencia no abundante de hierbas y arbustos. Cabe indicar que, en estos tramos, el canal de agua cuenta con una infraestructura de hormigón y rivera natural, en proporciones casi iguales con respecto a las distancias.

Para los puntos 6 y 7 se calificó con valor 5; debido a que en estos tramos la rivera es natural y existe la presencia abundante de vegetación natural (árboles de manglar). Cabe indicar que estos dos puntos de monitoreos poseen muchas características naturales propias de un estuario.

##### 2. Continuidad de ribera:

Para los puntos 1, 2, 3 y 4 se calificó con valor 1; debido a que la vegetación que existe en este tramo está solo en pequeñas partes con grandes separaciones entre sí, la mayor parte de este tramo está conformado por grava y arena. Por tal motivo, la continuidad es mínima.

Para los puntos 5, 6 y 7 se calificó con valor 3; debido a que la vegetación que existe en este tramo presenta mayor continuidad y existe la presencia casi abundante de monte, arbustos y finalizando con árboles de manglar.

### **3. Conectividad de vegetación:**

Para los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 se calificó con valor 0; debido a que la presencia de agricultura en la primera parte del tramo hasta el punto 2, y desde el punto 3 al 5, existen muchas características urbanas por cada lado de la rivera.

Para los puntos 6 y 7 se calificó con valor 2; debido a la poca presencia de características urbanísticas en menos del 50% del paisaje. El resto del paisaje está compuesto por vegetación como arbustos y árboles, incluyendo la abundancia de árboles de manglar.

### **4. Presencia de basuras y escombros:**

Para el punto 1 la calificación es 5; no se evidencio la presencia de residuos sólidos. Para el punto 2, 6 y 7 se calificó con valor 2; debido a que se encontró basura en pequeños sectores y que son de fácil remoción.

Para el punto 4, 5 y 6 se calificó con valor 0; debido a que se encontró mucha basura acumulada a manera de botadero y que en realidad se necesitaría maquinaria para remover la basura. Se encontró la presencia de llantas usadas, fundas de basura, artefactos eléctricos, materiales plásticos usados y en algunos casos animales muertos.

### **5. Naturalidad del canal:**

Para los puntos 1, 2, 3 y 4 se calificó con valor 0; debido a que ambos lados de la rivera estaban completamente modificados por infraestructura de hormigón, y porque existe la presencia de un área urbana aledaña al canal de agua en el tramo final de estos puntos.

Para el punto 5 se calificó con valor 3; debido a que en este tramo posee características naturales a las orillas de la rivera, pero a pocos metros existen piscinas camarones. Es decir que la naturalidad en este punto es moderada.

Para el punto 6 y 7 se calificó con valor 5; debido a que en la mayoría del área se encuentra presente una abundancia de árboles de manglar y el cauce natural de la rivera no ha sido alterado, en este tramo se encuentra un pequeño puerto pesquero, pero en comparación con todo el tramo existe una naturalidad casi excelente.

### **6. Composición de sustrato:**

Para el punto 1, 2, 3, 5 y 6 se calificó con valor 3; debido que en estos puntos se encuentra los siguientes sustratos: grava, arena, piedras y canto.

Para el punto 4 se calificó con valor 4; debido a que en este punto se encuentra los siguientes sustratos: grava, arena y piedras.

Para el punto 7 se calificó con valor 2; debido a que en este punto se encuentra los siguientes sustratos: arena y canto.

### 7. Velocidad y profundidad del río:

Para evaluar este parámetro se utilizó las velocidades y profundidades de cada punto del canal, tal como se indica en la Tabla 24.

Tabla 24. Velocidad y profundidad del cuerpo de agua en cada punto de monitoreo

Parámetro	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abscisas (km)	0.8	12.2	14.05	17.65	19.06	22.7	23.7
Velocidad (m/s)	0,2392	0,0644	0,0828	0,02668	0,0585	0,0091	0,0104
Profundidad (cm)	46	38	30	50	70	130	250
Régimen-Profundidad	Lento-somero	Lento-somero	Lento-somero	Lento-somero	Lento-profundo	Lento-profundo	Lento-profundo
Calificación	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Autores

### 8. Elementos de heterogeneidad:

Para el punto 1, 2 y 4 se calificó con valor 5; debido a que en estos puntos se encuentra los siguientes elementos: algas sumergidas, musgos y plantas, diques naturales, hojarasca, troncos y ramas.

Para el punto 3, 5, 6 y 7 se calificó con valor 2; debido a que en estos puntos se encuentra los siguientes elementos: raíces sumergidas y algas.

Para finalizar se suman todas estas variables y se obtiene el resultado de calidad hidromorfológica en cada punto de monitoreo, tal como se indica en la Tabla 25.

Tabla 25. Calidad hidromorfológica en cada punto de monitoreo

Parámetros	Puntuación						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abscisas (km)	0.8	12.2	14.05	17.65	19.06	22.7	23.7
Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera	0	0	2	2	2	5	5
Continuidad de la vegetación de ribera a lo largo del río	1	1	1	1	3	3	3
Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacentes o próximos	0	0	0	0	0	2	2
Presencia de basuras y escombros	5	2	0	0	0	2	2
Naturalidad del canal fluvial	0	0	0	0	3	5	5
Composición del sustrato	3	3	3	4	3	3	2
Régimenes de velocidad y profundidad del río	1	1	1	1	1	1	1
Elementos de heterogeneidad	5	5	2	5	2	2	2

Sumatoria	15	12	9	13	14	23	22
-----------	----	----	---	----	----	----	----

Fuente: Autores

Por lo tanto, el punto 1, 2, 4 y 5 presenta una calidad hidromorfológica mala, el punto 3 una calidad hidromorfológica pésima, y el punto 6 y 7 una calidad hidromorfológica buena.

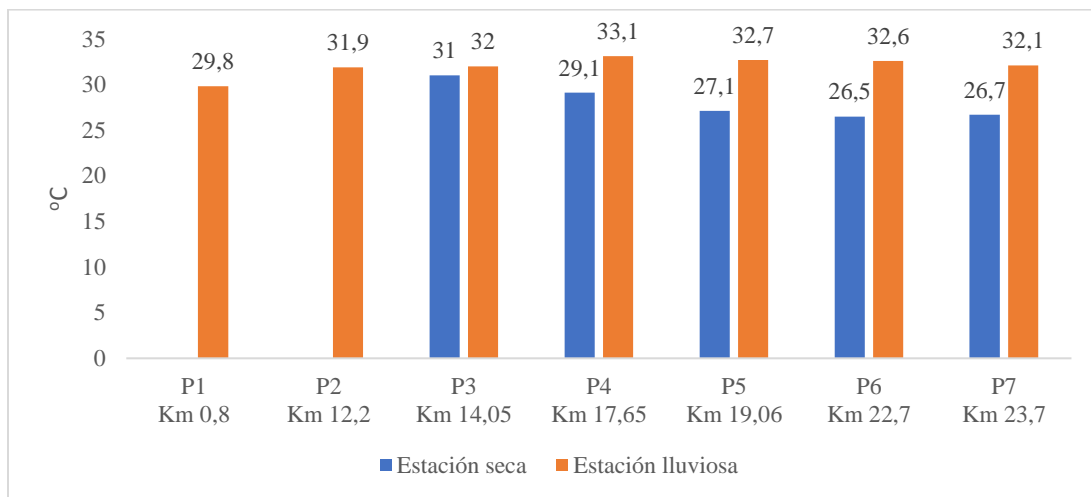
#### 4.5 Análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos

##### Parámetros físicos

##### Temperatura

Como se puede evidenciar en la ilustración 21, la temperatura tomada en estación seca (primer muestreo) es inferior a la temperatura tomada en estación lluviosa (segundo muestreo). Esto puede deberse a que la radiación solar es la encargada de calentar la superficie de un cuerpo de agua y es mucho mayor en los meses de marzo-junio que en octubre-diciembre. Esto se asemeja con las temperaturas que se experimentan en esos meses en el país.

Ilustración 21. Temperatura en estación seca y estación lluviosa



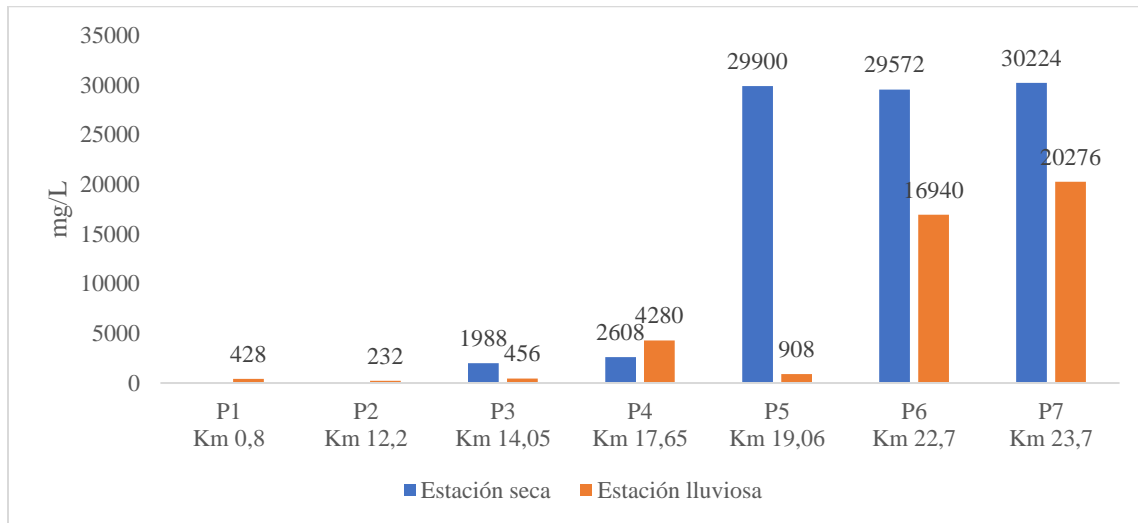
Fuente: Autores

##### Sólidos totales

Se puede observar en la ilustración 22 que, los valores de sólidos totales en los puntos 3 (km 14,05), 5 (km 19,06), 6 (km 22,7) y 7 (km 23,7) son muy inferiores con respecto a la estación seca, y esto es debido a que los sólidos totales se concentran en la estación seca debido a la falta de agua en el canal y se reducen en época lluviosa por el aumento del caudal.



Ilustración 22. Sólidos totales en estación seca y estación lluviosa

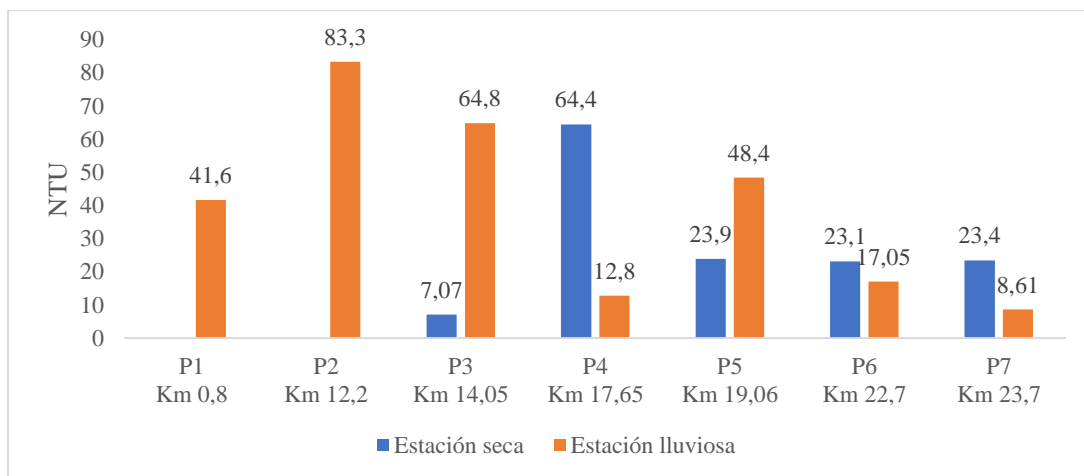


Fuente: Autores

## Turbidez

Para la turbidez se puede evidenciar un caso particular, tal como se indica en la ilustración 23, en el punto 3 (km 14,05) la presencia de turbidez es alto en estación lluviosa teniendo en cuenta que, en estación seca, el estiaje de agua en el punto 1 (km 0,8), 2 (km 12,2) y 3 (14,05) es notoria. La turbidez en cambio, en el punto 4 (km 17,65) es baja en estación lluviosa y puede ser debido a la presencia de una salida de aguas residuales en el punto 4 (km 17,65). Mientras que desde el punto 6 (km 22,7) en adelante la turbidez es baja en comparación con la estación seca debido a que desde el punto 5 (km 19,06) se evidencia la presencia de piscinas camaroneras que realizan actividades de succión de agua del canal y desagüe de las piscinas camaroneras.

Ilustración 23. Turbidez en estación seca y estación lluviosa

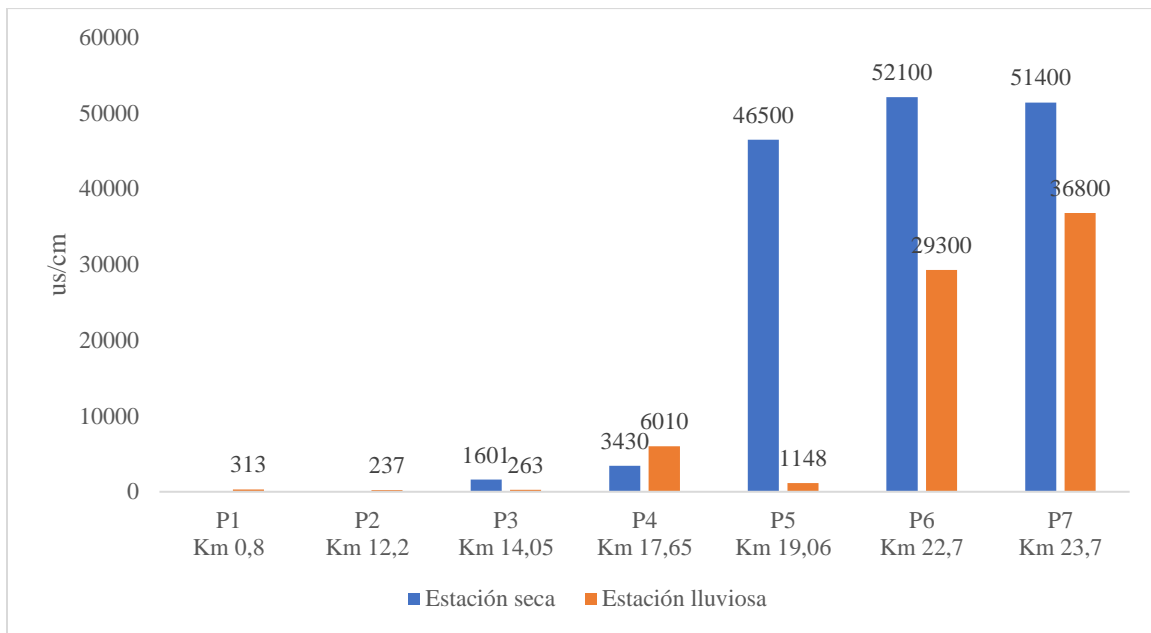


Fuente: Autores

## Conductividad eléctrica

En la ilustración 24 se puede evidenciar que para la conductividad eléctrica del punto 5 (km 19,06), 6 (km 22,7) y 7 (km 23,7) en estación seca los valores de este parámetro son altos, y esto puede relacionarse a que según Álvarez (2010) en épocas de estiaje la capacidad de diluir sustancias presentes en el agua se ve reducida; en el punto 4 (km 17,65) la conductividad eléctrica es baja y eso puede deberse a la presencia de una descarga de aguas residuales que pudo ser constante en la temporada seca con respecto a la estación lluviosa, que diluyó la concentración de sustancias del agua en ese punto.

Ilustración 24. Conductividad eléctrica en estación seca y estación lluviosa

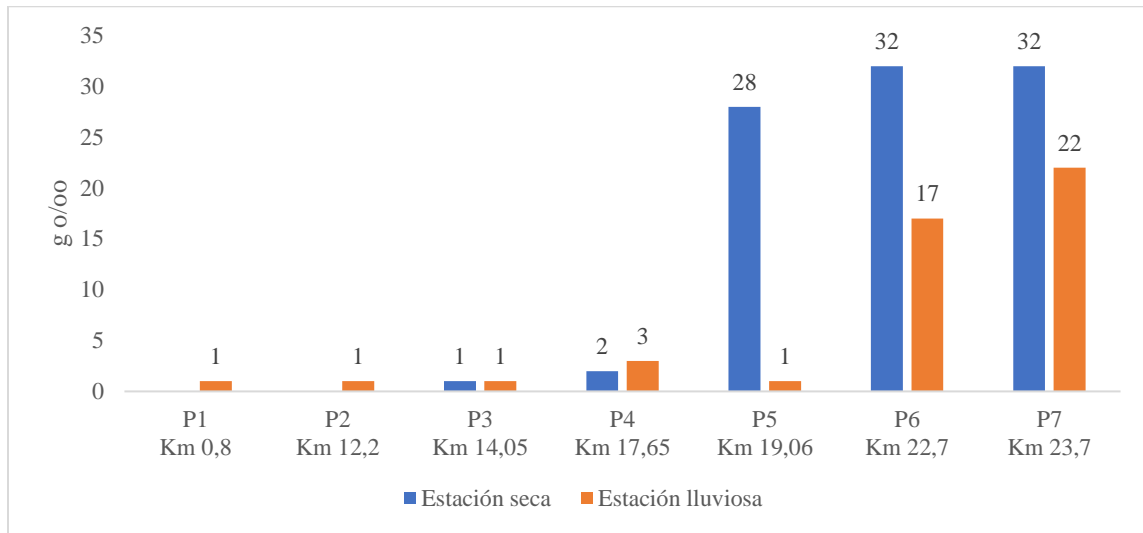


Fuente: Autores

## Salinidad

El área de estudio está conformada por un canal de agua que se une a un canal de agua de estuario, es por eso por lo que este indicador muestra el punto de unión de agua dulce y salada. Como se ve en la ilustración 25, entre el punto 4 (km 17,65) y 5 (km 19,06) se marca la transición de agua dulce a salada. Además, estos puntos marcan la variación de las comunidades macro bentónicas. Se evidencia también que, en estación lluviosa debido a la presencia de precipitaciones la concentración de salinidad disminuye un poco.

Ilustración 25. Salinidad en estación seca y estación lluviosa



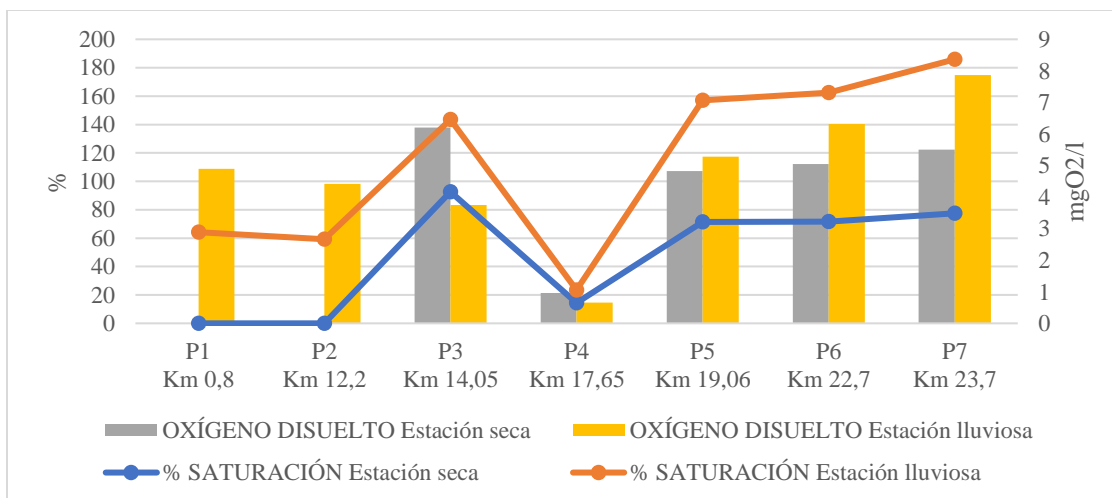
Fuente: Autores

## Parámetros Químicos

### Oxígeno disuelto

Como se muestra en la ilustración 26, los valores para el oxígeno disuelto se encuentran en concentraciones inferiores a 8 mgO<sub>2</sub>/L lo que se justifica con la presencia de materia orgánica en algunos tramos según (Montalvo et al., 2008). El canal de agua al estar ubicado geográficamente en una zona plana y muy cercana al nivel del mar, estos valores se justifican debido a la ausencia de altura (Forsberg, 2013), lo que impide la oxigenación del agua en su transcurso. Se puede evidenciar que el punto 4 (km 17,65) es el más crítico con respecto al oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación, debido a la presencia abundante de materia orgánica por la abundante presencia de residuos sólidos orgánicos (basura).

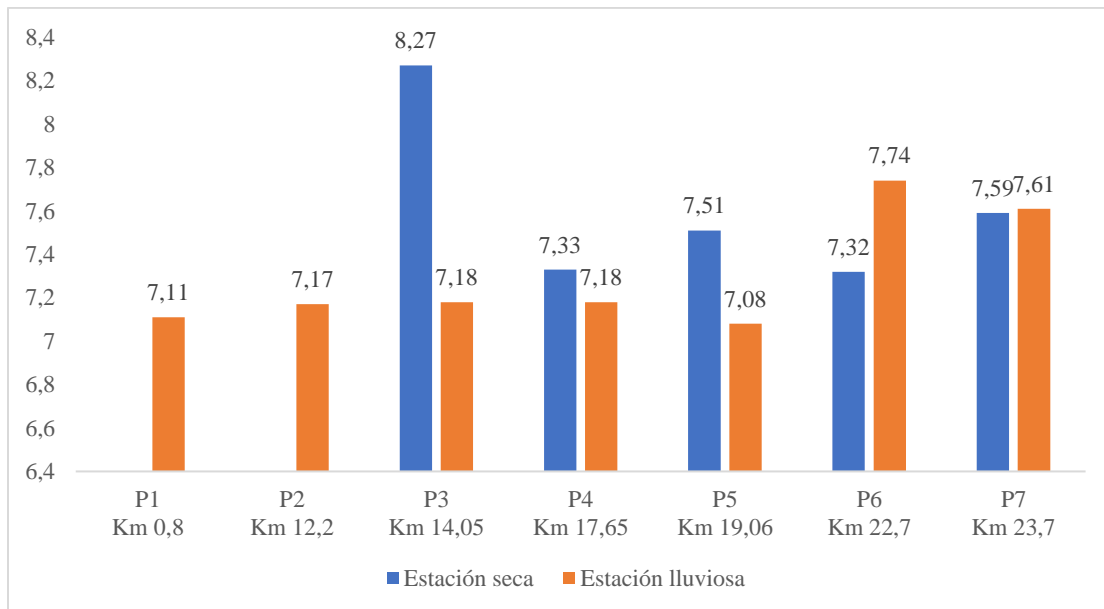
Ilustración 26. Oxígeno Disuelto en estación seca y estación lluviosa



## Potencial de hidrógeno

En la ilustración 27, se puede evidenciar que para el potencial de hidrogeno en la estación seca el pH en el punto 3 (km 14,05), 4 (km 17,65) y 5 (km 19,06) son elevados en comparación con el punto 6 (km 22,7) y 7 (km 23,7). Esto se puede atribuir a que, en estación seca además el caudal es muy bajo, cercano a cero, sumado a la poca dilución de materia orgánica eleva el pH. Pero en el punto 6 (km 22,7) y 7 (km 23,7) el pH de estación seca es inferior al pH de la estación lluviosa, esto se puede relacionar a que en estación lluviosa se dan más limpiezas de piscinas camaroneras, cuyas aguas residuales contienen sustancias químicas que son importantes en la limpieza de dichas piscinas camaroneras. Sin embargo, para esta teoría no se evidencio un patrón lógico y definido.

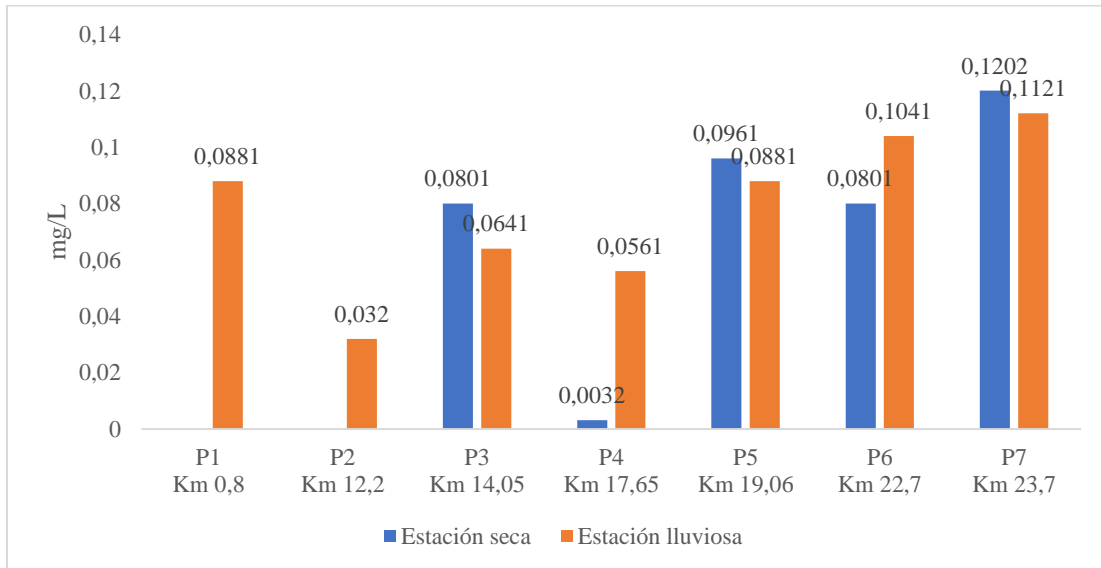
Ilustración 27. Potencial de hidrógeno en estación seca y estación lluviosa



## Clorofila

Este parámetro es un indicador relevante de un proceso de eutrofización, es decir la adición de nutrientes (materia orgánica) disminuye el estado trófico del lugar (Barros, Lopes, Carvalho, & Capelo Neto, 2017), esto favorece a la proliferación de las comunidades planctónicas aumentando la turbidez del agua y desencadenando en la disminución del oxígeno disuelto del lugar. Como se evidencia en la ilustración 28, en el punto 4 (km 17,65), hubo en un inicio un crecimiento de plancton hasta estabilizarse; posteriormente entra en un estado de decaimiento como fase final. El punto 4 (km 17,65) es el más afectado con respecto a la presencia de materia orgánica vegetal y animal.

Ilustración 28. Clorofila en estación seca y estación lluviosa

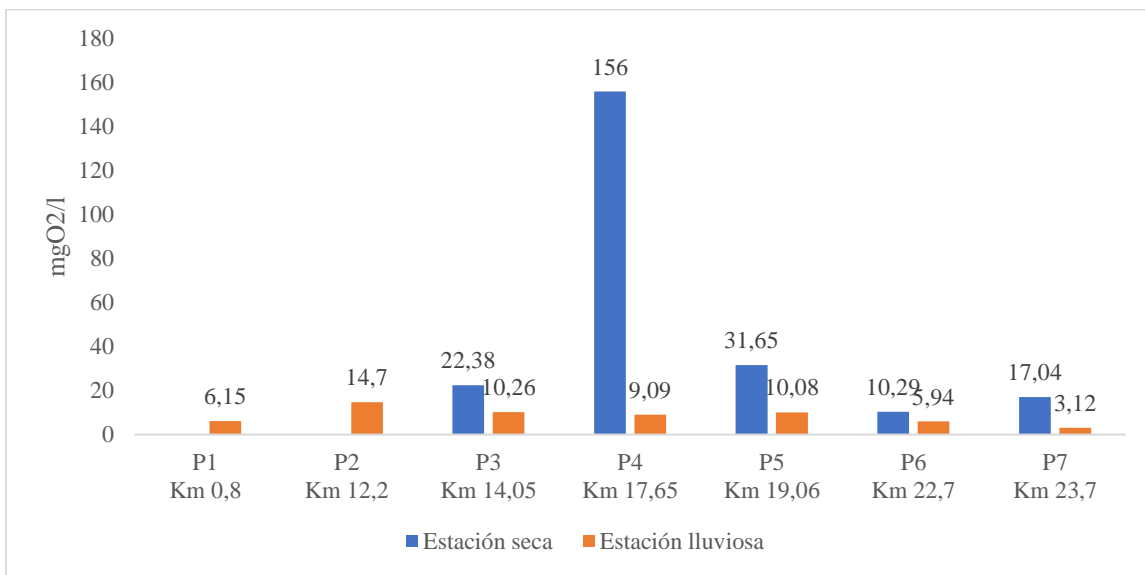


Fuente: Autores

### Demanda Bioquímica de Oxígeno

La DBO<sub>5</sub> en todos los puntos es elevado, esto se debe a la presencia de materia orgánica biodegradable (Montalvo et al., 2008) que sumado a la época de estiaje complementa a que el parámetro evaluado se eleve notablemente. En la ilustración 29 se observa que en el punto 4 (km 17,65) el valor de DBO<sub>5</sub> es de 156 mgO<sub>2</sub>/L y esto es a causa de la descarga de agua residual presumiblemente del camal municipal ubicado a unos pocos metros del punto.

Ilustración 29. DBO<sub>5</sub> en las estación seca y estación lluviosa

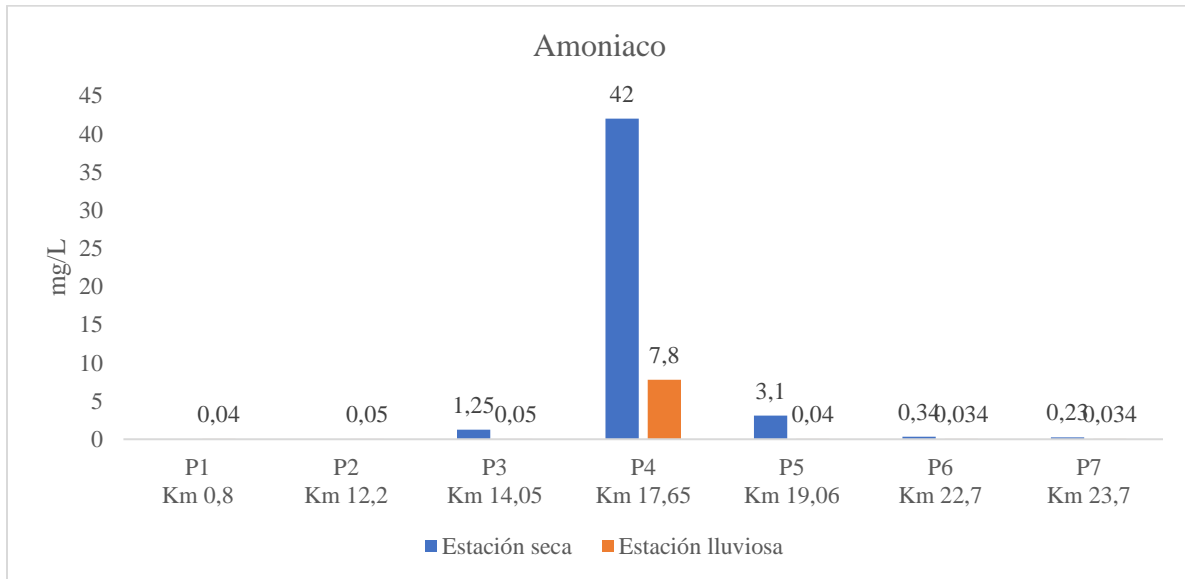


Fuente: Autores

## Amoniaco

Como se observa en la ilustración 30, los valores más representativos se encuentran en el punto 4 (km 17,65), tanto para la estación seca como para la estación lluviosa; este parámetro es un indicador directamente proporcional a la actividad biológica y de la presencia de una descarga de agua residual según Gutierrez (2011).

Ilustración 30. Amoniaco en estación seca y estación lluviosa

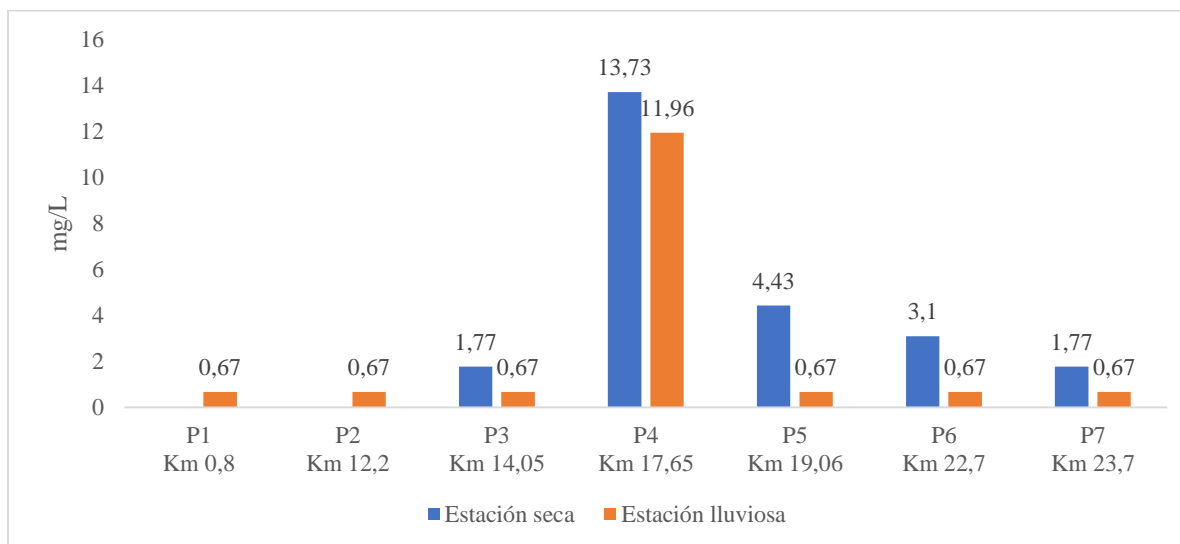


Fuente: Autores

## Nitratos

En la ilustración 31, se puede evidenciar que, en estación seca la concentración de nitratos es elevada en comparación con la estación lluviosa, este parámetro es un indicador químico de la descomposición de materia animal y vegetal según Ayora (2010). Esto se puede relacionar con la presencia de materia orgánica desechada como residuos sólidos y aguas residuales (basura e incluso ciertos restos de animales).

Ilustración 31. Nitratos en estación seca y estación lluviosa

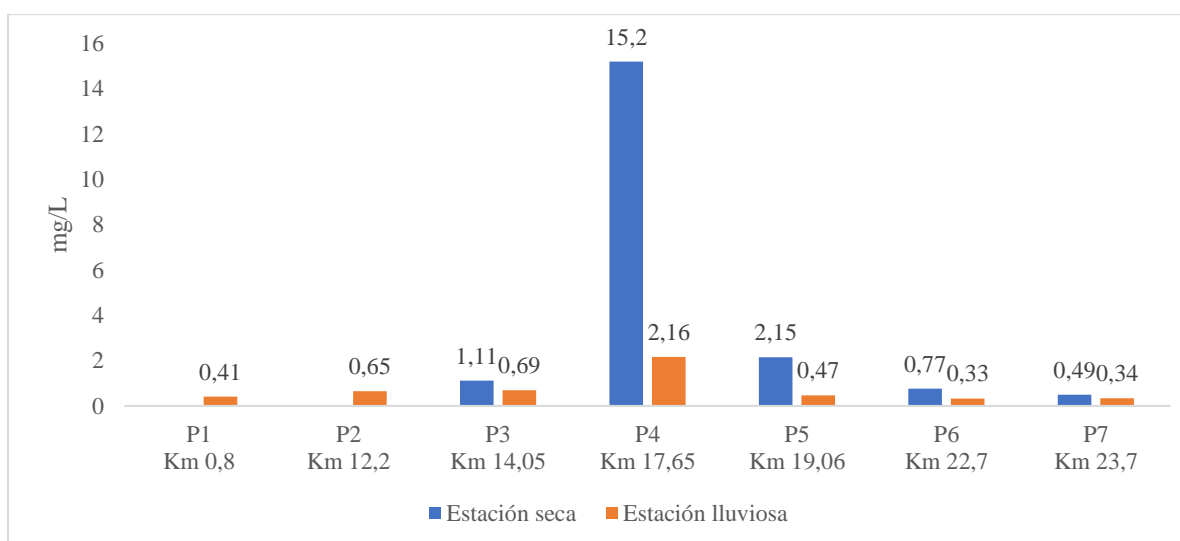


Fuente: Autores

## Fosfatos

La presencia de fosfatos en todos los puntos es alta, tal como se indica en la ilustración 32, con mayor concentración en el punto 4 (km 17,65), esto se puede deber a que en época de estiaje la concentración de detergentes en las aguas residuales según Jimenez (2000) que salen de una descarga de aguas residuales o a la presencia de desechos pecuarios a causa del camal municipal que está ubicado cerca al punto 4 (km 17,65), elevan este parámetro y no alcanza a diluirse como lo hace en la estación lluviosa.

Ilustración 32. Fosfatos en estación seca y estación lluviosa

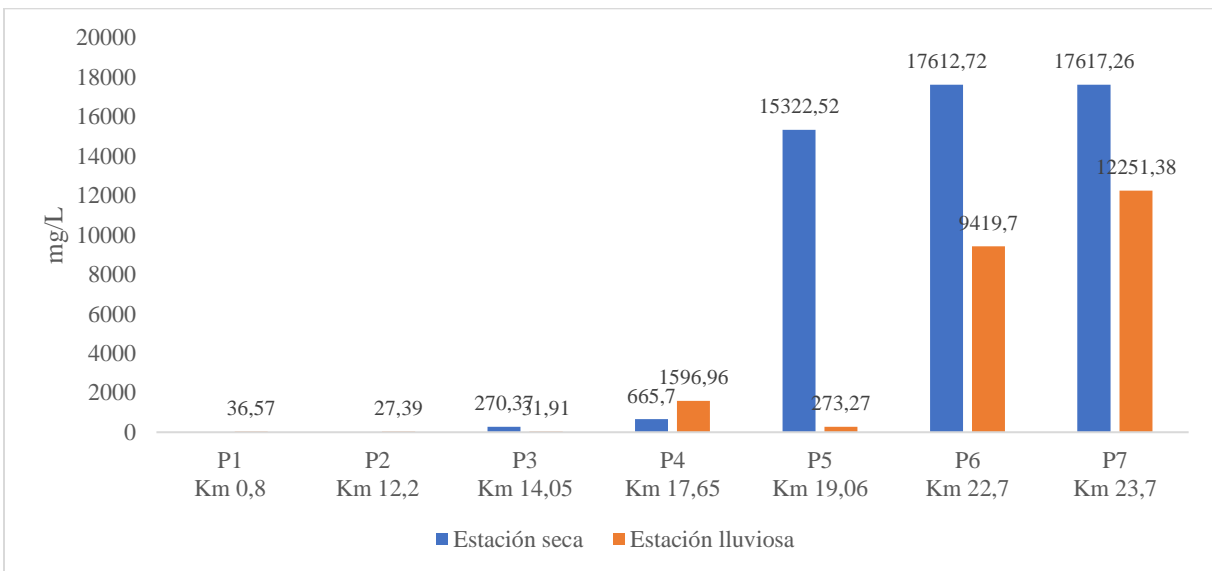


Fuente: Autores

## Cloruros

En la ilustración 33, se puede evidenciar, que en el punto 3 (km 14,05), 5 (km 19,06), 6 (km 22,7) y 7 (km 23,7) los valores de cloruros son elevados en la estación seca en comparación con los valores presentados en la estación lluviosa; esto según Ayora (2010) se debe a la presencia de aguas residuales domésticas que son depositadas al canal de agua y que no alcanzan a diluirse debido al estiaje de agua en el canal.

Ilustración 33. Cloruros en la estación seca y estación lluviosa



Fuente: Autores

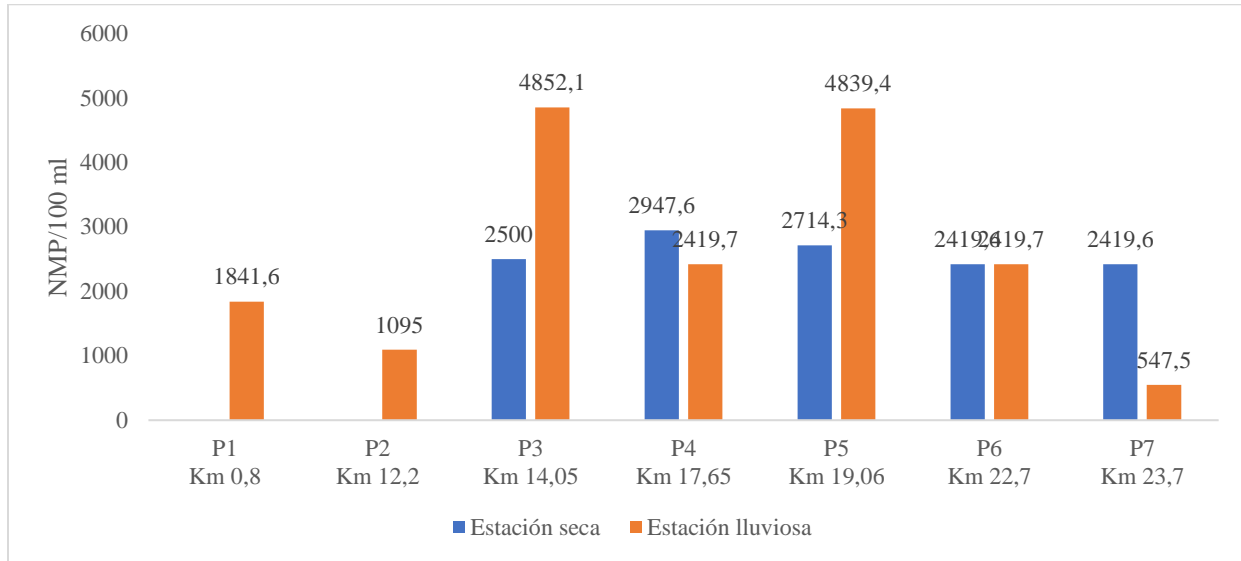
## Parámetros microbiológicos

### Coliformes fecales

Como se observa la ilustración 34, los valores más altos de coliformes fecales los encontramos en el punto 3 (km 14,05) y 5 (km 19,06), con 4852,1 NMP/100ml y 4839,4 NMP/100ml respectivamente y ambos en estación lluviosa, esto se puede deber según Cocha Pallo (2009) a los desechos generados por animales de sangre caliente. Pero además, de evidenciar la presencia de pequeños ganados vacunos y porcinos por estos sectores, estos valores elevados se pueden relacionar con descargas de aguas residuales de asentamientos humanos que no tengan una conexión con el sistema de alcantarillado sanitario o como consecuencia de un sistema deficiente de alcantarillado sanitario que en estación lluviosa colapsa y desfoga hacia el canal de agua.



Ilustración 34. Coliformes fecales en estación seca y estación lluviosa



Fuente: Autores

#### 4.6 Resultados del análisis con la normativa ambiental

Una vez obtenido los resultados del laboratorio, se verifica si los parámetros analizados se encuentran en un rango permisible para preservar la vida acuática tanto para agua dulce (canal) como agua de estuario, y se verifica también si los valores de coliformes fecales dentro de los límites permisibles.

##### Primer punto: P1 (km 0,8) Agua dulce

En el primer punto de muestreo se evidencia que el porcentaje de saturación de oxígeno es de 64.2% en estación lluviosa, inferior al límite máximo permisible establecido en la norma (Tabla 26). La cantidad de oxígeno disuelto depende en gran mayoría de la temperatura del agua, a mayor temperatura aumenta la actividad biológica, causando que el OD disminuya. También, al haber gran cantidad de carga orgánica en el agua, hace que las bacterias consuman más oxígeno para oxidar o metabolizar el material orgánico, provocando que la cantidad de OD producido sea menor al requerido generando condiciones no óptimas para el desarrollo y mantenimiento de vida acuática.

Tabla 26: Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 1

Parámetros	Resultados	Límite Máximo Permisible AM 097A	Cumplimiento
Materia flotante de origen antrópico	Ausencia	Ausencia	Cumple
Oxígeno Disuelto	64.2 % saturación	> 80 % saturación	<b>No Cumple</b>
Potencial de Hidrógeno	7.11	6.5-9	Cumple
Nitritos	0.1 mg/l	0.2 mg/l	Cumple
Nitratos	0.67 mg/l	13 mg/l	Cumple
DBO <sub>5</sub>	6.15 mgO <sub>2</sub> /l	20 mgO <sub>2</sub> /l	Cumple

Parámetros	Resultados	Límite Máximo Permissible Tabla 9, AM 097A	Cumplimiento
Coliformes fecales	1841.60 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml	Cumple

Fuente: Grupo Químico Marcos

### Segundo punto: P2 (km 12.2) Agua dulce

Se evidenció la presencia de materia flotante de origen antrópico tales como residuos sólidos orgánicos e inorgánicos. La Tabla 27, indica que el porcentaje de saturación de oxígeno es de 59.2% en estación lluviosa, inferior al límite máximo permissible establecido en la norma. Los demás parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles según la normativa ambiental vigente.

Tabla 27: Evaluación de Límites Máximos permisibles en el punto 2

Parámetros	Resultados	Límite Máximo Permissible AM 097A	Cumplimiento
Materia Flotante de origen antrópico	Presencia	Ausencia	No Cumple
Oxígeno Disuelto	59.2 % saturación	> 80 % saturación	No Cumple
Potencial de Hidrógeno	7.17	6.5-9	Cumple
Nitritos	0.14 mg/l	0.2 mg/l	Cumple
Nitratos	0.67 mg/l	13 mg/l	Cumple
DBO <sub>5</sub>	14.7 mgO <sub>2</sub> /l	20 mgO <sub>2</sub> /l	Cumple
Parámetros	Resultados	Límite Máximo Permissible Tabla 9, AM 097A	Cumplimiento
Coliformes fecales	1095 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml	Cumple

Fuente: Grupo Químico Marcos

### Tercer punto: P3 (km 14,05) Agua dulce

Tal como se indica en la Tabla 28, para el punto 3 de muestreo se evidenció la presencia de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos dentro y fuera del canal tanto para la estación seca como estación lluviosa, por lo que no cumple con las condiciones de la normativa ambiental. El oxígeno disuelto en estación lluviosa no cumple con los criterios establecidos en la normativa debido a que presenta un valor 50.8 % muy por debajo del límite permissible; esto puede deberse a que al aumentar la temperatura del agua en época lluviosa aumenta la actividad biológica y en consecuencia disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. También se registra un valor superior al límite permissible de DBO<sub>5</sub> en la estación seca, esto se debe a la disminución del caudal que provoca que las aguas residuales estén más concentradas y por lo tanto sea más difícil la depuración natural de estas, consumiendo más oxígeno del habitual. Por último, se registra un alto valor de coliformes fecales sobrepasando el límite máximo permissible, tanto para la estación seca como para la estación lluviosa, siendo mayor el valor en estación lluviosa debido las precipitaciones que provocan un aumento de escorrentía y arrastre de materiales que llegan directamente al canal.

Tabla 28: Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 3

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados estación seca</b>	<b>Resultados estación lluviosa</b>	<b>Límite Máximo Permissible Tabla 2, AM 097A</b>
Materia flotante de origen antrópico	Presencia	Presencia	Ausencia
Oxígeno Disuelto	92.6 % saturación	50.8 % saturación	> 80 % saturación
Potencial de Hidrógeno	8.27	7.18	6.5-9
Nitritos	0.1 mg/l	0.15 mg/l	0.2 mg/l
Nitratos	1.77 mg/l	0.67 mg/l	13 mg/l
DBO <sub>5</sub>	22.38 mgO <sub>2</sub> /l	10.26 mgO <sub>2</sub> /l	20 mgO/l
<b>Parámetros</b>	<b>Resultados estación seca</b>	<b>Resultados estación lluviosa</b>	<b>Límite Máximo Permissible Tabla 9, AM 097A</b>
Coliformes fecales	2525.7 NMP/100 ml	4852,1 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml

Fuente: Grupo Químico Marcos

#### Cuarto punto: P4 (km 17,65) Agua dulce

Durante la visita de campo y toma de muestra de agua se evidenció la presencia de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos en el área de estudio. La Tabla 29 indica que tanto en la estación seca como estación lluviosa los valores de oxígeno disuelto son extremadamente bajos, no cumpliendo con lo establecido en la normativa. Para la estación seca la disminución de oxígeno disuelto se debe a que al haber un exceso de materia orgánica en el cuerpo de agua, las bacterias consumen casi todo el oxígeno, más del requerido para poder degradar la materia orgánica; esto se corrobora con el valor de DBO<sub>5</sub> cuyo valor indica que el flujo de agua observado en el canal es prácticamente agua residual y en consecuencia el valor de coliformes fecales es más alto en la estación seca que en la estación lluviosa, al igual que los valores de nitratos que es un indicador de afectación ambiental por aguas residuales con fertilizantes y heces. La disminución del oxígeno disuelto en estación lluviosa se podría deber al aumento de la temperatura del agua, lo que provoca un aumento de la actividad biológica consumiendo más oxígeno del necesario para metabolizar la carga orgánica presente en el cuerpo de agua.

Tabla 29. Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 4

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados estación seca</b>	<b>Resultados estación lluviosa</b>	<b>Límite Máximo Permissible AM 097A</b>
Materia flotante de origen antrópico	Presencia	Presencia	Ausencia
Oxígeno Disuelto	14.3 % saturación	9.2 % saturación	> 80 % saturación
Potencial de Hidrógeno	7.33	7.12	6.5-9
Nitritos	0.01 mg/l	0.56 mg/l	0.2 mg/l
Nitratos	13.73 mg/l	11.96 mg/l	13 mg/l
DBO <sub>5</sub>	156 mgO <sub>2</sub> /l	9.09 mgO <sub>2</sub> /l	20 mgO/l

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados</b>	<b>Resultados</b>	<b>Límite Máximo Permisible Tabla 9, AM 097A</b>
Coliformes fecales	2947.7	2419,7 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml

*Fuente: Grupo Químico Marcos*

#### **Quinto punto: P5 (km 19,06) Agua de estero**

Para el punto 5 no se encontraron mayores observaciones debido a que los resultados se encuentran dentro del rango permisible de la normativa (Tabla 30) tanto para la estación seca como para la estación lluviosa. Sin embargo, se evidenció la presencia de materia orgánica flotante, este punto al ubicarse en zona camaronera se encontró sacos de balanceado para camarones y mangueras rotas. No se pudo comparar los valores de coliformes fecales debido a que en la normativa ambiental estos valores son específicos para un cuerpo de agua dulce.

*Tabla 30: Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 5*

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados estación seca</b>	<b>Resultados estación lluviosa</b>	<b>Límite Máximo Permisible AM 097A</b>
Materia flotante de origen antrópico	Presencia	Presencia	Ausencia
Oxígeno Disuelto	71.5 % saturación	85.5 % saturación	> 60 % saturación
Potencial de Hidrógeno	7.51	7.08	6.5-9.5
Nitritos	0.13 mg/l	0.08 mg/l	-
Nitratos	13.73 mg/l	0.67 mg/l	200 mgO <sub>2</sub> /l
DBO <sub>5</sub>	31.56 mgO <sub>2</sub> /l	10.08 mgO <sub>2</sub> /l	-

*Fuente: Grupo Químico Marcos*

#### **Sexto punto: P6 (km 22.7) Agua de estero**

Los resultados obtenidos para el punto 6, indican que los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites permisibles (Tabla 31), a excepción de uno debido a que en campo se evidenció plásticos flotando.

*Tabla 31: Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 6*

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados estación seca</b>	<b>Resultados estación lluviosa</b>	<b>Límite Máximo Permisible AM 097A</b>
Materia flotante de origen antrópico	Presencia	Presencia	Ausencia
Oxígeno Disuelto	71.6 % saturación	108.4 % saturación	> 60 % saturación
Potencial de Hidrógeno	7.51	7.61	6.5-9.5
Nitritos	0.04 mg/l	0.01 mg/l	-
Nitratos	3.1 mg/l	0.67 mg/l	200 mgO <sub>2</sub> /l
DBO <sub>5</sub>	10.29 mgO <sub>2</sub> /l	5.94 mgO <sub>2</sub> /l	-

*Fuente: Grupo Químico Marcos*

### Séptimo punto: P7 (km 23.7) Agua de estero

La Tabla 30 indica los resultados obtenidos en el punto 7, los cuales se encuentran en los límites permisibles.

Tabla 32: Evaluación de límites máximos permisibles en el punto 7

Parámetros	Resultados estación seca	Resultados estación lluviosa	Límite Máximo Permisible AM 097A
Materia flotante de origen antrópico	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Oxígeno Disuelto	77.5 % saturación	90.8 % saturación	> 60 % saturación
Potencial de Hidrógeno	7.59	7.74	6.5-9.5
Nitritos	0.03 mg/l	0.05 mg/l	-
Nitratos	1.77 mg/l	0.67 mg/l	200 mgO <sub>2</sub> /l
DBO <sub>5</sub>	17.04 mgO <sub>2</sub> /l	3.12 mgO <sub>2</sub> /l	-

Fuente: Grupo Químico Marcos

### 4.7 Análisis del Índice de Calidad de Agua (ICA)

La toma de muestras de agua se lo realizó en estación seca y lluviosa, donde el valor del ICA más alto fue de 73, tal como se indica en la Tabla 33 e ilustración 49, obteniéndolo en la estación lluviosa y en el punto 7 (km 23,7). De manera general los valores más altos de ICA se los pudo encontrar en la estación lluviosa y este comportamiento se lo puede atribuir a los procesos de autodepuración que se den como consecuencia de las precipitaciones de la cuenca hidrográfica (Sanchez, 2014); a excepción del punto 3 (km 14,05) donde el valor del ICA (56) es inferior por un 6% en comparación con el valor del ICA (60) tomado en estación seca, puede deberse a que en este sector se evidenció la presencia de residuos sólidos dentro del canal de agua, también puede deberse a que los moradores de este sector crían animales de granja como; vacas, cerdos, pollos y gallinas. Sin embargo, este posible argumento no es exacto debido a que la diferencia de los valores del ICA en el punto 3 (km 14,05) es mínima y no muy relevante.

Como se indica en la Tabla 34, los criterios en general del ICA que se obtuvo en la estación lluviosa para los puntos de monitoreo fueron: 71,42% (Calidad de agua regular) que corresponde a los puntos 1 (km 0,8), 2 (km 12,2), 3 (km 14,05), 5 (km 19,06) y 6 (km 22,7); 14,28% (Calidad de agua mala) que corresponde al punto 4 (km 17,65) y 14,28% (Calidad de agua buena) que corresponde al punto 7 (km 23,7). De acuerdo con este criterio propuesto por Brown et al. (1970) se puede decir que el punto 4 presenta la calidad de agua más baja y se debe a que este punto es considerado para moradores del lugar como un botadero público de basura, además a pocos metros del punto 4 de monitoreo se evidenció la presencia de una salida de aguas residuales de alcantarilla que estaba cubierta por maleza. También se presume que la calidad de agua en este punto es muy baja debido a la presencia de un Camal Municipal a solo unos metros de la orilla del canal.

Para la estación lluviosa debido al estiaje característico de esta estación climática, hay una ausencia de agua hasta el punto 2 (km 12,2), hay presencia de agua, pero ausencia de caudal desde el punto 3 (km 14,05) hasta el punto 4 (km 17,65) y desde el punto 5 (km 19,06) ya existe un caudal de agua; por lo que no se consideró a los puntos de monitoreo 1 (km 0,8) y 2 (km 12,2) en este análisis. Esto influye en los valores del ICA y que se los puede evidenciar en los resultados obtenidos en la Tabla 33, donde el valor más bajo del ICA (32) es en el punto 4 (km 17,65) y como se dijo anteriormente es a causa de incapacidad de autodepuración en este lugar es a consecuencia de: ausencia de caudal de agua y la presencia de elevados niveles de DBO<sub>5</sub>, amoníaco, fosfatos y nitratos; estos parámetros químicos son indicadores de la presencia de descargas de aguas residuales y la presencia de materia orgánica vegetal y animal en descomposición.

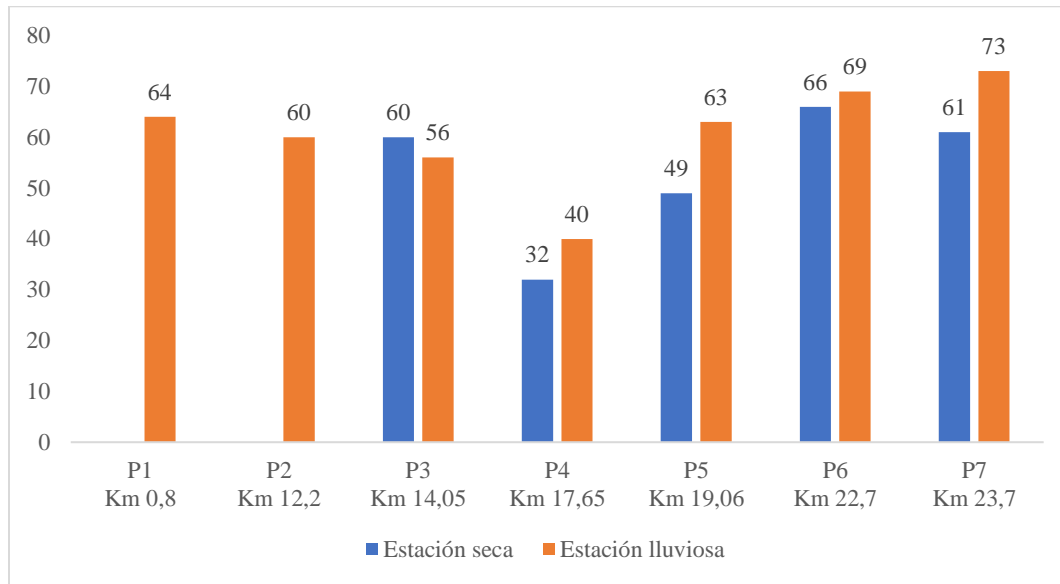
Los criterios en general del ICA que se obtuvo en la estación seca para los puntos de monitoreo fueron: 60% (Calidad de agua regular) que corresponde a los puntos 3 (km 14,05), 6 (km 22,7) y 7 (km 23,7); y 40% (Calidad de agua mala) que corresponde a los puntos 4 (km 17,65) y 5 (km 19,06). De manera general todos los puntos evaluados en la estación seca tienen un valor de ICA bajo, y se debe a factores mencionados con anterioridad a causa de las actividades humanas; esto complementa con la ausencia de lluvias y que disminuyen la capacidad de autodepuración en todos los puntos.

*Tabla 33: índice de Calidad del agua para estación seca y lluviosa por sitio de muestreo*

<b>ETAPAS DE MONITOREO</b>			
		<b>28/10/2019</b>	<b>09/03/2020</b>
<b>PUNTO</b>	<b>ABSCISA(km)</b>	<b>ESTACIÓN SECA</b>	<b>ESTACIÓN LLUVIOSA</b>
1	0,8	-	64
2	12,2	-	60
3	14,05	60	56
4	17,65	32	40
5	19,06	49	63
6	22,7	66	69
7	23,7	61	73

*Fuente: Autores*

Ilustración 35. Índice de Calidad del agua para estación seca y lluviosa



Fuente: Autores

Tabla 34: Criterio general del ICA para estación seca y lluviosa

ETAPAS DE MONITOREO			
		28/10/2019	09/03/2020
PUNTO	ABSCISA(km)	ESTACIÓN SECA	ESTACIÓN LLUVIOSA
1	0,8	-	REGULAR
2	12,2	-	REGULAR
3	14,05	REGULAR	REGULAR
4	17,65	MALA	MALA
5	19,06	MALA	REGULAR
6	22,7	REGULAR	REGULAR
7	23,7	REGULAR	BUENA

Fuente: Autores

#### 4.8 Índice Biológico BMWP adaptado para Colombia (BMWP-Col) y Puntaje Promedio por Taxón (ASPT).

Para el análisis de este indicador biológico se clasificó a los macroinvertebrados identificados a nivel taxonómico de familia.

En la estación lluviosa se identificó 455 individuos y 19 familias, en la estación seca se identificó 324 individuos y 27 familias. Siendo la estación lluviosa donde se registró un número inferior de individuos, esto coincide con lo dicho por Moya et al. (2009) acerca de la relación directamente proporcional de la abundancia de comunidades de macroinvertebrados con la temperatura. La diferencia de temperaturas entre ambas temporadas de muestreos fue de 1 a 4 °C, lo que probablemente hizo reducir la presencia de comunidades de macroinvertebrados en un 26% a nivel de familias; es decir, las más tolerantes o resilientes

podieron adaptarse al cambio de temperatura. Al igual, Álvarez (2010) en su estudio indica que las fluctuaciones de temperaturas influyen de manera directa e importante en la distribución y composición de los macroinvertebrados; cabe indicar que esta abundancia se presentó en ausencia de caudal y velocidad de agua. Algunos factores que pudieron influir además de la baja temperatura, en la abundancia de macroinvertebrados son: la abundancia de recursos tróficos, baja estrés por la ausencia de caudal, composición del sustrato y la presencia abundante de hojarascas y plantas acuáticas con raíces expuestas (lechuguines de agua) lo que crearon un medio hidrológico altamente estable según el estudio de Álvarez, (2010) y Rivera (2011).

Después de obtener los puntajes respectivos de acuerdo con los taxones por familia de macroinvertebrados, tal como se indica en la Tabla 35 e ilustración 50, se evidenció que el puntaje máximo del índice BMWP-Col es de 109 y se la obtuvo del punto 1 (km 0,8) en la estación lluviosa; y el puntaje mínimo del índice BMWP-Col es de 5 y se la obtuvo del punto 5 (km 19,06) en la estación lluviosa.

Tabla 35. Índice BMWP-Col para estación seca y lluviosa

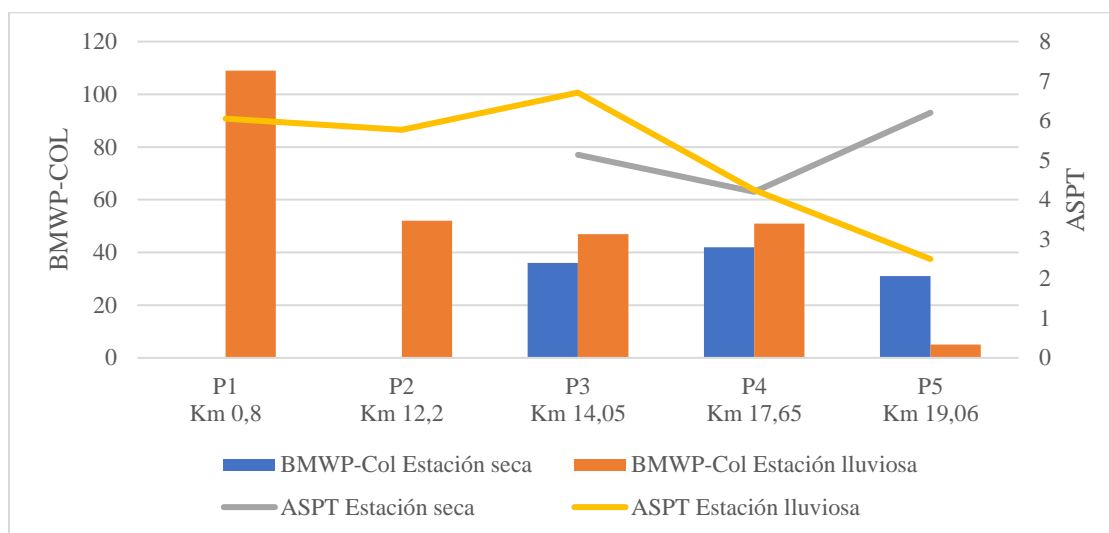
PUNTO	ABSCISA(km)	ETAPAS DE MONITOREO			
		28/10/2019		09/03/2020	
		ESTACIÓN SECA		ESTACIÓN LLUVIOSA	
		BMWP-Col	ASPT	BMWP-Col	ASPT
1	0,8	-	-	109	6,05
2	12,2	-	-	52	5,77
3	14,05	36	5,14	47	6,71
4	17,65	42	4,2	51	4,25
5	19,06	31	6,2	5	2,5

Fuente: Autores

Cabe recalcar que el índice biológico utilizado se basa en el método presencia – ausencia y prioriza el número de individuos encontrados; por lo que se vio necesario incluir la variable ASPT la cual complementa al BMWP-Col en cuanto a la calidad de agua, debido a que la variable ASPT es el resultado de la correlación entre el BMWP-Col y los taxones identificados en cada punto de monitoreo. De acuerdo con Moya et al. (2009) si existe una diferencia de familia de macroinvertebrados en las estaciones de monitoreo, se puede relacionar esta diferencia al grado de capacidad en cuanto a la adaptación que tienen las familias a los diversos escenarios alimenticios.



Ilustración 36. Índice BMWP-Col para la estación seca y lluviosa



Fuente: Autores

De manera general para la estación seca y lluviosa, las familias con mayor abundancia fueron: *Culicidae*, *Chironomidae*, *Physidae* y *Thiaridae*.

La familia *Culicidae*, se los encuentra en charcas o pozos con materia orgánica y detritus; y son un fuerte indicador biológico de aguas mesotróficas, es decir, que tienen un nivel intermedio de productividad y un nivel medio de nutrientes. La familia *Chironomidae* se los encuentra en cualquier tipo de sustrato, ya sea fangoso, limo arcilloso, grava, arenoso, canto rodado y rocas, sumergidos en plantas acuáticas; principalmente prefieren ambientes remansados y protegidos de las fuertes corrientes. Estos organismos son conocidos también como “resistentes” y pueden sobrevivir en aguas con bajos niveles de oxígeno (Marchese & Paggi, 2004). La familia *Physidae*, se los encuentra en el fondo de los ríos, pegados en las raíces o sobre plantas; por lo general son filtradores, recogen alimento del fondo fangoso. Son unos fuertes indicadores biológicos de contaminación. Finalmente, la familia *Thiaridae*, se alimenta de algas y de materia vegetal en descomposición.

Tabla 36: Criterio general del BMWP-Col para las estaciones seca y lluviosa

ETAPAS DE MONITOREO					
		28/10/2019		09/03/2020	
PUNTO	ABSCISA(km)	ESTACIÓN SECA		ESTACIÓN LLUVIOSA	
		BMWP-COL	ASPT	BMWP-COL	ASPT
1	0,8	-	-	BUENA	DUDOSA
2	12,2	-	-	DUDOSA	DUDOSA
3	14,05	CRITICA	DUDOSA	DUDOSA	ACEPTABLE
4	17,65	DUDOSA	CRITICA	DUDOSA	CRITICA
5	19,06	CRITICA	DUDOSA	CRITICA	MUY CRITICA

Fuente: Autores

En la Tabla 36, para la estación seca (primer muestreo), el índice BMWP-Col se determinó las siguientes categorías: 66,6% (Calidad crítica) correspondientes a los puntos 3 (km 14,05) y 5 (km 19,06). Y, 33,3% (Calidad dudosa) correspondiente al punto 4 (km 17,65). Si se compara el indicador BMWP-COL con la variable ASPT se evidencia que estos puntos tienden ser “Aguas moderadamente contaminadas” a “Aguas muy contaminadas”; esto coincide con la presencia fuerte de materia orgánica productos de descargas de aguas residuales y residuos sólidos en estos 3 puntos de monitoreo.

Para la estación lluviosa (segundo muestreo), el índice BMWP-Col indicó las siguientes categorías: 20% (Calidad buena) correspondiente al punto 1 (km 0,8), el 60% (Calidad dudosa) correspondiente al punto 2 (km 12,2), 3 (km 14,05) y 4 (km 17,65); y el 20% (Calidad crítica) correspondiente al punto 5 (km 19,06). Igualmente comparando este índice con la variable ASPT se puede evidenciar que no hay una relación coherente pues en la variable indica que en el punto 1 (km 0,8) y 2 (km 12,2) la calidad es “Aguas moderadamente contaminadas”, en el punto 3 (km 14,05) la calidad es “Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación”, en el punto 4 (km 17,65) la calidad es “Aguas muy contaminadas” y en el punto 5 (km 19,06) la calidad es “Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica”. El valor de la variable ASPT para la estación lluviosa no tiene una relación lógica debido a que en el punto 4 (km 17,65) según a criterio técnico y las evidencias encontradas debía tener una calidad “Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica”. Sin embargo, no se recomienda crear un patrón con base a los resultados de la variable ASPT pues son de una base de datos reducida.

#### 4.9 Índice Biótico de Familias (IBF-PR)

Este indicador biológico de calidad de agua fue usado para complementar al indicador BMWP-Col, por lo tanto, se usó la misma base datos de individuos identificados, En la estación lluviosa se identificó 455 individuos y 19 familias, en la estación seca se identificó 324 individuos y 27 familias.

Este indicador muestra una relación medianamente alta con el índice BMWP-Col, debido a que tienen cierta similitud en los resultados del IBF-PR, BMWP-Col en cuanto a los criterios generales para el IBF-PR y BMWP-Col, y con las evidencias encontradas en cada punto de monitoreo (ver Tabla 37 y Tabla 38)

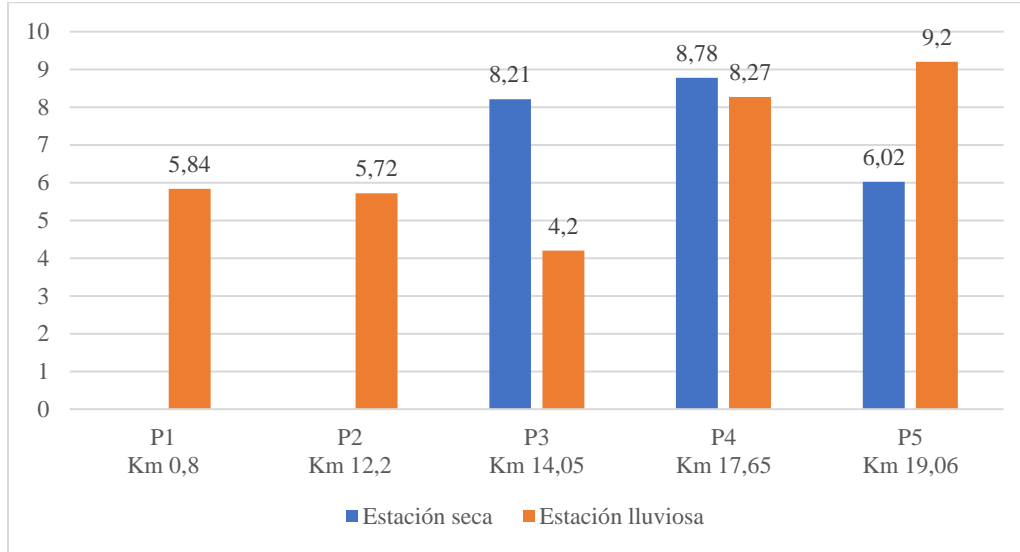
Tabla 37: IBF-PR para estación seca y lluviosa

<b>ETAPAS DE MONITOREO</b>			
		<b>28/10/2019</b>	<b>09/03/2020</b>
<b>PUNTO</b>	<b>ABSCISA(km)</b>	<b>ESTACIÓN SECA</b>	<b>ESTACIÓN LLUVIOSA</b>
1	0,8	-	5,84
2	12,2	-	5,72
3	14,05	8,21	4,2

4	17,65	8,78	8,27
5	19,06	6,02	9,2

Fuente: Autores

Ilustración 37. IBF-PR para estación seca y lluviosa



Fuente: Autores

Tabla 38: Criterio general del IBF-PR para estación seca y lluviosa

ETAPAS DE MONITOREO			
		28/10/2019	09/03/2020
PUNTO	ABSCISA(km)	ESTACIÓN SECA	ESTACIÓN LLUVIOSA
1	0,8	-	BUENA
2	12,2	-	BUENA
3	14,05	POBRE	EXCELENTE
4	17,65	MUY POBRE	POBRE
5	19,06	REGULAR	MUY POBRE

Fuente: Autores

#### 4.10 Índice Biótico Marino (AMBI)

Este indicador de calidad biótica marina fue evaluado en los puntos 5 (km 19,06), 6 (km 22,7) y 7 (km 23,7) debido a que desde el punto 5 (km 19,06) la salinidad se comienza a elevar por la unión con el canal de estuario, donde abunda la presencia de manglares y comienza la entrada al Océano Pacífico.

Los resultados obtenidos de la Tabla 39 y 40, se basan principalmente en la salud de las comunidades de macroinvertebrados, en estación seca la salud fue de empobrecida a normal clasificados como “Alteración nula”. Esto se lo puede relacionar a que la ausencia de lluvias lo que hace que la salud de las comunidades de macroinvertebrados sea óptima debido al medio hidrológico altamente estable que se ha creado.

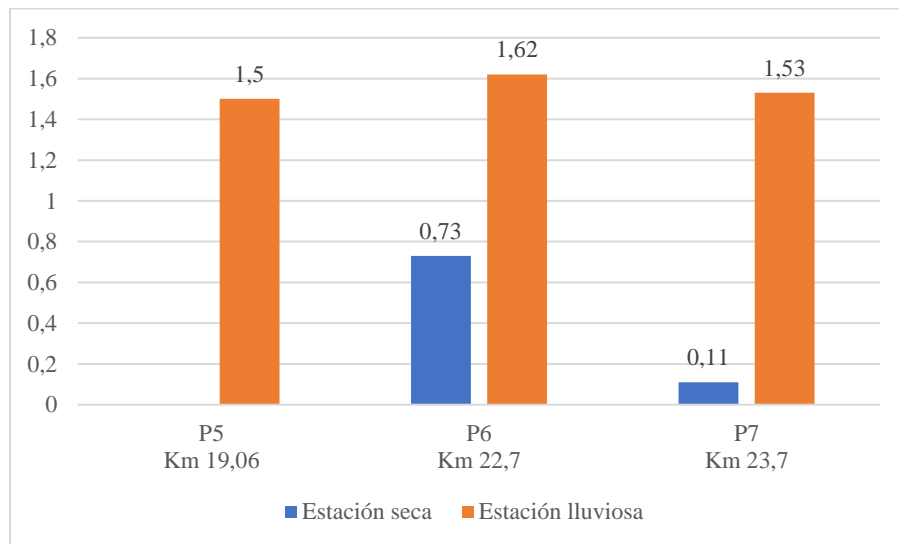
En estación lluviosa sucede lo contrario, en donde los 3 puntos tienen una salud de macroinvertebrados “Desequilibrada” y entran en una clasificación de “Alteración ligera”; esto se relaciona con la presencia de lluvias que ayudan a la autodepuración de las aguas del estuario pero que alteran la temperatura del agua, modificando las condiciones del hábitat de los macroinvertebrados y por ende el número de su población. Se encontró con gran abundancia individuos de género *Nephtys* y *Nereis* que corresponden con mayor representatividad a los Grupos ecológicos I, II y III.

Tabla 39: AMBI para estación seca y lluviosa

<b>ETAPAS DE MONITOREO</b>			
		<b>28/10/2019</b>	<b>09/03/2020</b>
<b>PUNTO</b>	<b>ABSCISA(km)</b>	<b>ESTACIÓN SECA</b>	<b>ESTACIÓN LLUVIOSA</b>
5	19,06	-	1,5
6	22,7	0,73	1,62
7	23,7	0,11	1,53

Fuente: Autores

Ilustración 38. AMBI para estación seca y lluviosa



Fuente: Autores

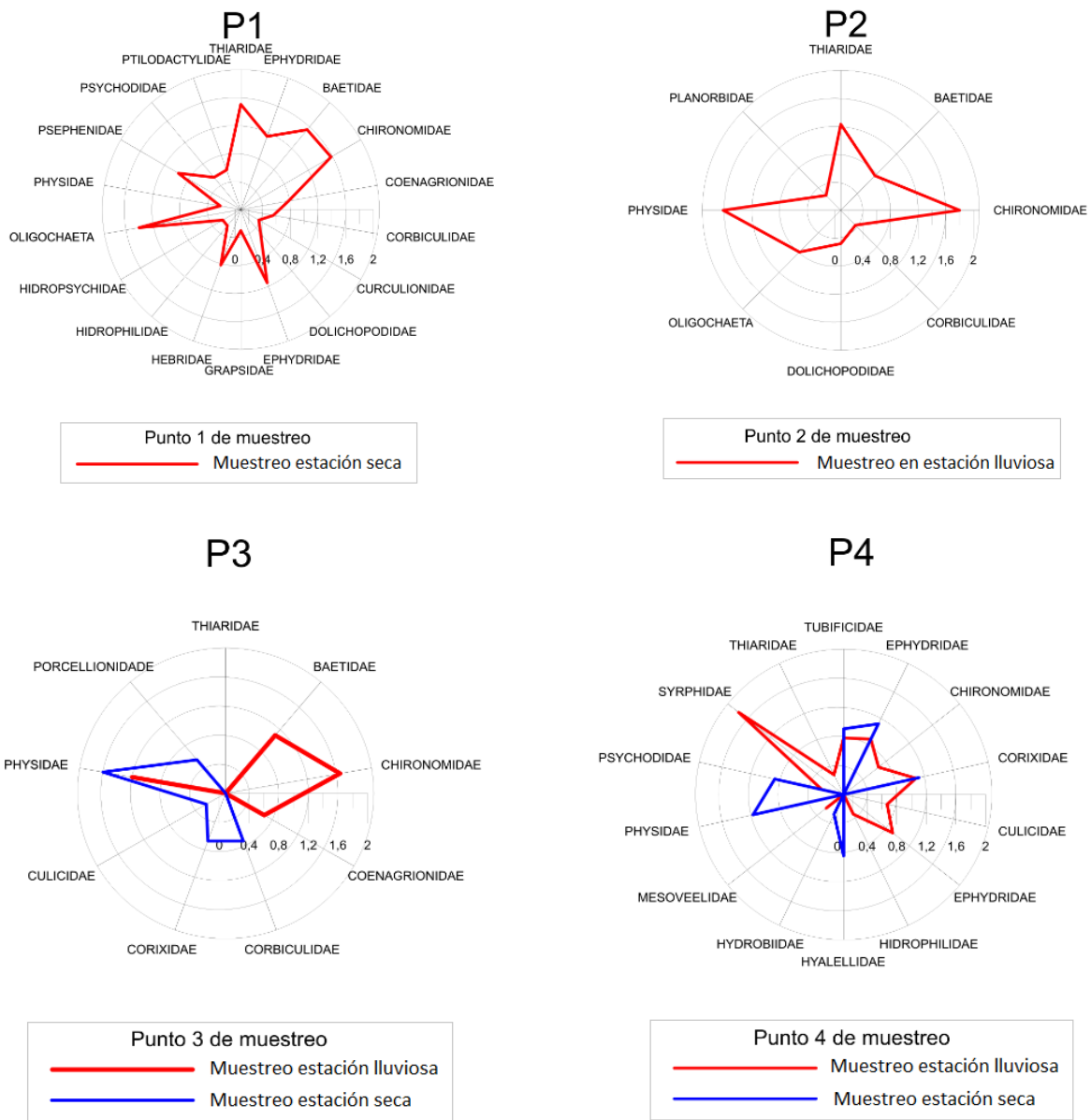
Tabla 40: Criterio general del AMBI para estación seca y lluviosa

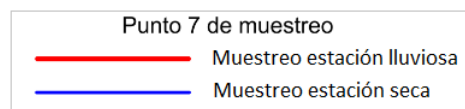
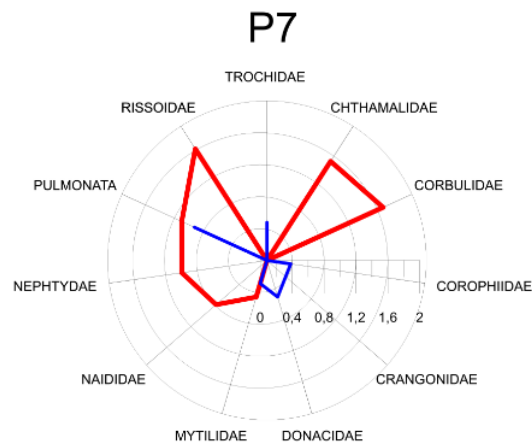
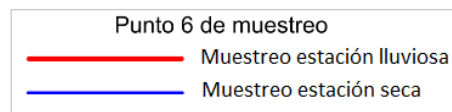
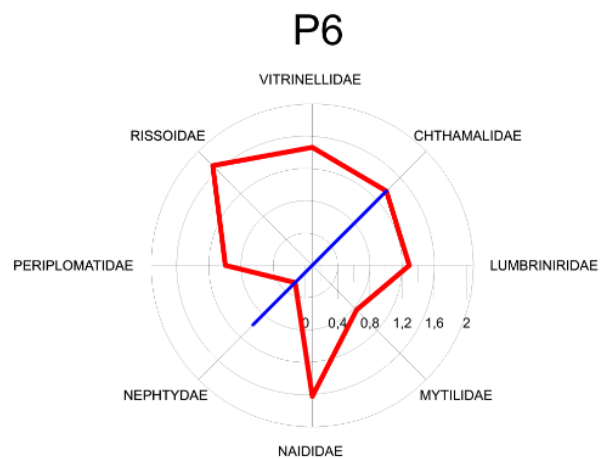
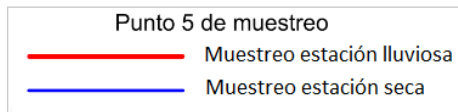
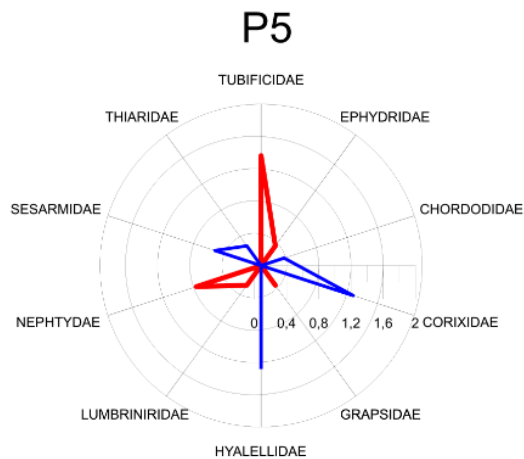
<b>ETAPAS DE MONITOREO</b>			
		<b>28/10/2019</b>	<b>09/03/2020</b>
<b>PUNTO</b>	<b>ABSCISA(km)</b>	<b>ESTACIÓN SECA</b>	<b>ESTACIÓN LLUVIOSA</b>
5	19,06	-	DESEQUILIBRADA
6	22,7	EMPOBRECIDA	DESEQUILIBRADA
7	23,7	NORMAL	DESEQUILIBRADA

Fuente: Autores

En la ilustración 53, se presenta un promedio de la abundancia de las especies de macroinvertebrados por puntos de muestreo que fueron identificados tanto en la estación seca como la estación lluviosa para obtener los índices biológicos. Se utilizó una escala logarítmica para la representación de estos datos debido a que en algunos casos el número de macroinvertebrados de una sola familia superaban las 200 especies

Ilustración 39. Abundancia de macroinvertebrados por sitios de muestreo





*Fuente: Autores*

#### 4.11 Análisis de Componentes Principales para los parámetros fisicoquímicos, índice BMWP-COL e índice AMBI en estación seca.

El ACP es una metodología confiable para el análisis entre parámetros fisicoquímicos, en el que predominan las interrelaciones entre las variables de la base de datos con la finalidad de obtener el grado de alteración del canal de agua de nuestra área de estudio, reduciendo el número de variables y hacer

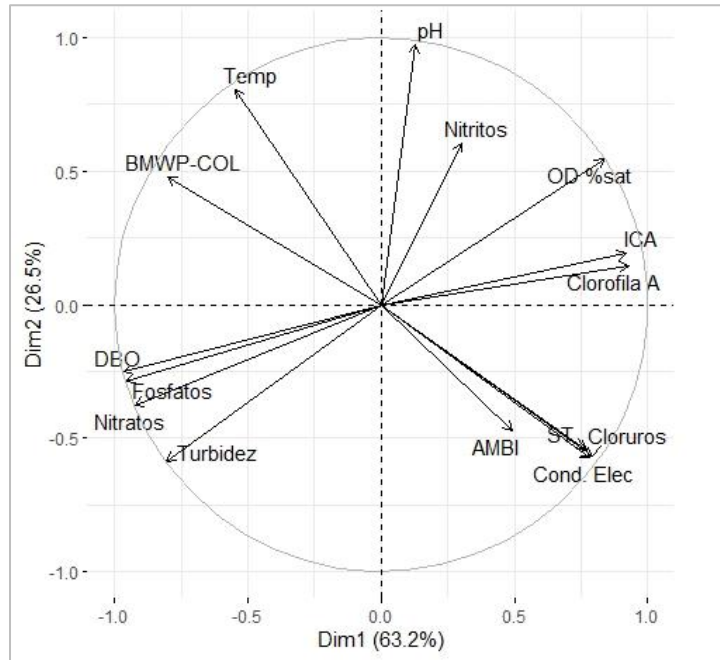
comprensible el análisis. Para el presente análisis de ACP se consideró 20 variables entre fisicoquímicos y biológicos, el conjunto de las 3 componentes representa entre el 90% y 100% de la varianza.

En la ilustración 54 se puede evidenciar que, para el ACP, el componente 1 indica el 63,2% de la varianza (Ilustración 55) y se puede observar que está representando fuertemente por la clorofila, DBO<sub>5</sub>, Amoníaco y fosfato. La clorofila está relacionada directamente con el OD, %SAT OD y el ICA. La correlación que tiene con el OD ( $r= 0,89$ ) y el ICA ( $r=0,79$ ) indican que la presencia de clorofila representa ampliamente la calidad del agua, por la influencia del oxígeno en el medio. Esto tiene relación con lo evidenciado en los puntos de monitoreo; ya que, en época de verano la ausencia de precipitaciones, la ausencia de caudal de agua, la acumulación de desechos orgánicos y las descargas de aguas residuales mostraban visualmente el deterioro de la calidad del agua. La variable DBO<sub>5</sub> está correlacionada fuertemente con los parámetros de turbidez ( $r= 0,93$ ), amoníaco ( $r= 0,99$ ) y nitratos ( $r= 0,99$ ), y esto es probablemente debido a la presencia de sólidos disueltos en el agua y a la ausencia de precipitaciones; en consecuencia, la capacidad de autodepuración es baja tendiendo a nula. El amoníaco y nitratos son indicadores de la descomposición de materia orgánica, principalmente de fitoplancton y bacterias, esto a causa de la presencia de residuos sólidos urbanos en el tramo del canal que colinda con las ciudades de Huaquillas y Aguas Verdes. La variable amoníaco se correlaciona directamente con la DBO<sub>5</sub> ( $r= 0,99$ ), los fosfatos ( $r= 0,99$ ) y el nitrato también se correlaciona con la DBO<sub>5</sub> ( $0,98$ ) y los fosfatos ( $r= 0,98$ ) e incluso este último parámetro se relaciona estrechamente con el amoníaco mismo; estos resultados muestran que la presencia de la actividad continua de bacterias estimula al aumento de las bacterias mismas y es debido a las descargas de aguas residuales que existen en los puntos más afectados.

El componente 2 indica el 26,5% de la varianza y está representada fuertemente por el pH; este parámetro tiene una correlación directa con la temperatura ( $r= 0,73$ ) y con las coliformes fecales ( $r= 0,66$ ), a esto se le puede atribuir que el pH influye en la actividad química del medio, liberando sustancias para que sean absorbidas por los organismos acuáticos, influye también en la actividad bacteriana y la temperatura, pues estas 2 últimas son directamente proporcionales.

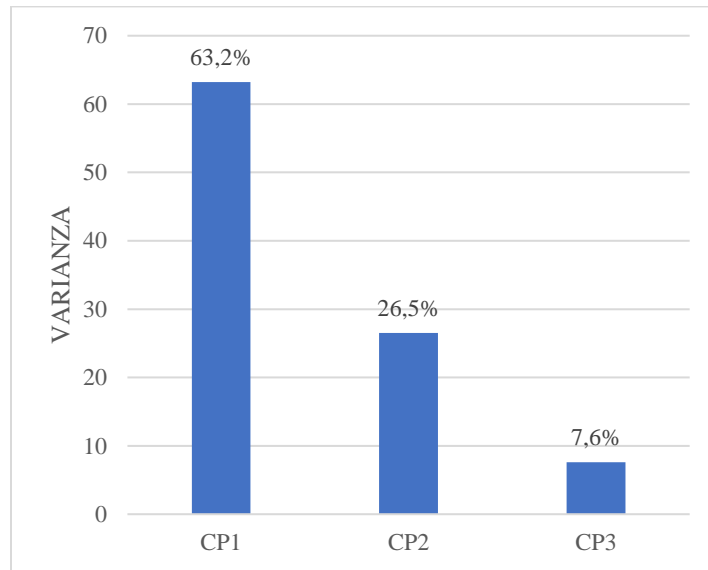
El componente 3 indica el 7,6% de la varianza y está representada por el nitrito y el AMBI, el Nitrito tiene una correlación fuerte con las coliformes fecales ( $r= 0,95$ ) debido que la presencia de nitritos es a causa de descargas de aguas residuales al canal y de igual manera los lixiviados que se generan a causa de la presencia de residuos sólidos orgánicos conllevan un alto nivel de coliformes fecales evidenciados en los análisis microbiológicos. El AMBI está correlacionado con la salinidad ( $r= 0,53$ ) y los cloruros ( $r= 0,53$ ), esto evidentemente es porque el AMBI es un indicador biológico marino, los macroinvertebrados usados para la obtención del AMBI fueron obtenidos en un canal de agua de estuario, donde la salinidad y los cloruros estaban elevados.

Ilustración 40. ACP para las variables fisicoquímicas y biológicas en estación seca



Fuente: Autores

Ilustración 41. Varianza de los componentes principales para estación seca



Fuente: Autores

#### 4.12 Análisis de Componentes Principales para los parámetros fisicoquímicos, indicador BMWP-Col e indicador AMBI en estación lluviosa.

En la ilustración 56 se puede evidenciar que, para el ACP, el componente 1 indica el 56,2% de la varianza (Ilustración 57) y se puede observar que está representando fuertemente con el OD y el OD %SAT;

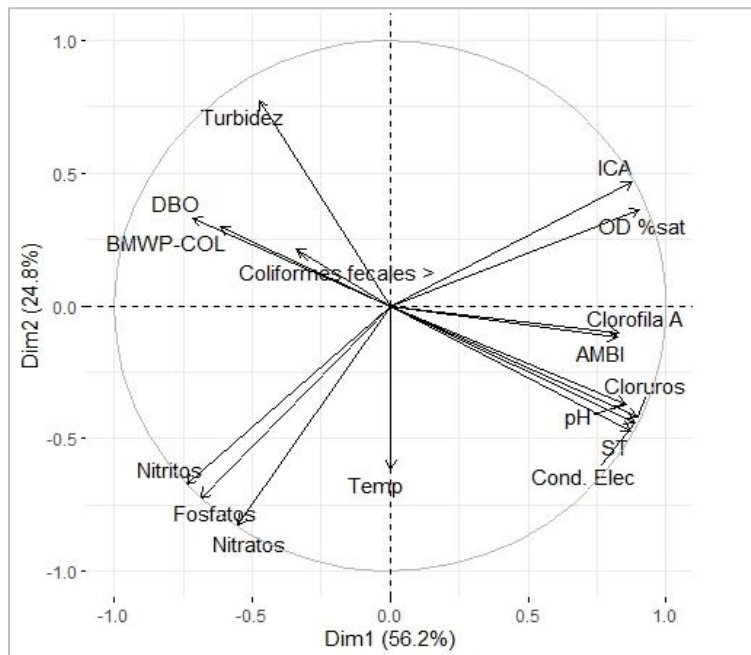


ambos parámetros están correlacionados fuertemente entre sí. Pero, el OD y el OD %SAT están correlacionados con el ICA ( $r= 0,98$ ) y ( $r= 0,97$ ) respectivamente, esto quiere decir que la calidad del agua depende mucho de concentración de oxígeno en el medio, los niveles de ICA eran medianamente bajos en la mayoría de los puntos con más notoriedad cerca de las áreas urbanas; la presencia de precipitaciones pudo haber influenciado en el poco mejoramiento del ICA en comparación con la estación lluviosa.

El componente 2 indica el 24,8% de la varianza y está representada fuertemente por el amoníaco y el nitrato. Ambos parámetros son indicadores de contaminación en el cuerpo hídrico; y están fuertemente relacionados entre sí; y están relacionados con el fosfato ( $r= 0,97$ ), esto puede deberse a que el amoníaco, nitrato y fosfato son parte de las descargas de aguas residuales.

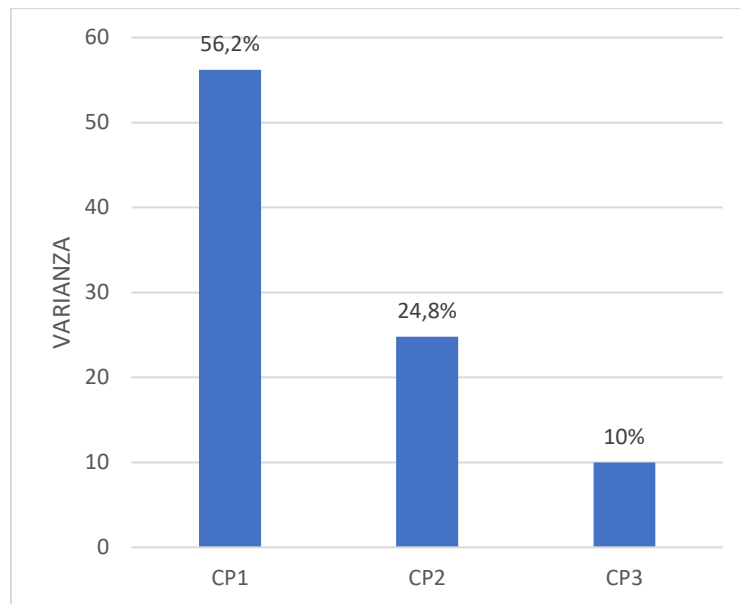
El componente 3 indica el 10% de la varianza y está representada por la Temperatura y el BMWP-Col, estos dos parámetros están fuertemente correlacionados en el ACP y se debe a que el BMWP-Col al ser un indicador biológico de la calidad del agua, los macroinvertebrados dependen mucho de la temperatura del medio donde habitan pues una alteración de 3 °C en el agua puede modificar el número de individuos que conforman estas comunidades de macroinvertebrados, aumentándolas o dejando a las comunidades más resilientes.

Ilustración 42. ACP para las variables fisicoquímicas y biológicas en estación lluviosa



Fuente: Autores

Ilustración 43. Varianza de los componentes principales para la estación lluviosa



Fuente: Autores

## Conclusiones

- El levantamiento de información realizada mediante las visitas de campo a la zona de estudio y la socialización con los moradores del sector indicó que las actividades antrópicas realizadas a lo largo del canal generan impactos críticos y severos que afectan considerablemente la calidad del agua del canal y del estero. Esto nos da una idea de cuál es el punto de generación del problema, en donde hay que enfocarse para empezar con medidas que prevengan y mitiguen dichos impactos ambientales. La gran cantidad de residuos sólidos tanto orgánicos e inorgánicos depositados dentro y fuera del canal, la descarga de aguas residuales domiciliarias y la presencia de sedimentos se presentan como los impactos ambientales más críticos según la matriz de importancia, perjudicando las comunidades de organismos acuáticos que habitan en el lugar y también a la salud de los moradores debido a la presencia de vectores que pueden transmitir enfermedades graves para la salud.
- El análisis de algunos parámetros físicos, químicos y microbiológicos con la normativa ambiental indican que ciertos puntos de muestreo (P2, P3, P4) en el tramo de agua dulce no son aptos para preservar la vida acuática. Los resultados muestran que la cantidad de oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales son los parámetros que no cumplen con los límites permisibles ya sea por su ausencia o por su cantidad excesiva en el cuerpo de agua tanto para estación seca como estación lluviosa. Si bien es cierto, los parámetros definidos para los puntos 5 (km 19,06), 6 (km 22,7) y 7

(km 23,7) que corresponden al estero, reflejan que estos se encuentran dentro de los límites permisibles; por otra parte, el análisis del ICA y de los índices biológicos demuestran que las condiciones del agua no son totalmente saludables.

- Las condiciones climáticas del área de muestreo influyeron en la elección del número de puntos de monitoreo; en estación seca los puntos de monitoreo van del 3 al 7, mientras que en la estación lluviosa los puntos de monitoreo son del 1 (km 0,8) al 7 (km 23,7). Este escenario fue debido a que en estación seca los puntos 1 (km 0,8) y 2 (km 12,2) no tuvieron presencia de agua, debido a la ausencia de precipitaciones en la cuenca del río Zarumilla.
- El análisis de la calidad hidromorfológica realizada a lo largo del canal de agua, demostró que del punto de monitoreo 1 (km 0,8) al 5 (km 19,06) la calidad va de MALA a PESIMA, mientras que en el punto 6 (km 22,7) y 7 (km 23,7) la calidad es BUENA. Esto se puede relacionar con el grado de conservación de los alrededores del canal de agua que se pudo evidenciar en campo. Los puntos de monitoreo 6 (km 22,7) y 7 (km 23,7) pertenecen a un estuario que mantienen aún sus características naturales (abundancia de manglares) casi intactas. Mientras que el resto de los puntos las actividades antrópicas (debido a las zonas urbanas presentes) si son muy notorias visualmente en los puntos monitoreados.
- Existen 5 descargas de aguas residuales directas al cuerpo de agua. Todas estas descargas se encuentran muy cerca al punto de monitoreo 4 (km 17,65); 1 descarga proviene del lado peruano y los 4 restantes provienen del lado ecuatoriano; 4 de las 5 descargas se concentran entre el km 15 y km 17, esta área se encuentra en el área urbana de las dos ciudades Huaquillas y Aguas Verdes.
- Las características físicas del canal de agua influyen fuertemente en la calidad del agua, su cercanía con el nivel de mar, no tener una pendiente prominente en casi toda la longitud del canal de agua y no tener rápidos, disminuyen la capacidad de autodepuración en el cuerpo de agua. Existe la presencia de sustratos en el agua, como raíces de plantas piedras, arbustos, que sirven de refugio para las comunidades de macroinvertebrados presentes.
- El área de estudio se ve influenciado fuertemente en estación seca; el ICA de manera general muestra valores bajos en el punto 4 (ICA= 32) y 5 (ICA= 49) que dan una calidad de agua MALA. Esto es debido a que por la ausencia de precipitaciones la capacidad de autodepuración es baja, sumado a la ausencia de caudal y a la constante actividad de generación y disposición de residuos orgánicos en el canal (basureros); causan este escenario deplorable.
- El análisis de Componentes Principales (ACP) de los 20 parámetros fisicoquímicos y biológicos, para la estación seca estuvo representado por 3 componentes, el componente 1 explica el 63,2% de la varianza y está conformado por los parámetros clorofila, DBO<sub>5</sub>, amoníaco y fosfatos. El componente 2 explica el 26,5% y está representado por el parámetro OD %SAT. El componente 3

esta explica el 7,6% de la varianza y está representado por los parámetros nitritos y AMBI. Todas estas variables tienen una relación directa con el vertido de aguas residuales y de residuos orgánicos. Cabe recalcar que existen puntos considerados como “botaderos” por los moradores y vertidos de aguas residuales en el tramo del punto 3 (km 14,05) al 5 (km 19,06).

- El análisis de Componentes Principales para la estación lluviosa se constituyó en 3 componentes, el componente 1 explica el 56,2% de la varianza y está conformado por los parámetros OD y OD %SAT. El componente 2 explica el 24,7% de la varianza y está conformado por los parámetros amoníaco y nitratos. El componente 3 explica el 10% de la varianza y está conformado por los parámetros temperatura y BMWP-Col. Estos parámetros igualmente están relacionados con las descargas de aguas residuales y la descomposición de materia orgánica con la única diferencia de que las precipitaciones que se dan en esta temporada lluviosa diluyen las concentraciones de sustancias, mejorando un poco la calidad del agua.
- Los puntos de monitoreo 3 (km 14,05), 4 (km 17,65) y 5 (km 19,06) están ubicados en un área muy afectada en relación al parámetro microbiológico, los valores de coliformes fecales van de 2000 a 5000 NMP/100ml en estación lluviosa mientras que, en estación seca, los valores van de 2000 a 3000 NMP/100ml. La situación es crítica debido a que el flujo de agua avanza muy lento y con el tiempo se va acumulando en la zona de estuario del Pto. Hualtaco; los valores en esta área son elevados en estación seca e inferiores a 600 NMP/100ml en estación lluviosa. Estas condiciones hacen que la zona de estuario no sea apta para actividades recreativas, pues en el puerto existen personas que nadan y juegan en el agua de estuario.
- El indicador biológico BMWP-Col demostró que desde el punto de monitoreo 1 (km 0,8) al 2 (km 12,2) tienen un criterio BUENO y DUDOSO respectivamente en estación lluviosa. El punto 1 tiene un ICA de 109 siendo el más representativo, el valor más bajo se dio en el punto 5 (km 19,96) en donde el ICA es de 5 con un criterio de MUY CRITICO. En estación lluviosa el medio de hábitat de los macroinvertebrados se pudo haber alterado debido a la variación de la temperatura causada por las precipitaciones.
- El indicador biológico IBF-PR se usó como complemento al indicador biológico BMWP-Col, los resultados del indicador IBF-PR estuvieron muy relacionados con los valores del BMWP-Col.
- En indicador biológico AMBI se usó para los puntos de monitoreo 5, 6 y 7, debido a que desde el punto 5 se da la transición de agua dulce a agua salada, dando paso a la zona de estuario (manglares). En estación seca el criterio va de EMPOBRECIDA a NORMAL. Mientras que en estación lluviosa el criterio es DESEQUILIBRADO. Estos resultados indican que la calidad respecto a la salud de las comunidades de macroinvertebrados mejora en estación lluviosa debido a la capacidad de autodepuración que las lluvias causan en el cuerpo de agua.

## 6. Recomendaciones

- Debido a que algunas actividades se llevan a cabo cerca del canal y algunas de ellas no cuentan con conexiones al sistema de alcantarillado la mayoría de las descargas de agua residuales se realiza directamente al canal aprovechando la pendiente que existe, por lo que se recomienda canalizar las aguas residuales a una estación de bombeo para que posteriormente sean transportadas a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad.
- Que el GAD Municipal de Huaquillas emita una ordenanza enfocada en la educación ambiental a la población en general (moradores, comerciantes, escuelas, colegios, empresas, etc.) cuyo énfasis sea en los “Residuos sólidos”, partiendo de su generación, clasificación y aprovechamiento, enarcándose dentro de los objetivos de desarrollo y economía Circular.
- Mejorar el sistema de recolección de residuos sólidos en la ciudad de Huaquillas; implementando medidas como: incrementar la frecuencia de recolecciones de residuos sólidos por las ciudadelas; implementar kits de reciclaje en lugares claves de la ciudad (espacios públicos, centros de comercio, pasos internacionales de tránsito peatonal).
- Se deben realizar monitoreos semestrales en la zona de estuarios, evaluados en base a la Tabla 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios; del Acuerdo Ministerial 097-A reforma el Texto Unificado de Legislación Secundaria, Registro oficial N° 387 edición especial, específicamente en la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.
- Gestionar convenios internacionales que involucren a las ciudades de Aguas Verdes (Perú) y Huaquillas (Ecuador) donde se trate de implementar actividades sinérgicas para evitar que los residuos sólidos urbanos y descargas de aguas residuales lleguen al canal de agua que pasa por estas ciudades y que finalmente termina en el estuario del Puerto Hualtaco y sus grandes áreas de manglares.

## 7. Referencias Bibliográficas

- Abbasi, T., & Abbasi, S. (2012). Why Water-Quality Indices. *Water Quality Indices*, 3–7. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-54304-2.00001-4>
- Abel, P. D. (1996). *Water pollution biology*. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books/about/Water\\_Pollution\\_Biology\\_Second\\_Edition.html?id=1qkFs3VflkYC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Water_Pollution_Biology_Second_Edition.html?id=1qkFs3VflkYC&redir_esc=y)
- Aguas., C. B. permanente para la administracion del canal de Z. y la utilizacion de sus. (2011). *Normativa Interna Binacional para los Usuarios de riego del canal Zarumilla*.
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. In *IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA)*.
- Álvarez, L. (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuático como indicadores de la calidad del agua. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, (05), 223.
- Álvarez, M. (2010). Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de la Directiva Marco del Agua. *Tesis Doctorales En Red (TDR)*.
- Arango, M., Alvarez, L., & Arango, G. (2008). *Calidad Del Agua De Las Quebradas La Cristalina Y La Risaralda*, . 121–141.
- Argandoña, L., & Macías, R. (2013). “*DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES, SUSPENDIDOS, SEDIMENTADOS Y VOLÁTILES, EN EL EFLUENTE DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN SITUADAS EN LA PARROQUIA COLÓN, CANTÓN PORTOVIEJO, PROVINCIA DE MANABÍ, DURANTE EL PERÍODO DE MARZO A SEPTIEMBRE 2013.*” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ, Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- Armijos, T., & Sánchez, K. (2019). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO RUMIYACU MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIOINDICADORES EN LA PARROQUIA DAYUMA, CANTÓN ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA*. UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA, Puyo, Ecuador.
- Ayora, M. (2010). *TEMA : Análisis De Aguas. Departamento de Química Física y Analítica Universidad de Jaén*. 1–47.
- Aznar Jimenez, A. (2000). *DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS*. *Antonio*. 2(23).
- Barros, M. U. G., Lopes, I. K. C., Carvalho, S. M. de C., & Capelo Neto, J. (2017). Impact of filamentous cyanobacteria on the water quality of two tropical reservoirs. *Rbrh*, 22(0), 25–33. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716072>
- Bartram, J., & Ballance, R. (1996). *Water Quality Monitoring-A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes Edited by Chapter 2-WATER QUALITY*.
- Bohn, C. C., & Buckhouse, J. C. (1985). Coliforms as an indicator of water quality in wildland streams. *Journal of Soil and Water Conservation*, 40(1).
- Bolaños, J., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determination of nitrites, nitrates, sulfates and phosphates

- in drinking water as indicators of contamination caused by human activities, in two cantons of Alajuela, province of Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 30, 15–27. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Borja, A., Franco, J., & Pérez, V. (2000). A marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40(12), 1100–1114. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00061-8)
- Borja, A., Muxika, I., & Franco, J. (2006). Long-term recovery of soft-bottom benthos following urban and industrial sewage treatment in the Nervión estuary (southern Bay of Biscay). *Marine Ecology Progress Series*, 313, 43–55. <https://doi.org/10.3354/meps313043>
- Borja, Á., Muxika, I., & Franco, J. (2006). Long-term recovery of soft-bottom benthos following urban and industrial sewage treatment in the Nervión estuary (southern Bay of Biscay). *Marine Ecology Progress Series*, 313, 43–55. <https://doi.org/10.3354/meps313043>
- Boyer, J. N., Kelble, C. R., Ortner, P. B., & Rudnick, D. T. (2009). Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. *Ecological Indicators*, 9(6), S56–S67. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2008.11.013>
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A-Water-Quality-Index-Do-we-dare-BROWN-R-M-1970.pdf. In *Data and Instrumentation for Water Quality Management*.
- Caho, C., & López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQII. *Producción + Limpia*, 12, 35–49. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Cárdenas-Calle, M., & Mair, J. (2014). Benthonic Macroinvertebrates Characterization on Two Estuarine Branches Affected By Industrial Pollution, Estero Salado-Ecuador. *Intropica*, 9(593), 118–128.
- Carpio, T. (2007). *Sólidos Totales secados*. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Sólidos+Totales+secados+a+103+-+105°C..pdf/d4faab4a-34e4-4159-bf4c-50353b101935>
- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. (Ecociencia). Retrieved from [https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio\\_view.php?bibid=144719&tab=opac](https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=144719&tab=opac)
- Chamorro de Rodriguez, G. I. (2011). Guía de Hidrometría: Estimación del caudal por el Método de Flotadores. *Ministerio Del Ambiente: Dirección Regional de Lima*, 1(Lima, Perú), 18.
- Chapman, D. (1992). *Water Quality Assessments-A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring-Second Edition*. Retrieved from <http://www.earthprint.com>
- Cocha, J. (2009). *Estado actual de la calidad físico-química, bacteriológica y biológica del agua de la subcuenca del río Yanuncay en dos estaciones climáticas (invierno y verano) del cantón Cuenca provincia del Azuay-Ecuador* (Universidad del Azuay). Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/137>
- Cocha Pallo, J. (2009). Estado Actual De La Calidad Físico-Química, Bacteriológica Y Biológica Del Agua De La Subcuenca Del Río Yanuncay En Dos Estaciones Climáticas (Invierno Y Verano) Del Cantón Cuenca Provincia Del Azuay-Ecuador. *Diplomado Superior En Educación Universitaria Por Competencias*, 104.
- Conesa F, V., Conesa R, V., Capella, V., & Conesa R, L. (1997). *Auditorías medioambientales : guía metodológica*. Madrid: Mundi-Prensa.

- Díaz, V., Leon, W., & Ramos, E. (2015). *MEDIDAS DE CAUDAL POR MEDIO DE FLOTADORES* (p. 16). p. 16. Retrieved from [https://www.academia.edu/15163378/MEDIDAS\\_DE\\_CAUDAL\\_POR\\_MEDIO\\_DE\\_FLOTADORES](https://www.academia.edu/15163378/MEDIDAS_DE_CAUDAL_POR_MEDIO_DE_FLOTADORES)
- Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N., & Prat, N. (2011). *PROTOCOLO SIMPLIFICADO Y GUÍA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DE RÍOS ANDINOS (CERA-S)*. Quito, Ecuador.
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Retrieved from <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6411>
- FAO. (1981). Manual of methods in aquatic environment research. Part 8. Ecological assessment of pollution effects. In *The British Journal of Psychiatry* (Vol. 112). <https://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>
- Fernandez, N., & Solano, F. (2005). *Indicadores de calidad y de contaminación del agua*. Retrieved from [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/05082010/libros.jsp](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/05082010/libros.jsp)
- Forsberg, B. (2013). *Limnología de la Cuenca del río Inambari*. (February), 2019.
- García, T. (2012). *Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile* (Repositorio Académico de la Universidad de Chile ). Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112367>
- González, H., Crespo, E., Acosta, R., & Hampel, H. (2019). *Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del Cantón Cuenca*. Retrieved from [https://geo.etapa.net.ec/monitoreoecohidrologico/files/docs/GUIA\\_MACROINVERTEBRADOS.pdf](https://geo.etapa.net.ec/monitoreoecohidrologico/files/docs/GUIA_MACROINVERTEBRADOS.pdf)
- Granda, D., & Echeverría, I. (2007). *Diagnóstico ambiental del agua y del canal internacional Huaquillas, en la zona que va desde la Plazoleta cívica hasta la calle Benalcázar* (Universidad Técnica de Machala). Retrieved from <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/971>
- Gutiérrez-Fonseca, P. E., Ramírez, A., Rico, P., & Juan, S. (2016). *Ecological evaluation of streams in Puerto Rico: major threats and evaluation tools* (Vol. 26). Puerto Rico.
- Gutiérrez, P. E., & Ramírez, A. (2016). Ecological evaluation of streams in Puerto Rico: Major threats and evaluation tools. *Hidrobiológica*, 26(3), 433–441. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n3/ramirez>
- Gutiérrez, J. V. R. (2011). Evaluación de la materia orgánica en el río frío soportada en el Qual2k versión 2.07. *DYNA (Colombia)*, 78(169), 131–139.
- Holguin-Gonzalez, J. E., Boets, P., Everaert, G., Pauwels, I. S., Lock, K., Gobeyn, S., ... Goethals, P. L. M. (2014). Development and assessment of an integrated ecological modelling framework to assess the effect of investments in wastewater treatment on water quality. *Water Science and Technology*, 70(11), 1798–1807. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.316>
- INEC. (2010). *CANTÓN HUAQUILLAS: POBLACIÓN DE 5 AÑOS Y MÁS, POR SEXO Y ÁREAS, SEGÚN NIVELES DE INSTRUCCIÓN. Censo 2001*. 5–8.
- Instituto de Toxicología de la Defensa. (2016). *Protocolo De Toma De Muestras De Agua Residual*. 10.
- Jerves-Cobo, R., Lock, K., Van Butsel, J., Pauta, G., Cisneros, F., Nopens, I., & Goethals, P. L. M. (2018). Biological impact assessment of sewage outfalls in the urbanized area of the Cuenca River



- basin (Ecuador) in two different seasons. *Limnologica*, 71, 8–28.  
<https://doi.org/10.1016/j.limno.2018.05.003>
- Jiménez, J., & Vélez, O. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances En Recursos Hidráulicos*, 14, 53–70.
- Lozares Carlos, & López, P. (1991). El análisis de componentes principales: aplicación al análisis de datos secundarios. *Papers. Revista de Sociología*, 37(0), 31.  
<https://doi.org/10.5565/rev/papers/v37n0.1595>
- Luna, R. (2016). *Alternativas para la minimización de los impactos generados por la comercialización de productos hidrobiológicos en el sector “La Playita” cantón Huaquillas*. Instituto Tecnológico Superior Sudamericano.
- Maisterrena, V. (1999). *Determinación de Ortofosfatos en el agua*. Retrieved from <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/anuavet/n1999a33maisterrena.pdf>
- Marchese, M., & Paggi, A. (2004). *Diversidad de Oligochaeta (Annelida) y Chironomidae (Diptera) del Litoral*. 5–12.
- Montalvo, J., Garcia, I., Loza, S., Esponda, S., Cesar, M., Gozalez de Zaya, R., & Hernandez, L. (2008). *Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba*. (4), 71–84.
- Moya, N., François-Marie, G., Oberdorff, T., Rosales, C., & Domínguez, E. (2009). Comparación De Las Comunidades De Macroinvertebrados Acuáticos En Ríos Intermitentes Y Permanentes Del Altiplano Boliviano: Implicaciones Para El Futuro Cambio Climático. *Ecología Aplicada*, 8(1–2), 105. <https://doi.org/10.21704/rea.v8i1-2.387>
- Muxica, I. (2007). *AMBI una herramienta para la evaluación del estado de las comunidades bentónicas: modo de uso y aplicación a la Directiva Marco del Agua*.
- Ocasio, F. (2008). *Evaluación de la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del Río Piedras* (Universidad Metropolitana Escuela Graduada de Asuntos Ambientales San Juan, Puerto Rico). Retrieved from [http://www.anagmendez.net/cupey/pdf/biblioteca\\_tesisamb\\_ocasiosantiagof2008.pdf](http://www.anagmendez.net/cupey/pdf/biblioteca_tesisamb_ocasiosantiagof2008.pdf)
- Plan Binacional Ecuador, & GAD Huaquillas. (n.d.). *Convenio de apoyo interinstitucional entre el plan binacional de desarrollo de la región fronteriza*. Huaquillas.
- Pontón, M. R. (2018). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PIÑAS MEDIANTE LOS ÍNDICES ICA Y BMWP*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- R Foundation for Statistical Computing. (2018). R: a Language and Environment for Statistical Computing. In <http://www.R-project.org/> (Vol. 2).
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial*, 17(1810–9993), 71–80. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Rivera, J. (2011). Relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque Bogotá-Colombia. *Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología*, 174.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia (2003 edition) | Open Library*. Retrieved from

[https://openlibrary.org/books/OL3466745M/Bioindicación\\_de\\_la\\_calidad\\_del\\_agua\\_en\\_Colombia](https://openlibrary.org/books/OL3466745M/Bioindicación_de_la_calidad_del_agua_en_Colombia)

- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Sanchez, D. (2014). Calidad de las aguas. In *Calidad del agua y su control*. Retrieved from [http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/11\\_Calidad-agua-y-control\\_v2015\\_resumen.pdf](http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/11_Calidad-agua-y-control_v2015_resumen.pdf)
- Sánchez, J. (n.d.). *El Fosforo, parámetro crítico de calidad de agua técnicas y de muestreo*. Retrieved from <http://www.ingenieroambiental.com/junio/fosforo.pdf>
- SENAGUA. (2013). *Canal Internacional Zarumilla*. Machala.
- Servicios Hidrológicos Ambientales. (n.d.). *Metodología para el cálculo de las matrices ambientales*. Retrieved from <http://www.chubut.gov.ar/portal/wp-organismos/ambiente/wp-content/uploads/sites/8/2015/01/Metodología-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>
- SNET. (n.d.). *ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL "ICA."*
- Soni, H. B., & Thomas, S. (2014). Assessment of surface water quality in relation to water quality index of tropical lentic environment, Central Gujarat, India. *International Journal of Environment*, 3(1), 168–176. <https://doi.org/10.3126/ije.v3i1.9952>
- Teixeira de Mello, F. (2007). *Efecto del uso del suelo sobre la calidad del agua y las comunidades de peces en sistemas lóticos de la cuenca baja del río Santa Lucía (Uruguay) (UR. FC)*. Retrieved from <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/4085>
- UNITED NATIONS. (2014). Aplicación de datos del mes: seguimiento de la calidad del agua | Portal de conocimientos de ONU-SPIDER. Retrieved November 6, 2020, from Knoledge Portal website: <https://un-spider.org/links-and-resources/data-sources/daotm-water-quality>
- Yogendra, K., & Puttaiah, E. . (2008). Determination of water quality index and sustainability of an urban waterbody in Shimoga Town, Karnataka. *Environmental Science*, 342–346. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/72c9/613005ebce18457c5e90d1e2d4cd41e392c5.pdf>
- Yungán, J. (2010). *Estudio de la calidad del agua en los afluentes de la microcuenca del Río Blanco para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo* (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Retrieved from <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/579/1/13T0660.pdf>

## 8. ANEXOS

### Anexo 1: Número de macroinvertebrados por puntos de muestreo

Tabla 41: Número de macroinvertebrados por familia en estación seca

<b>FAMILIA</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>TOTAL</b>
<i>Chthamalidae</i>				20	200	220
<i>Ephydriidae</i>		12				12
<i>Chordodidae</i>			2			2
<i>Corbiculidae</i>	5					5
<i>Corixidae</i>	5	11	16			32
<i>Corophiidae</i>					2	2
<i>Crangonidae</i>					200	200
<i>Culicidae</i>	2	200				202
<i>Donacidae</i>					3	3
<i>Gobiidae</i>					1	1
<i>Gyrinidae</i>		1				1
<i>Hyalellidae</i>		7	18			25
<i>Hydrobiidae</i>		2				2
<i>Mesovellidae</i>	1					1
<i>Mytilidae</i>					2	2
<i>Nephtyidae</i>				11	1	12
<i>Nereididae</i>				1		1
<i>Physidae</i>	48	18				66
<i>Planariidae</i>				1		1
<i>Planorbidae</i>	15					15
<i>Porcellionidae</i>	4					4
<i>Portunidae</i>					1	1
<i>Psychodidae</i>		9				9
<i>Pulmonata</i>					10	10
<i>Rissoidae</i>					1	1
<i>Scirtidae</i>			1			1
<i>Semelidae</i>				1		1
<i>Sesarmidae</i>			4			4
<i>Thiaridae</i>	300	1	2			303
<i>Trochidae</i>					3	3
<i>Tubificidae</i>		8				8
<b>TOTAL</b>	<b>380</b>	<b>269</b>	<b>43</b>	<b>34</b>	<b>424</b>	

Fuente: Autores

Tabla 42: Número de macroinvertebrados por familia en estación lluviosa

FAMILIA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	TOTAL
<i>Chthamalidae</i>						20	30	50
<i>Ephydriidae</i>	13			7	2			22
<i>Atyidae</i>			1					1
<i>Baetidae</i>	31	5	11					47
<i>Ceratopogonidae</i>			1					1
<i>Chironomidae</i>	32	52	37	4				125
<i>Coenagrionidae</i>	5		4					9
<i>Corbiculidae</i>	3	2						5
<i>Corbulidae</i>							40	40
<i>Corixidae</i>				10				10
<i>Culicidae</i>				4				4
<i>Curculionidae</i>	2							2
<i>Dolichopodidae</i>		3						3
<i>Grapsidae</i>					2			2
<i>Hebridae</i>	7			1				8
<i>Hidrophilidae</i>	2			2				4
<i>Hidropsychidae</i>	2							2
<i>Lumbriniridae</i>					2	16		18
<i>Mesoveelidae</i>				2				2
<i>Mytilidae</i>						6	3	9
<i>Naididae</i>						42	7	49
<i>Nephtyidae</i>					7	2	12	21
<i>Nepidae</i>				1				1
<i>Oligochaeta</i>	31	7						38
<i>Periplomatidae</i>						12		12
<i>Philopotamidae</i>	1							1
<i>Physidae</i>	2	50	19					71
<i>Planorbidae</i>	1	2	7					10
<i>Psephenidae</i>	11							11
<i>Psychodidae</i>	4			2				6
<i>Ptilodactylidae</i>	4							4
<i>Pulmonata</i>							15	15
<i>Rissoidae</i>						56	46	102
<i>Staphylinidae</i>	1	1						2
<i>Syrphidae</i>				65				65
<i>Thiaridae</i>	32	17		2				51
<i>Tubificidae</i>				6	23			29
<i>Vitrinellidae</i>						29		29
<b>TOTAL</b>	184	139	80	106	36	183	153	

Fuente: Autores

Anexo 2: Registro Fotográfico de macroinvertebrados en estación seca

Macroinvertebrados agua dulce

*Thriaridae*



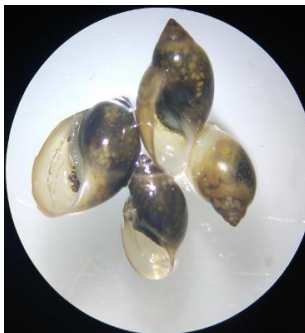
*Corixidae*



*Corbiculidae*



*Physidae*



*Planorbidae*



*Mesoveliidae*



*Culicidae*



*Hyaellidae*



*Ephydriidae*



*Tubificidae*



*Psychodidae*



*Hydrobiidae*



*Gyrinidae*



*Chordodidae*



*Scirtidae*



**Macroinvertebrados agua de estuario**  
*Planariidae*

*Nephtyidae*



*Nereididae*



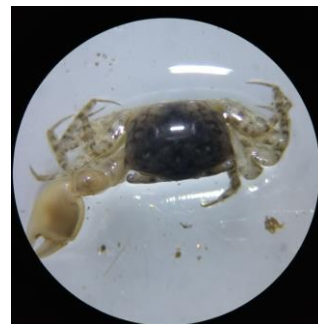
*Semelidae*



*Chthamalidae*



*Sesarmidae*



*Mytilidae*



*Donacidae*



*Trochidae*



*Rissoidae*



*Crangonidae*



*Corophiidae*



*Pulmonata*



*Portunidae*



*Gobiidae*



Anexo 3: Registro Fotográfico de macroinvertebrados en estación lluviosa

Macroinvertebrados agua dulce

*Chironominidae*



*Corbiculidae*



*Planorbidae*



*Oligochaeta*



*Hebridae*



*Staphylinidae*





*Coenagrionidae*



*Baetidae*



*Ephydriidae*



*Hidrophilidae*



*Philopotamidae*



*Curculionidae*



*Psychodidae*



*Hidropsychidae*



*Ptilodactylidae*



*Psephenidae*



*Physidae*



*Oligochaeta*





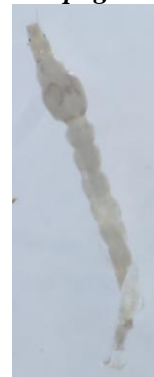
*Dolichopodidae*



*Atyidae*



*Ceratopogonidae*



*Syrphidae*



*Corixidae*



*Mesoveelidae*



*Culicidae*



*Nepidae*



*Hydrophilidae*



*Tubificidae*



*Thiaridae*



**Macroinvertebrados agua de estero**

*Nephtyidae*



*Lumbriniridae*



*Rissoidae*



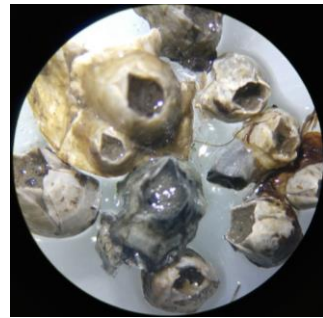
*Naididae*



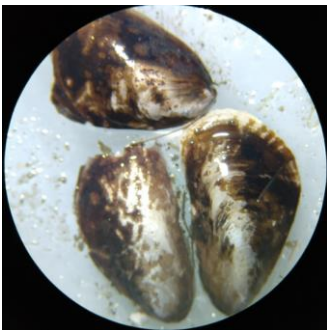
*Vitrinellidae*



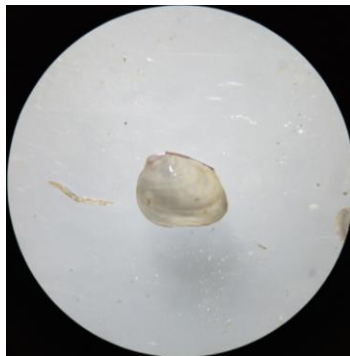
*Chthamalidae*



*Mytilidae*



*Periplomatidae*



*Corbulidae*



Anexo 4: Análisis de componentes principales y matriz de correlación

Tabla 43: Componentes principales en estación seca

	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
<b>Temp</b>	-0,1539	0,3505	0,1814
<b>OD</b>	0,2493	0,2009	0,0036
<b>pH</b>	0,0360	0,4229	0,0896
<b>OD %sat</b>	0,2359	0,2365	-0,0093
<b>Cond. Elec</b>	0,2200	-0,2494	-0,1971
<b>Turbidez</b>	-0,2261	-0,2558	-0,0002
<b>Salinidad</b>	0,2213	-0,2495	-0,1839
<b>ST</b>	0,2175	-0,2369	-0,2630
<b>Clorofila A</b>	0,2615	0,0638	-0,1772
<b>DBO</b>	-0,2712	-0,1097	0,0063
<b>Amoniaco</b>	-0,2681	-0,1260	0,0530
<b>Nitratos</b>	-0,2598	-0,1638	-0,0324
<b>Nitritos</b>	0,0847	0,2631	-0,5356
<b>Fosfatos</b>	-0,2692	-0,1238	0,0289
<b>Cloruros</b>	0,2224	-0,2474	-0,1819
<b>Coliformes fecales</b>	-0,2543	-0,0728	-0,3129
<b>ICA</b>	0,2587	0,0836	0,2714
<b>BMWP-COL</b>	-0,2253	0,2072	-0,2682
<b>IBF-PR</b>	-0,2227	0,2327	-0,2103
<b>AMBI</b>	0,1384	-0,2052	0,4163
<b>Desviación estandar</b>	3,55	2,3	1,23
<b>Porcentaje de varianza</b>	0,632	0,265	0,076

Fuente: Autores

Tabla 44: Matriz de correlación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, índice de calidad del agua e índices biológicos en estación seca

	Temp	OD	pH	OD %sat	Cond. Elec	Turbidez	Salinidad	ST	Clorofila	DBO	Amoniaco	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	Cloruros	Colif. fecales	ICA	BMWP-COL	IBF-PR	AMBI
Temp	1	-0,1114	<b>0,7385</b>	-0,0224	-0,9451	-0,0356	-0,9442	-0,9352	-0,4411	0,3251	0,3017	0,1929	0,1792	0,3018	-0,9421	0,4584	-0,2730	<b>0,7504</b>	<b>0,8087</b>	-0,5316
OD	-0,1114	1	0,5669	<b>0,9951</b>	0,4271	-0,9831	0,4314	0,4322	<b>0,8964</b>	-0,9700	-0,9776	-0,9944	0,5372	-0,9795	0,4373	0,4304	<b>0,9042</b>	-0,4942	-0,4585	0,2095
pH	<b>0,7385</b>	0,5669	1	0,6352	-0,4853	-0,6625	-0,4809	-0,4673	0,2779	-0,3561	-0,3883	-0,4981	0,5041	-0,3906	-0,4754	0,6695	0,3300	0,3020	0,3700	-0,4214
OD %sat	-0,0224	<b>0,9951</b>	<b>0,6352</b>	1	0,3465	-0,9951	0,3499	0,3556	<b>0,8612</b>	-0,9468	-0,9583	-0,9792	0,5910	-0,9586	0,3560	0,5055	<b>0,8726</b>	-0,4079	-0,3692	0,1520
Cond. Elec	-0,9451	0,4271	-0,4853	0,3465	1	-0,2910	<b>0,9998</b>	<b>0,9963</b>	0,6959	-0,6114	-0,5950	-0,4965	0,0479	-0,5940	<b>0,9997</b>	-0,2432	0,5281	-0,8201	-0,8640	0,5317
Turbidez	-0,0356	-0,9831	-0,6625	-0,9951	-0,2910	1	-0,2933	-0,3007	-0,8120	<b>0,9306</b>	<b>0,9417</b>	0,9597	-0,6262	0,9401	-0,2995	-0,5509	-0,8590	0,3507	0,3098	-0,1620
Salinidad	-0,9442	0,4314	-0,4809	0,3499	<b>0,9998</b>	-0,2933	1	<b>0,9947</b>	0,7002	-0,6144	-0,5974	-0,5020	0,0338	-0,5972	<b>1,0000</b>	-0,2557	0,5366	-0,8313	-0,8739	<b>0,5349</b>
ST	-0,9352	0,4322	-0,4673	0,3556	<b>0,9963</b>	-0,3007	<b>0,9947</b>	1	0,7096	-0,6106	-0,6001	-0,4959	0,1159	-0,5966	<b>0,9945</b>	-0,1759	0,4984	-0,7726	-0,8207	0,4720
Clorofila	-0,4411	0,8964	0,2779	<b>0,8612</b>	0,6959	-0,8120	0,7002	0,7096	1	-0,9152	-0,9287	-0,9199	0,4278	-0,9312	0,7043	0,2532	<b>0,7913</b>	-0,6411	-0,6368	0,1418
DBO	0,3251	-0,9700	-0,3561	-0,9468	-0,6114	<b>0,9306</b>	-0,6144	-0,6106	-0,9152	1	<b>0,9973</b>	<b>0,9812</b>	-0,4741	<b>0,9980</b>	-0,6196	-0,3053	-0,9388	0,6378	0,6157	-0,3922
Amoniaco	0,3017	-0,9776	-0,3883	-0,9583	-0,5950	<b>0,9417</b>	-0,5974	-0,6001	-0,9287	<b>0,9973</b>	1	<b>0,9840</b>	-0,5238	<b>0,9993</b>	-0,6026	-0,3602	-0,9148	0,5954	0,5750	-0,3277
Nitratos	0,1929	-0,9944	-0,4981	-0,9792	-0,4965	<b>0,9597</b>	-0,5020	-0,4959	-0,9199	0,9812	0,9840	1	-0,4615	<b>0,9884</b>	-0,5078	-0,3379	-0,9311	0,5816	0,5477	-0,2675
Nitritos	0,1792	0,5372	0,5041	0,5910	0,0479	-0,6262	0,0338	0,1159	0,4278	-0,4741	-0,5238	-0,4615	1	-0,4949	0,0363	<b>0,9544</b>	0,1976	0,3142	0,3019	-0,3039
Fosfatos	0,3018	-0,9795	-0,3906	-0,9586	-0,5940	<b>0,9401</b>	-0,5972	-0,5966	-0,9312	<b>0,9980</b>	<b>0,9993</b>	<b>0,9884</b>	-0,4949	1	-0,6025	-0,3340	-0,9259	0,6144	0,5919	-0,3355
Cloruros	-0,9421	0,4373	-0,4754	0,3560	<b>0,9997</b>	-0,2995	<b>1,0000</b>	<b>0,9945</b>	0,7043	-0,6196	-0,6026	-0,5078	0,0363	-0,6025	1	-0,2531	0,5421	-0,8331	-0,8753	<b>0,5358</b>
Coliformes fecales	0,4584	0,4304	<b>0,6695</b>	0,5055	-0,2432	-0,5509	-0,2557	-0,1759	0,2532	-0,3053	-0,3602	-0,3379	<b>0,9544</b>	-0,3340	-0,2531	1	0,0605	0,5267	0,5303	-0,4826
ICA	-0,2730	<b>0,9042</b>	0,3300	<b>0,8726</b>	0,5281	-0,8590	0,5366	0,4984	<b>0,7913</b>	-0,9388	-0,9148	-0,9311	0,1976	-0,9259	0,5421	0,0605	1	-0,7441	-0,7016	0,5718
BMWP-COL	<b>0,7504</b>	-0,4942	0,3020	-0,4079	-0,8201	0,3507	-0,8313	-0,7726	-0,6411	0,6378	0,5954	0,5816	0,3142	0,6144	-0,8331	0,5267	-0,7441	1	<b>0,9956</b>	-0,7105
IBF-PR	<b>0,8087</b>	-0,4585	0,3700	-0,3692	-0,8640	0,3098	-0,8739	-0,8207	-0,6368	0,6157	0,5750	0,5477	0,3019	0,5919	-0,8753	0,5303	-0,7016	<b>0,9956</b>	1	-0,7031
AMBI	-0,5316	0,2095	-0,4214	0,1520	0,5317	-0,1620	0,5349	0,4720	0,1418	-0,3922	-0,3277	-0,2675	-0,3039	-0,3355	0,5358	-0,4826	0,5718	-0,7105	-0,7031	1

Fuente: Autores

Tabla 45: Componentes principales en estación lluviosa

	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
<b>Temp</b>	0,0010	-0,2768	-0,5359
<b>OD</b>	0,2734	0,1665	-0,0015
<b>pH</b>	0,2546	-0,1675	0,0165
<b>OD %sat</b>	0,2693	0,1615	-0,0997
<b>Cond. Elec</b>	0,2643	-0,1985	0,0417
<b>Turbidez</b>	-0,1420	0,3468	-0,1219
<b>Salinidad</b>	0,2693	-0,1784	0,0521
<b>ST</b>	0,2603	-0,2112	0,0384
<b>Clorofila A</b>	0,2471	-0,0449	0,0313
<b>DBO</b>	-0,2131	0,1487	-0,2621
<b>Amoniac</b>	-0,1648	-0,3699	0,0493
<b>Nitratos</b>	-0,1643	-0,3703	0,0495
<b>Nitritos</b>	-0,2202	-0,3016	0,0409
<b>Fosfatos</b>	-0,2049	-0,3248	0,0131
<b>Cloruros</b>	0,2670	-0,1888	0,0440
<b>Coliformes fecales</b>	-0,1018	0,0963	-0,4673
<b>ICA</b>	0,2614	0,2091	0,0343
<b>BMWP-COL</b>	-0,1835	0,1331	0,5042
<b>IBF-PR</b>	-0,2503	0,0400	-0,1572
<b>AMBI</b>	0,2453	-0,0544	-0,3240
<b>Desviación estandar</b>	3,35	2,22	1,41
<b>Porcentaje de varianza</b>	0,562	0,247	0,1

Fuente: Autores

Tabla 46: Matriz de correlación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, índice de calidad del agua e índices biológicos en estación lluviosa

	Temp	OD	pH	OD %sat	Cond. Elec	Turbidez	Salinidad	ST	Clorofila A	DBO5	Amoniac	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	Cloruros	Colif. fecales	ICA	BMWP-COL	IBF-PR	AMBI
Temp	1	-0,2188	<b>0,2588</b>	-0,1210	0,2567	-0,2670	0,2211	0,2757	-0,0849	0,1743	0,4399	0,4401	0,3678	0,4361	0,2419	0,2641	-0,3212	<b>-0,7543</b>	<b>0,0497</b>	0,3823
OD	-0,2188	1	0,6071	<b>0,9865</b>	0,6498	-0,1495	0,6830	0,6240	<b>0,7124</b>	-0,5214	-0,8018	-0,8006	-0,9270	-0,8910	0,6675	-0,2904	<b>0,9882</b>	-0,4700	-0,6896	0,7280
pH	<b>0,2588</b>	0,6071	1	0,5770	0,9480	-0,6082	0,9458	0,9523	0,6255	-0,6320	-0,1944	-0,1929	-0,3758	-0,3253	0,9457	-0,4161	0,5576	-0,6219	-0,9041	0,6664
OD %sat	-0,1210	<b>0,9865</b>	<b>0,5770</b>	1	0,6244	-0,1567	0,6531	0,6004	<b>0,7324</b>	-0,4894	-0,7864	-0,7852	-0,9172	-0,8786	0,6408	-0,1825	<b>0,9702</b>	-0,5563	-0,6105	0,8082
Cond. Elec	0,2567	0,6498	0,9480	0,6244	1	-0,7256	<b>0,9984</b>	<b>0,9991</b>	0,7145	-0,7481	-0,1307	-0,1289	-0,3541	-0,2833	<b>0,9996</b>	-0,4871	0,5703	-0,6502	-0,8394	0,7236
Turbidez	-0,2670	-0,1495	-0,6082	-0,1567	-0,7256	1	-0,6958	-0,7434	<b>0,8315</b>	<b>-0,4139</b>	-0,4158	-0,1765	-0,2232	-0,7122	0,2838	-0,0746	0,3521	0,3710	-0,4990	-0,4990
Salinidad	0,2211	0,6830	0,9458	0,6531	<b>0,9984</b>	-0,6958	1	<b>0,9954</b>	0,7177	-0,7472	-0,1771	-0,1754	-0,3960	-0,3255	<b>0,9995</b>	-0,4968	0,6055	-0,6398	-0,8584	<b>0,7195</b>
ST	0,2757	0,6240	0,9523	0,6004	<b>0,9991</b>	-0,7434	<b>0,9954</b>	1	0,7106	-0,7485	-0,1007	-0,0990	-0,3253	-0,2555	<b>0,9976</b>	-0,4779	0,5447	-0,6506	-0,8320	0,7198
Clorofila A	-0,0849	0,7124	0,6255	0,7324	0,7145	-0,6860	0,7177	0,7106	1	-0,9035	-0,3390	-0,3370	-0,5433	-0,5120	0,7182	-0,0621	<b>0,6820</b>	-0,4372	-0,5540	0,7824
DBO5	0,1743	-0,5214	-0,6320	-0,4894	-0,7481	<b>0,8315</b>	-0,7472	-0,7485	-0,9035	1	0,0736	0,0716	0,2861	<b>0,2542</b>	-0,7483	0,2961	-0,4803	0,2147	0,5975	-0,5275
Amoniac	0,4399	-0,8018	-0,1944	-0,7864	-0,1307	<b>-0,4139</b>	-0,1771	-0,1007	-0,3390	<b>0,0736</b>	1	<b>1,0000</b>	0,9651	<b>0,9765</b>	-0,1534	-0,0394	-0,8544	0,1485	0,4271	-0,3549
Nitratos	0,4401	-0,8006	-0,1929	-0,7852	-0,1289	<b>-0,4158</b>	-0,1754	-0,0990	-0,3370	0,0716	<b>1,0000</b>	1	0,9645	<b>0,9760</b>	-0,1517	-0,0401	-0,8534	0,1475	0,4261	-0,3532
Nitritos	0,3678	-0,9270	-0,3758	-0,9172	-0,3541	-0,1765	-0,3960	-0,3253	-0,5433	0,2861	0,9651	0,9645	1	0,9937	-0,3754	<b>0,0686</b>	-0,9569	0,2970	0,5460	-0,5521
Fosfatos	0,4361	-0,8910	-0,3253	-0,8786	-0,2833	<b>-0,2232</b>	-0,3255	-0,2555	-0,5120	<b>0,2542</b>	<b>0,9765</b>	<b>0,9760</b>	0,9937	1	-0,3043	0,0460	-0,9374	0,2129	0,5082	-0,4932
Cloruros	0,2419	0,6675	0,9457	0,6408	<b>0,9996</b>	-0,7122	<b>0,9995</b>	<b>0,9976</b>	0,7182	-0,7483	-0,1534	-0,1517	-0,3754	-0,3043	1	-0,4899	0,5884	-0,6487	-0,8462	<b>0,7253</b>
Coliformes f	0,2641	-0,2904	<b>-0,4161</b>	-0,1825	-0,4871	0,2838	-0,4968	-0,4779	-0,0621	0,2961	-0,0394	-0,0401	<b>0,0686</b>	0,0460	-0,4899	1	-0,2749	-0,1143	0,4431	0,0059
ICA	-0,3212	<b>0,9882</b>	0,5576	<b>0,9702</b>	0,5703	-0,0746	0,6055	0,5447	<b>0,6820</b>	-0,4803	-0,8544	-0,8534	-0,9569	-0,9374	0,5884	-0,2749	1	-0,3707	-0,6619	0,6693
BMWP-COL	<b>-0,7543</b>	-0,4700	-0,6219	-0,5563	-0,6502	0,3521	-0,6398	-0,6506	-0,4372	0,2147	0,1485	0,1475	0,2970	0,2129	-0,6487	-0,1143	-0,3707	1	<b>0,3982</b>	-0,8495
IBF-PR	<b>0,0497</b>	-0,6896	-0,9041	-0,6105	-0,8394	0,3710	-0,8584	-0,8320	-0,5540	0,5975	0,4271	0,4261	0,5460	0,5082	-0,8462	0,4431	-0,6619	<b>0,3982</b>	1	-0,4561
AMBI	0,3823	0,7280	0,6664	0,8082	0,7236	-0,4990	0,7195	0,7198	0,7824	-0,5275	-0,3549	-0,3532	-0,5521	-0,4932	0,7253	0,0059	0,6693	-0,8495	-0,4561	1

Fuente: Autores