

**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL  
RÍO GUINEO CORREGIMIENTO PUERTO UMBRÍA MUNICIPIO VILLAGARZÓN  
DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO**



**MAYCOL ANDRES ARAUJO GUERRERO  
BRAYAN DUVAN CAJIAO HURTADO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA POPAYÁN  
POPAYÁN CAUCA  
2020**

**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL  
RÍO GUINEO CORREGIMIENTO PUERTO UMBRÍA MUNICIPIO VILLAGARZÓN  
DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO**



**MAYCOL ANDRES ARAUJO GUERRERO  
BRAYAN DUVAN CAJIAO HURTADO**

Trabajo de grado para optar el título profesional de Ingeniería Ambiental y  
Sanitaria

**DIRECTOR  
Biólogo: ARNOL ARIAS HOYOS**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA POPAYÁN  
POPAYÁN CAUCA**

**2020**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores de este trabajo expresan sus agradecimientos a la Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible por brindarnos la oportunidad del ejercicio profesional en el área organizacional.

Al comité curricular de nuestra universidad por orientar y contribuir en el proceso de la construcción y culminación de nuestro proyecto de grado. A nuestro asesor: ARNOL ARIAS HOYOS, por orientarnos y guiarnos en el desarrollo de este trabajo, por compartir sus conocimientos, por la confianza depositada para llevar a cabo esta práctica.

A cada una de nuestras Familias por brindarnos el apoyo incondicional y la oportunidad de realizarnos como personas y profesionales siempre depositando su confianza en nosotros y esperando sin duda algunos buenos resultados.

**MAYCOL ANDRES ARAUJO GUERRERO**  
**BRAYAN DUVAN CAJIAO HURTADO**

## **DEDICATORIA**

Al CREADOR por darnos las capacidades necesarias y la sabiduría para emprender esta meta y culminarla satisfactoriamente.

A NUESTRAS MADRES por brindarnos su apoyo incondicional, darnos fuerzas en los momentos en que sentimos desistir por situaciones adversas, por confiar y esperar siempre lo mejor.

A NUESTROS PADRES, porque sus logros merecen nuestra admiración y son motivo de reflexión.

A NUESTROS DOCENTES por enseñarnos la paciencia y retornos a formarnos en calidad no en cantidad., porque compartieron sus conocimientos y dejaron bases fundamentales para nuestra vida y nuestra profesión.

A ustedes este triunfo,

Dios les bendiga.

**MAYCOL ANDRES ARAUJO GUERRERO**  
**BRAYAN DUVAN CAJIAO HURTADO**

## **NOTA DE ACEPTACIÓN**

El director y jurado del trabajo de grado: “CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RIO GUINEO CORREGIMIENTO PUERTO UMBRÍA MUNICIPIO VILLAGARZÓN DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO” realizado por los estudiantes MAYCOL ANDRES ARAUJO GUERRERO Y BRAYAN DUVAN CAJIAO HURTADO una vez avalado el informe final y la sustentación del mismo, autorizan a los egresados a que desarrollen las gestiones administrativas para optar al título de Ingenieros Ambientales y sanitarios.

---

Firma presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

## CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE IMÁGENES.....	9
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	10
LISTA DE GRÁFICOS.....	11
LISTA DE ANEXOS .....	12
RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
INTRODUCCIÓN .....	16
1 CAPITULO I: PROBLEMA .....	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	19
1.3 OBJETIVOS .....	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
2 CAPITULO II: REFERENCIAS CONCEPTUALES.....	21
2.1 ANTECEDENTES .....	21
2.2 BASE TEÓRICAS .....	23
2.3 MARCO LEGAL .....	28
3 CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	29
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	29
3.2 Fase 1: Realización del diagnóstico del estado actual de la microcuenca del Río Guineo mediante el uso de parámetros fisicoquímicos y biológicos utilizando los ICA y el índice BMWP/COL.....	30
3.3 Fase 2: Identificación de los tensores antrópicos generados en la microcuenca del Río Guineo.....	35
3.4 Fase 3: Formulación de alternativas de solución para mejorar las condiciones de la microcuenca del Río Guineo .....	36
4 CAPITULO IV: RESULTADOS.....	37
4.1 Comparación estudio fisicoquímico mediante LOS ICA .....	42

4.2	Determinación Biológica.....	43
4.2.1	Descripción general de macroinvertebrados.....	43
4.3	Primer periodo de toma de muestraS DE MACROINVERTEBRADOS – BAJA PLUVIOSIDAD.....	45
4.4	SEGUNDO PERIODO DE Toma de muestras de macroinvertebrados – ALTA PLUVIOSIDAD.....	48
4.5	Aplicación del método BMWP/COL - Indicador Biológico .....	49
4.6	Análisis mapa cartográfico .....	50
4.7	Análisis Matriz de Vester.....	54
4.8	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL CONTROL DE LOS IMPACTOS GENERADOS EN LA MICROCUENCA.....	56
5	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	63
5.1	CONCLUSIONES.....	63
5.2	RECOMENDACIONES .....	64
	BIBLIOGRAFÍA .....	65
	ANEXOS .....	67
	REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	78

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de evaluación Vester .....	27
Tabla 2: Calificación según la matriz de Vester.....	27
Tabla 3: Material e insumos para la determinación de los parámetros físicoquímicos y biológicos de la microcuenca del Rio Guineo.....	31
Tabla 4: Variables o parámetros físicoquímicos a evaluar .....	32
Tabla 5: Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA ...	32
Tabla 6 Interpretación de cada cuadrante .....	35
Tabla 7: resultados promediados de parámetros físicoquímicos en los dos periodos de muestra .....	37
Tabla 8: Resultados ICA.....	42
Tabla 9: Descripción general de macroinvertebrados .....	44
Tabla 10: Aplicación y puntaje del BMWP/COL .....	49
Tabla 11 Evaluación Matriz de Vester.....	55
Tabla 12: Programa 1 .....	57
Tabla 13: Programa 2.....	59
Tabla 14: Programa 3.....	60
Tabla 15: Programa 4.....	61



## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1: Rio Guineo Puerto Umbría .....	78
Imagen 2: Grupo investigador en trabajo de campo .....	78
Imagen 3: Materiales utilizados para el estudio de Macroinvertebrados .....	79
Imagen 4: Materiales utilizados para el estudio fisicoquímico .....	79
Imagen 5: Toma de muestras macroinvertebrados .....	80
Imagen 6: Toma de muestras macroinvertebrados .....	80
Imagen 7: Toma de muestras para estudio fisicoquímico .....	81
Imagen 8: Toma de muestras.....	81
Imagen 9: Materiales para el análisis taxonómico de macroinvertebrados .....	82
Imagen 10: caracterización de macroinvertebrados .....	82
Imagen 11: Trabajo en laboratorio .....	83
Imagen 12: Trabajo en laboratorio .....	83
Imagen 13: Reactivos para el estudio fisicoquímico.....	84

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Municipio de Villagarzón .....	29
Ilustración 2: Puntajes asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/COL.....	34
Ilustración 3: Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/COL .....	34
Ilustración 4: Calificación ICA – BP .....	51
Ilustración 5: Calificación ICA – AP .....	52
Ilustración 6: Calificación índice BMWP/COL – BP .....	53
Ilustración 7: Calificación del índice BMWP/COL – AP .....	54
Ilustración 8 Análisis por cuadrante Matriz de Vester.....	56

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 relación DQO Y oxígeno disuelto.....	38
Gráfico 2 resultados pH.....	39
Gráfico 3 conductividad eléctrica.....	40
Gráfico 4 resultados nitratos y fosfatos .....	41
Gráfico 5 resultados índices de calidad de agua.....	43
Gráfico 6 Macroinvertebrados estación número uno BP .....	45
Gráfico 7 Macroinvertebrados estación número dos BP .....	46
Gráfico 8 Macroinvertebrados estación número tres BP .....	46
Gráfico 9 Macroinvertebrados estación número cuatro BP .....	47
Gráfico 10 Macroinvertebrados estación número dos AP .....	48

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Punto de muestreo número 1, parámetros fisicoquímicos de la caracterización del agua.....	67
Anexo B. Punto de muestreo número 2 Parámetros fisicoquímicos de la Caracterización del agua.....	67
Anexo C. Punto de muestreo número 3 Parámetros fisicoquímicos de la caracterización del agua.....	67
Anexo D. Puntos de muestreo número 4 Parámetros fisicoquímicos de la Caracterización del agua.....	68
Anexo E. Punto de muestreo número 1 datos para el cálculo de caudal. ....	68
Anexo F. Punto de muestreo número 2 para el cálculo del caudal .....	69
Anexo G. Punto de muestreo número 3 para el cálculo del caudal.....	70
Anexo H. Punto de muestreo número 4 para el cálculo de caudal.....	71
Anexo I. Cálculo del valor de cada variable según el ICA. ....	71
Anexo J. Valores I_OD según la DQO mes 1 BP .....	74
Anexo K. Valores I_OD según la DQO mes 2 AP .....	74
Anexo L. Resultados pH mes 1 .....	74
Anexo M. Resultados pH mes 2 .....	74
Anexo N. Resultados conductividad eléctrica mes 1 .....	75
Anexo O. Resultados conductividad eléctrica mes 2.....	75
Anexo P. Resultados generales Baja Pluviosidad mes 1 estación 1.....	75
Anexo Q. Resultados generales Baja Pluviosidad mes 2.....	75
Anexo R. Resultados generales Baja Pluviosidad mes 1 estación 3.....	76
Anexo S. Resultados generales Baja Pluviosidad mes 1 estación 4.....	76
Anexo T. Resultados generales AP mes 2 estación 1.....	76
Anexo U. Resultados generales AP mes 2 estación 2 .....	77
Anexo V. Resultados generales Alta Pluviosidad mes 2 estación 3.....	77
Anexo W. Resultados generales Alta Pluviosidad mes 2 estación 4.....	77

## RESUMEN

Mediante la realización de este proyecto se buscó caracterizar la calidad de agua de la microcuenca del Río Guineo ubicado en el corregimiento de puerto Umbría, Municipio de Villagarzón, Departamento del Putumayo, con el propósito de evaluar el estado actual de esta.

La metodología utilizada se basó en el enfoque empírico analítico (cuantitativo) usando un estudio descriptivo, un muestreo no aleatorio por etapas. La primera etapa se realizó en el mes de enero de 2019, la segunda en junio del mismo año. Para la recolección de la información, inicialmente se realizó una observación directa usando para ello un instrumento conocido como matriz de Vester, logrando así priorizar el nivel de incidencia de los distintos factores contaminantes en la zona objeto de estudio.

Posteriormente se establecieron los puntos de muestreo usando para ello el Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés), específicamente se utilizó el dispositivo Garmin etrex-20 y el Sistema Geodésico de Coordenadas Geográficas 1984 (WGS84 por sus siglas en inglés). Una vez definidos los puntos se procedió a la toma de muestras de agua para el análisis fisicoquímico que se llevó a cabo con base en los parámetros propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y según los Índices de Calidad del Agua (ICA); seguidamente se tomó otra muestra para el análisis biológico (macroinvertebrados) con base en el Índice del Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico, Puntaje Colombia (Biological Monitoring Working Party Score Colombia –BMWP por sus siglas en inglés). Todas las muestras se analizaron en el laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

De acuerdo a los resultados obtenidos y haciendo un comparativo con los ICA del IDEAM se halló que: la microcuenca del Río Guineo en los meses de Baja Pluviosidad (BP) presenta un 0,55%, indicativo de aguas regulares; en el mes de Alta Pluviosidad (AP) obtuvo un 0,48%, es decir, aguas muy malas. Ahora bien, en el análisis biológico se encontró que en los meses de BP la corriente hídrica cuenta con mayor cantidad de especies de macroinvertebrados y en el mes AP el análisis arrojó pocas especies de macroinvertebrados, con lo cual se presume que en épocas de altas crecientes, cuando estas arrastran el material pétreo extraído por los habitantes de esta zona, las especies se ven obligadas a emigrar y son expulsadas por la actividad de extracción. Los resultados fueron plasmados en un mapa cartográfico mediante el programa ArcGis 10.3, con el fin de evidenciar el estado actual de la microcuenca.

PALABRAS CLAVES: Macroinvertebrados, cartografía, parámetros fisicoquímicos, índice BMWP/COL

### **ABSTRACT**

Through the realization of this project was sought to characterize the water quality of the microbasin of the Guineo River located in the township of Puerto Umbria, Municipality of Villagarzón, Department of Putumayo, with the purpose of evaluating the current state of this.

The methodology used was based on the analytical (quantitative) empirical approach using a descriptive study, a non-random phased sampling. The first stage took place in January 2019, the second in June of the same year. For the collection of information, a direct observation was initially made using an instrument known as the Vester matrix, thus managing to prioritize the level of incidence of the various pollutant factors in the area under study.

Sampling points were subsequently established using the Global Positioning System (GPS), specifically the Garmin etrex-20 device and the Geodesic Geographic Coordinate System 1984 (WGS84) was used for its acronym). Once the points were defined, water samples were taken for the physicochemical analysis that was carried out based on the parameters proposed by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM) and according to the Water Quality Indexes (ICA); another sample was then taken for biological analysis (macroinvertebrates) based on the Biological Monitoring Working Party Score Colombia (BMWP) Index. All samples were analyzed in the laboratory of the Autonomous University Corporation of Cauca.

According to the results obtained and making a comparison with the ICA of ideaM it was found that: the micro-school of the Rio Guineo in the months of Baja Pluviosidad (BP) presents 0.55%, indicative of regular waters; in the month of High Rainfall (AP) obtained 0.48%, that is, very bad waters. However, the biological analysis found that in the months of BP the water current has more species of macroinvertebrates and in ap month the analysis yielded few species of macroinvertebrates, thus presuming that in times of high increasing, when they carry the stone material extracted by the inhabitants of this area, the species are forced to emigrate and are expelled by extraction activity. The results were captured on a cartographic map using the ArcGis 10.3 program, in order to demonstrate the current state of the microseque.

KEY WORDS: Macroinvertebrates, cartography, physicochemical parameters, BMWP/COL index

## INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas se han propuesto y empleado los índices de Calidad de las Aguas (ICA), en función del bienestar humano, los cuales tienen como propósito simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua. Los ICA tienen la finalidad de estimar un número generalmente entre 0 y 1 (en tanto por uno), o 0 y 100 (en tanto por cien), que define el grado de calidad de un determinado cuerpo de agua; con ello se pretende reconocer, de una forma ágil y fácil, problemas de contaminación, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas[1].

El uso del agua para suplir las necesidades humanas ha descuidado la disposición de agua sana para diferentes especies y ecosistemas, un claro ejemplo es el vertimiento directo de aguas servidas sobre corrientes hídricas que carecen de un tratamiento adecuado, lo cual se traduce en una problemática que afecta directamente la calidad del agua reduciendo así la oferta para cubrir necesidades básicas como lo es la del consumo humano [2]. Esta situación no es ajena en la microcuenca del Río Guineo, corriente que atraviesa el corregimiento de Puerto Umbría, en donde se desarrollan actividades festivas, recreativas y de deporte con un control ambiental muy regular. Esto sumado a que en la actualidad en dicha población se está realizando vertimientos directos de aguas residuales sin previo tratamiento, lo que incide significativamente en sus características fisicoquímicas y biológicas.

Este estudio tuvo como objetivo principal evaluar la calidad de agua de la microcuenca del Río Guineo a través de la caracterización e interpretación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos. En la sección comprendida entre los puntos de muestreo se incluyeron los principales afluentes y el análisis de la relación existente entre el comportamiento del caudal, el tipo de zona, la concentración de los diferentes parámetros analizados y las diferentes actividades antrópicas realizadas en el área de interés.



# 1 CAPITULO I: PROBLEMA

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De modo general, los ríos representan la principal fuente de agua para diferentes usos como el doméstico, institucional, agricultura y actividades industriales que son de gran importancia para el desarrollo del ser humano, suponen una fuente importante de alimento y muchos de ellos son utilizados como sistemas de transporte, pero sobre todo son un componente esencial de nuestro patrimonio natural y cultural [3].

En este contexto, es válido mencionar que Colombia es un país que cuenta con una gran variedad de recursos naturales los cuales son administrados para satisfacer las necesidades básicas; el Departamento de Putumayo, no es la excepción, puesto que cuenta con diversas fuentes hídricas, la principal, el Río Putumayo, fuente que abastece a sus comunidades y cuenta con una amplia red de ríos secundarios que lo alimentan provenientes de todos los rincones del departamento [4].

Sin embargo, estas fuentes se están viendo directamente afectadas debido a las diversas actividades antropogénicas que se desarrollan en la zona, las cuales causan una evidente degradación de ecosistemas. Un caso puntual se presenta en el Corregimiento de Puerto Umbría perteneciente al Municipio de Villagarzón, en donde actualmente su población se está viendo afectada debido a que no existe un sistema abastecimiento de agua tratada con la cantidad, la calidad y la continuidad que exige la norma.

Por tal motivo, y en procuras de satisfacer las necesidades básicas como la preparación de alimentos, actividades domésticas, de aseo y recreativas, la comunidad recurre a utilizar el agua de la fuente más cercana, que para su caso es el Río Guineo, cuerpo hídrico que se está viendo perturbado por el vertimiento directo de aguas residuales domésticas y por actividades de extracción de material de arrastre, acarreado consigo consecuencias como la pérdida de calidad de este recurso, originando de esta manera enfermedades diarreicas agudas a que los habitantes se ven expuestos al consumir estas aguas, así como también a la degradación de ecosistemas reflejado en la escasez de vida acuática.

El Departamento del Putumayo cuenta con 13 municipios, los cuales reportan información sobre la calidad del agua al Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano (SIVICAP), tanto de la zona rural como urbana, mediante los índices de riesgo para consumo humano y la

evaluación de la calidad del agua con base a los análisis fisicoquímicos, se encontró que el municipio de Villagarzón muestra un nivel de riesgo alto de contaminación en la fuente hídrica [5].

Teniendo en cuenta lo anterior, se proyecta realizar un estudio en puntos específicos del Río Guineo con el objetivo de determinar el estado actual del área de influencia de la microcuenca a través de la evaluación de las condiciones fisicoquímicas y biológicas del agua, y poder así establecer los niveles de contaminación que presenta dicha corriente hídrica, con el fin de formular alternativas de solución e implementar diferentes programas que ayuden a prevenir, controlar y mitigar los impactos generados por las actividades antrópicas.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existen diversos estudios sobre la problemática mundial en torno al agua, “la contaminación”, factor de gran importancia debido a que los contaminantes generados por actividades antrópicas pueden ser acumulados y transportados tanto por las aguas superficiales como por las subterráneas, desmejorando así su calidad [3]. Estas actividades originan no solo alteración de los ecosistemas con pérdida de vida acuática y terrestre, sino que también un incremento de la tasa de morbilidad y mortalidad por el consumo de aguas no tratadas.

De otro lado, el crecimiento demográfico junto con la desorganización de la población y el mal uso del agua está afectando irreversiblemente este recurso, ha hecho que este se vaya deteriorando cada vez más, haciendo que la gestión que se proyecte se encamine hacia una distribución inequitativa del recurso hídrico impidiendo el cubrimiento total de las necesidades de agua de la población y de los ecosistemas [7], lo cual obliga a prestar especial atención al tratamiento que se le debe dar al agua antes y después de usarla.

Con relación a lo anterior, en los últimos años, algunos países han aceptado la inclusión de los macroinvertebrados para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos [8], en los que se ha obtenido resultados positivos identificando los niveles de contaminación en las diferentes fuentes hídricas, herramienta que podría ser de gran ayuda en la situación que nos ocupa.

El Rio Guineo es la principal fuente de abastecimiento para las actividades cotidianas de la comunidad de Puerto Umbría; por ende, es importante anotar que esta localidad no cuenta con el servicio de acueducto, situación que se pudo evidenciar mediante la visita técnica realizada a la zona. A través de indagaciones a la comunidad también se pudo constatar que no se ha realizado ninguna clase de estudios que compruebe que sus aguas sean aptas para el consumo y demás actividades domésticas. Es así que se plantea realizar una caracterización fisicoquímica y biológica que permita identificar la calidad de agua mediante los índices de calidad.

Mediante la realización de este estudio se proyecta establecer la situación actual de la fuente hídrica, lo cual permitirá una mejor comprensión del estado ambiental en el que se encuentra el cuerpo de agua, y de esta manera se podrá utilizar el resultado del estudio como insumo para la toma de decisiones al momento de formular alternativas de solución a la problemática, lo que podría conducir a un mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la calidad de agua en la microcuenca del Río Guineo, corregimiento de Puerto Umbría, Municipio de Villagarzón, Departamento del Putumayo.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- caracterizar la calidad del agua en la microcuenca del Rio Guineo mediante el uso de parámetros fisicoquímicos y biológicos utilizando los índices de calidad de agua (ICA), y el índice BMWP/Col
- Valorar los tensores antrópicos generados en la microcuenca del Rio Guineo.
- Formular alternativas de solución para el control de los impactos generados en la microcuenca

## 2 CAPITULO II: REFERENCIAS CONCEPTUALES

### 2.1 ANTECEDENTES

El trabajo realizado por [9], titulado Diagnóstico Actual de los Parámetros Físicoquímicos como Indicadores de Contaminación Ambiental en el Río Apulo, Afluente del Río Bogotá, se evalúa la contaminación antrópica mediante la cuantificación de parámetros físicoquímicos. Para esto se establecieron seis estaciones de muestreo, en las cuales se realizaron muestras In Situ y de laboratorio, las muestras se realizaron durante cuatro meses cada treinta días, con los cuales se permitió evaluar la contaminación causada por la mineralización, sólidos suspendidos, índice de Langelier e índice de saponabilidad. Según los resultados obtenidos se puede deducir que el cuerpo de agua se encuentra sometido a cierta descarga de contaminación, que se hace más evidente en alguna que otra estación, presentando cierta resiliencia, que se ve interrumpida por el constante desequilibrio ecosistémico, causado por la acción antrópica sobre el río.

En el trabajo realizado por [10], titulado Los Macroinvertebrados Como Bioindicadores de Calidad de Agua, Cuatro Décadas de Desarrollo en Colombia y Latinoamérica, se presenta una revisión de los estudios realizados durante las últimas cuatro décadas en Colombia y de manera general en Latinoamérica se determinó el estado actual sobre el conocimiento de los diferentes grupos de macroinvertebrados acuáticos su ecología y taxonomía, una de las comunidades de especies más estudiadas en Colombia es la *Entomofauna*, y los órdenes *Ephemeroptera*, *Plecóptera* y *Trichoptera* son los más conocidos de acuerdo a su taxonomía. Aquí se concluye que es necesario profundizar en el estudio en algunos grupos como los anélidos, moluscos, ácaros y dípteros, los cuales falta conocimiento de su ecología y taxonomía. [11]

Una revisión realizada por [12], demostró que los indicadores más usados en algunos países de América y Europa los indicadores ICA - Índices de Contaminación -ICO más utilizados en algunos países de América y Europa, así como una revisión e interpretación que se basan en parámetros físicoquímicos para su evaluación. Estos indicadores mediante una expresión matemática permiten evaluar el recurso hídrico es específica para cada región o fuente particular su construcción, consta de tres pasos fundamentales: i) la selección de variables, ii) la determinación de subíndices de cada parámetro y iii) la elección de la fórmula de la agregación. Los parámetros que más se tienen en cuenta son: pH, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, con el fin de facilitar la

interpretación de los datos fisicoquímicos y biológicos, cada vez más agentes medioambientales recurren a los índices de calidad (ICA - ICO).

Las características del agua cada día se ven más afectadas por las actividades humanas, las cuales junto con los fenómenos naturales hacen que sus propiedades fisicoquímicas varíen considerablemente [13], evalúan las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, se realizó una campaña de muestreo y aforo que comprende entre los días 10, 15, 17 y 19 de agosto de 2004, este estudio comprende la evaluación fisicoquímica y microbiológica en treinta sitios afectados por las actividades agropecuarias de la zona, los resultados muestran que todos los puntos a diferencia de uno muestran presentan contaminación microbiológica con coliformes totales y fecales. Por otro lado, los análisis fisicoquímicos y el cálculo del ICA, se concluye que las corrientes poseen características típicas de aguas pertenecientes a la parte baja de cuencas no intervenidas, es decir, aunque su grado de contaminación no es alarmante, se encuentran algunas estaciones de muestreo con condiciones meso-eutróficas.

Un trabajo realizado por [14], titulado Diversidad de Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de Agua de Quebradas Abastecedoras del Municipio de Manizales, se compara la riqueza, composición de dichos organismos y la calidad de agua en dos quebradas abastecedoras en el municipio de Manizales. Se realizaron tres muestreos en tres estaciones (Zona de referencia-no intervenida, zona antes y después de la represa) en las quebradas Olivares y Romerales, en tres períodos (seco, intermedio y lluvioso), para la recolección de macroinvertebrados se utilizó la red surber, en cada punto de muestreo se registraron variables fisicoquímicas. En total se capturaron 12.443 macroinvertebrados, no se encontraron diferencias significativas entre la riqueza de macroinvertebrados en las quebradas estudiadas. Las variables fisicoquímicas evaluadas y los resultados obtenidos con el índice biótico BMWP indican que, en general, las dos quebradas evaluadas presentan una buena calidad de agua.

El trabajo realizado por [15], correspondiente a un Mapeo Sistemático Sobre la Predicción de la Calidad de Agua Mediante Técnicas de Inteligencia computacional, se realiza un mapeo sistemático de la literatura concerniente a la predicción de la calidad del agua, dada la naturaleza renovable del agua, este recurso se ha tratado y gestionado tradicionalmente como si fuese ilimitado; sin embargo, el incremento indiscriminado de su uso ha acarreado consigo un acelerado deterioro en su calidad. Es así como la predicción de la calidad del agua desempeña un papel muy importante para muchos sectores socioeconómicos que dependen del uso del preciado líquido.

Las zonas costeras que reciben contaminación debido a la actividad antropogénica, contienen elevadas concentraciones de nutrientes, contaminantes orgánicos y trazas de metales pesados. El trabajo realizado por [16], titulado Calidad de Agua en el Área Costera de Santa Marta (Colombia), se determinó la variación temporal y espacial de la calidad del agua en la zona costera de Santa Marta, se emplearon técnicas estadísticas multivariadas: La anova de dos vías, los análisis de clúster y de componentes principales más la interpolación de Krigging, el periodo de recolección de resultados se encuentra una variación que marcan en el año dos periodos de tiempo heterogéneos de diciembre a abril, la concentración de los parámetros de calidad del agua es más alta, el resto del año se registra concentraciones sensibles e inferiores, dicha diferencia está relacionada con la cercanía a la descarga del emisario submarino.

## **2.2 BASE TEÓRICAS**

Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano [17].

La calidad del agua para consumo humano es aquella que está libre de patógenos y de sustancias tóxicas que puedan constituir factor de riesgo para el individuo.

### **Bioindicación**

Esta técnica consiste en la utilización de organismos vivos, ya sean animales o vegetales, para medir y controlar la contaminación de un entorno determinado. Es la forma de detección y control de la toxicidad en los ecosistemas. Utilizando organismos vivos, ya sean animales o vegetales, para medir y controlar la contaminación de un entorno determinado [18].

### **Macroinvertebrados**

Son aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a la vegetación acuática, troncos y rocas sumergidas. Sus poblaciones están conformadas por platelmintos, insectos, moluscos y crustáceos principalmente [19].

### **Índices de Calidad de Agua (ICA)**

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las

mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo “j” en el tiempo “t”.

de acuerdo a lo reportado por el IDEAM se hizo el uso de las diferentes herramientas utilizadas para poder realizar el cálculo del ICA, para ello se tuvo en cuenta las fórmulas de DQO, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, nitrógeno y fosforo que se pueden observar a continuación [20].

La fórmula de cálculo del indicador es:

Ecuación 1 - Cálculo del indicador (ICA)

$$ICA = \left( \sum_{i=1}^n W * I_{ikjt} \right)$$

Dónde:

$ICA_{njt}$ : Es el índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua “j” en el tiempo “t”, evaluado con base en “n” variables.

$W_i$ : Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

$I_{ikjt}$ : Es el valor calculado de la variable “i” (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo “j”, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo “t”.

n: Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; “n” es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Se recomienda que la tabla de datos del indicador incluya el valor mínimo del ICA registrado en el periodo de tiempo “t” y, además, el ICA promedio de ese periodo, que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICA \text{ promedio} = \left[ \sum_{k=1}^m \left( \sum_{i=1}^m W_i * I_{ikjt} \right) \right] \div m$$

Dónde:

“m”: Es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador.  $1 \leq m \leq 4$  si el periodo es anual.



Oxígeno disuelto (OD): Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.

Oxígeno Disuelto:

$$PS_{OD} = \frac{Ox - 100}{C_p}$$

Dónde:

Ox: Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/L) asociado a la elevación, caudal y capacidad de re-oxigenación.

Cp: Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.

Una vez calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el valor  $I_{OD}$  se calcula con la fórmula:

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

Cuando el porcentaje de saturación de OD es mayor al 100%:

$$I_{OD} = 1 - (0,01 * PS_{OD} - 1)$$

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica. La DQO determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Conductividad eléctrica (CE)

Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, refleja la mineralización. Se calcula como sigue:

Formula 1 CE

$$I_{C.E} = 1 - 10^{(-3,20+1,54\log_{10}C.E)}$$

cuando  $I_{ce} < 0$  entonces  $I_{cee} = 0$

Potencial de hidrogeno (pH)

Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas.

Formula pH

$$\text{si } pH < 4, \text{ entonces } I_{pH} = 0,1$$

Formula pH

$$\text{si } 4 \leq pH \leq 7, \text{ entonces } I_{pH} = 0,02628419 * e^{(pH*0,520025)}$$

Formula pH

$$\text{si } 7 < pH \leq 8, \text{ entonces } I_{pH} = 1$$

Nitrógeno Total/Fósforo Total (NT/PT)

Mide la degradación por intervención antrópica, es una forma de aplicar el concepto de saprobiedad empleado para cuerpos de agua (ciénagas, lagos, etc.) como la posibilidad de la fuente de asimilar carga orgánica; es una relación que indica el balance de nutrientes para la productividad acuícola de las zonas inundables en los ríos. La fórmula para calcular el subíndice de calidad para NT/PT es:

Formula Nitrógeno total y Fosforo total

$$\text{si } 15 \leq \frac{NT}{PT} \leq, \quad \text{entonces } I_{NT/PT} = 0.8$$

Formula Nitrógeno y Fosforo

$$\text{si } 10 < \frac{NT}{PT} < 15, \quad \text{entonces } I_{NT/PT} = 0,6$$

Formula Nitrógeno y Fosforo

$$\text{si } 5 < \frac{NT}{PT} \leq 10, \quad \text{entonces } I_{NT/PT} = 0,35$$

Formula Nitrógeno y Fosforo

$$\text{si } \frac{NT}{PT} \leq 5 \text{ o } \frac{NT}{PT} > 20, \quad \text{entonces } I_{NT/PT} = 0,15$$

### Matriz de Vester

Es una herramienta que facilita la identificación y relación de las causas y consecuencias de una situación problema. Es una matriz de vectores, una serie de filas y columnas que muestran tanto horizontal (filas) como verticalmente (columnas), las posibles causas (variables) de una situación problemática como la Tabla 1 [21].

Entonces lo que se hace básicamente es confrontar los problemas (variables) entre sí basándose en los siguientes criterios de calificación: 0, 1, 2 y 3, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 1: Matriz de evaluación Vester

Problemas		P1	P2	P3	P4
Problema	P1				
Problema	P2				
Problema	P3				
Problema	P4				

Fuente: [21]

Tabla 2: Calificación según la matriz de Vester

0	No lo causa
1	Lo causa indirectamente
2	Lo causa de forma semidirecta
3	Lo causa directamente

Fuente: [21]

## 2.3 MARCO LEGAL

El decreto 1575 de 2007 lo cual establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, con el fin de brindar un conocimiento sobre el estado actual de la microcuenca del río guineo con variables fisicoquímicas y legales, así como lo estipula en los artículos 4 y 5 responsables del control y vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano.[22] Por el decreto dicho anteriormente se es necesario realizar un estudio donde se pueda evidenciar el estado actual de la microcuenca del río guineo lo cual teniendo en cuenta las estaciones seleccionadas las afectaciones que se presentan los vertimientos de aguas residuales lo cual es necesario tener en cuenta los valores máximos permisibles de vertimientos resolución 631 de 2015 [23], para que se tenga un control adecuado sobre la microcuenca del río guineo.

El decreto 475 de 1998 lo cual se expiden normas técnicas de calidad de agua potable teniendo en cuenta los artículos 7 los criterios de agua potable (conductividad) de igual manera el artículo 10 de dicho decreto el valor máximo permisible para *pH*. Las disposiciones de la presente norma son de orden público y obligatorio y con ella se regulan las actividades relacionadas con la calidad de agua potable [24], es necesario conocer la normatividad que nos ayude a obtener una información adecuada y poder interpretar las diversas causas de alteración a dichos parámetros si se presentan en cada estación de muestreo en la microcuenca.

La resolución 2115 del 2007 [25] lo cual señalan características instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para calidad de agua para consumo humano, con el fin de analizar algunas características químicas e identificar el grado de afectación en su artículo 6 nos da a conocer los valores máximos aceptables de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana. Con el fin de tener un desarrollo adecuado en el corregimiento de puerto umbría se debe tener en cuenta clara la legislación colombiana, la cual nos da a conocer muchos lineamientos sobre los estados de los Ríos del país los cuales son empleados para el consumo humano y diversas actividades que inciden en la salud de la región.

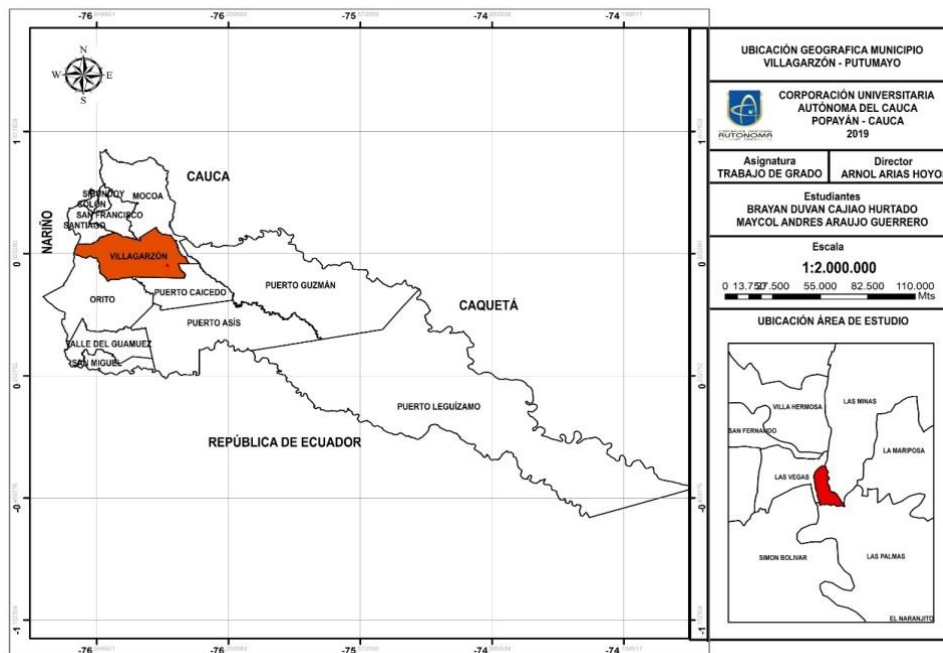
### 3 CAPITULO III: METODOLOGÍA

Con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos propuestos el desarrollo del presente trabajo de grado titulado “CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO GUINEO CORREGIMIENTO DE PUERTO UMBRÍA DE MUNICIPIO VILLAGARZÓN DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO”, se diseñó el siguiente esquema metodológico compuesto por tres fases fraccionadas en diferentes actividades, utilizando métodos inductivos y deductivos a través de técnicas experimentales de observación y muestreo, las cuales se describen a continuación:

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Puerto Umría es un corregimiento del municipio de Villa garzón, Departamento del Putumayo (Colombia), situado a 1.755 metros de altitud , la población estimada es de 2.895 habitantes aproximadamente, la actividad económica de la región se distribuye: 40% praderas útiles para la cría de ganado a iniciativa del colono, el 25% destinado a la producción agrícola (maíz, plátano, yuca, caucho, palmas, etc.) y el restante, en vegetación forestal. [26]

Ilustración 1: Municipio de Villagarzón



Fuente: elaboración propia

### **3.2 Fase 1: Realización del diagnóstico del estado actual de la microcuenca del Rio Guineo mediante el uso de parámetros fisicoquímicos y biológicos utilizando los ICA y el índice BMWP/COL**

Para la elaboración de esta primera fase se realizó la evaluación fisicoquímica a través de los ICA propuesta por el IDEAM, y la biológica determinada por el índice BMWP/COL propuesto por el instituto de investigación Von Humboldt, tomando como base la evaluación de cuatro puntos de muestreo a lo largo de toda la microcuenca (alta, desembocadura, media y baja), con una distancia aproximada de entre 500 a 800 metros cada una, las cuales responden estratégicamente a la distribución de las actividades económicas que ejercen mayor presión sobre el cuerpo hídrico (asentamientos humanos, agricultura, ganadería, minería a pequeña escala, extracción de material de arrastre ,entre otros). En cuanto al muestreo fisicoquímico, se tomaron tres muestras en frascos de un litro de capacidad, previamente esterilizados y refrigerados con propósitos de conservación, para un periodo de recolección de dos meses diferentes en el año de alta pluviosidad y baja pluviosidad ver (Imagen 4,Imagen 7). El análisis biológico se efectuó por medio de la recolección de bioindicadores (macroinvertebrados) que diagnosticarían la calidad del agua en la que se encuentra la microcuenca en cada uno de sus puntos a monitorear.

Consecutivamente se llevaron las muestras de campo a pruebas de laboratorio para determinar los parámetros fisicoquímicos de conductividad eléctrica, pH, DQO, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos ver (Imagen 11,Imagen 12) y análisis de macroinvertebrados para así determinar el índice de calidad de agua de la microcuenca Rio Guineo, y como resultado se generó una cartografía que especifique los puntos críticos de contaminación.

Tabla 3: Material e insumos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la microcuenca del Río Guineo

<b>MATERIALES MUESTREO EN CAMPO Y LABORATORIO</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Pinzas de disección	Recolección y clasificación de macroinvertebrados
Malla de nylon	Captura de los macroinvertebrados
Guantes de látex, tapabocas y botas	Elementos de protección de personal
Frascos de 1 litro	Toma de muestras microbiológicas
Estereoscopio serie SMZ-171	Caracterización y análisis taxonómico de macroinvertebrados
Fotómetro	
Multiparamétrico HANNA HI9828	
Espectrofotómetro/Turbidímetro	
Probeta	
Baker	
Vidrio reloj	
Plancha, pinzas metálicas	

Fuente: Elaboración propia

### **Actividad 1:** Determinación fisicoquímica y aplicación de los ICA

La caracterización fisicoquímica de la cuenca Río Guineo se determinó por medio de cuatro estaciones de muestreo nombrados anteriormente, estos puntos fueron seleccionados con el fin de analizar los causantes del cambio en el estado de la calidad en el que se encuentra el cuerpo de agua, bajo la jurisdicción que indique el ICA. Cada punto conserva un código y un número fijado y su ubicación dependió de variables como: acceso, topografía, condiciones climáticas, necesidad de mitigar algún problema, entre otras.

Es así que para la determinación fisicoquímica de la microcuenca se usó la metodología propuesta por el IDEAM para la determinación del índice de los ICA en aguas superficiales. [20]

Este índice de calidad de agua permite determinar a través de la selección de las cinco variables evaluativas (ver Tabla 4) escogidas para este proyecto de investigación, las cuales fueron optadas por la disponibilidad de datos, herramientas técnicas suministradas por la universidad y las diferentes presiones contaminantes a las cuales está sometido el cuerpo de agua.

Tabla 4: Variables o parámetros fisicoquímicos a evaluar

<b>VARIABLE</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Oxígeno Disuelto	% saturación (PS)
Demanda Química de Oxígeno	mg/L
Fosfatos	mg/L
Nitratos	mg/L
Conductividad Eléctrica	μS/cm
pH	Unidades de pH

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, el ICA se calculó a partir de los datos y cálculos de concentración del conjunto de cada variable escogida *Ecuación 1*.

Según los valores optativos que llegue a tomar el indicador serán clasificados en diferentes categorías de selección, (ver Tabla 5); de acuerdo a ello se califica la calidad del agua de la microcuenca, asociándosele un color como señal de alerta.

Tabla 5: Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

<b>CATEGORÍAS DE VALORES QUE PUEDE TOMAR EL INDICADO</b>	<b>CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA</b>	<b>SEÑAL DE ALERTA</b>
0.00 - 0.25	Muy mala	Rojo
0.26 - 0.50	Mala	Naranja
0.51 - 0.70	Regular	Amarillo
0.71 - 0.90	Aceptable	Verde
0.91 - 1.00	Buena	Azul

Fuente: [20]

Por último, como resultado final generado por el ICA se puede visualizar mediante un mapa el estado en la que se encuentra la corriente superficial microcuenca Rio Guineo con las estaciones categorizadas de acuerdo a los valores calculados del Índice para ser respectivamente analizada como según la normatividad (Resolución 2115 2007, artículo 7°) lo indique.



## **Actividad 2:** Determinación biológica (macroinvertebrados) y aplicación del índice BMWP/COL

Para el desarrollo de esta actividad se usó la metodología que se sirve de los macroinvertebrados acuáticos para usarlos como indicadores de la calidad del agua propuesta por el instituto de investigación Alexander Von Humboldt. [27]

Este método permitió estimar la calidad de un ecosistema acuático a partir de la valoración de las especies acuáticas que habitan en el mismo; se atribuye a cada especie un valor determinado de acuerdo con su tolerancia a la contaminación que va de 1 a 10, de manera que las familias más tolerantes obtienen una menor puntuación que aquellas que requieren una mejor calidad de las aguas en que viven. La suma de los valores obtenidos para cada familia en un punto de muestreo dará el grado de contaminación del mismo. Cuanto mayor sea la suma, menor es la contaminación del punto estudiado. [27]

La toma de las muestras (macroinvertebrados) de los puntos nombrados en la actividad anterior se basó en el método descrito por [27]; el cual consiste en hacer uso de una *red surver* de 6 m<sup>2</sup> en donde se recolectaron las diferentes especies de comunidades de macroinvertebrados en recipientes de plástico con 50 mL de alcohol al 70% debidamente rotulados ver (Imagen 3, Imagen 5, Imagen 6) y llevados al laboratorio para su respectivo análisis ver (Imagen 9, Imagen 10).

Se utilizaron de los puntajes asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/COL y la clasificación de las aguas y su significado ecológico (ver ilustración 2 y 3), así se pudo determinar el grado de contaminación o calidad que presenta el cuerpo de agua.

Ilustración 2: Puntajes asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/COL

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Chordodidae, Ghomphidae, Hydridae, Lamoyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Olineuridae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptoplebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lesidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Sthaphylinidae.	6
Belastomidae, Gelastocoridae, Mesovelidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomidae, Haliplidae, Empididae, Dolochopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometidae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossophoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Phydidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.	2
Turbificidae	1

Fuente:[27]

Ilustración 3: Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/COL

Clase	calidad	BMWP/col	significado	Color
I	buena	> 150, 101 – 120	aguas muy limpias a limpias	
II	aceptable	61-100	aguas ligeramente contaminadas	
III	dudosa	36-60	aguas moderadamente contaminadas	
IV	crítica	16 – 35	aguas muy contaminadas	
V	muy crítica	< 15	aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: [27]

### Actividad 3: Elaboración del mapa cartográfico

Con base en los resultados obtenidos en las anteriores actividades se elaboró un mapa cartográfico realizado a través del programa ArcGis con información obtenida del GPS Garmin Etrex-10 con un sistema de coordenadas WGS84 y los Shapefiles del departamento del Putumayo descargados de la página del SIGOT-IGAC, esto con el fin de visualizar e identificar la calidad y el grado de contaminación que presenta la microcuenca Rio Guineo, logrando así generar resultados que aportan información a la academia y a la comunidad implicada sobre los posibles tensores ambientales a que puede estar sometido este cuerpo de agua debido a las diferentes actividades económico productivas que se realizan en el corregimiento de Puerto Umbría.

### 3.3 Fase 2: Identificación de los tensores antrópicos generados en la microcuenca del Rio Guineo

Para el cumplimiento de este objetivo, se realizó un recorrido por la zona de estudio en la microcuenca del Rio Guineo con el propósito de elaborar una lista de chequeo para registrar las diferentes actividades antrópicas presentes en lugar y que puedan estar ejerciendo algún impacto. Esta información se consignó en la matriz de evaluación de impacto Vester, pudiendo determinar el grado de impacto de los diferentes tensores presentes en la zona de estudio.

Tabla 6 Interpretación de cada cuadrante

<b>CUADRANTE: CRÍTICOS.</b> Los problemas críticos tienen un total de activos y pasivos altos. Son problemas causados por otros y a su vez son causados por los demás.	<b>CUADRANTE 1: PASIVOS.</b> Los problemas pasivos tienen un alto total de pasivo y bajo total de activo. Representan poca influencia causal. Al intervenir los problemas activos, los pasivos deberían ser solucionados o mermados
<b>CUADRANTE: INDEFERENTES</b> Los problemas indiferentes presentan un bajo total de activos y pasivos, es decir, ni causan a otros ni son causados. Se consideran de baja prioridad dentro del sistema analizado.	<b>CUADRANTE: ACTIVOS</b> Los problemas activos se encuentran en el cuarto cuadrante y presentan un alto total de activos y bajo total de pasivos. No son causados por otros, pero influyen mucho en los otros criterios. Requieren atención y manejo crucial

Fuente: [21]

### **3.4 Fase 3: Formulación de alternativas de solución para mejorar las condiciones de la microcuenca del Río Guineo**

De acuerdo con los resultados obtenidos en los estudios fisicoquímicos, biológicos y a la verificación de las actividades antrópicas más relevantes registradas en la matriz de Vester, en donde se identificó el nivel de incidencia que tiene cada problema sobre el resto, se clasificó cada cuadrante con el fin de identificar el problema más significativo para el lugar de estudio, el cual requiere de gran cuidado en su análisis y manejo. Una vez obtenido el resultado se procedió a formular programas de solución incluyendo actividades dirigidas a la comunidad del corregimiento de Puerto Umbría, veredas aledañas y a los entes gubernamentales, y de esta manera aunar esfuerzos que permitan dar frente a la contaminación que aqueja esta fuente hídrica.

#### 4 CAPITULO IV: RESULTADOS

Los análisis de la toma de muestras para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos que se realizaron durante los puntos de muestreo ver (Anexo A, Anexo B, Anexo C, Anexo D) se presentan en la siguiente tabla como resultados promedio:

Tabla 7: resultados promediados de parámetros fisicoquímicos en los dos periodos de muestra

Parámetros	MES 1 BP				MES 2 AP			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
DQO (mg/L)	4,58	1,09	0	0,9	38	20	25	132
OD (mg/L)	6,55	6,7	7	6,6	6,47	6,8	6,85	1,56
pH	6,87	6,8	7	7	6,6	7	6,65	6,5
Fosfatos (mg/L)	0,2	0,75	0	0,4	<1	<1	<1	<1
Nitratos (mg/L)	1	1	1	1,1	<1	<1	<1	<1
CE ( $\mu$ S/cm)	26,7	37,8	0	77	25,6	46	26,6	114,35

Fuente: Elaboración propia

E1: Estación 1  $\longrightarrow$  Aguas abajo

E2: Estación 2  $\longrightarrow$  Parte media

E3: Estación 3  $\longrightarrow$  Desembocadura

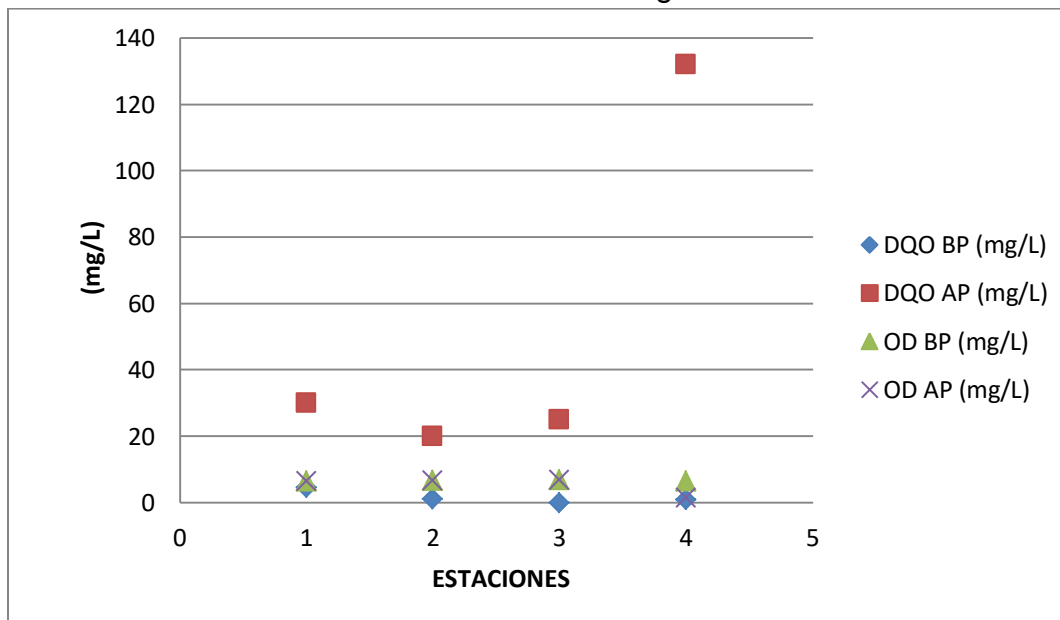
E4: Estación 4  $\longrightarrow$  Aguas arriba

DQO: Demanda Química de Oxígeno

OD: Oxígeno Disuelto

CE: Conductividad Eléctrica /  $\mu$ S/cm: micro siemens/centímetro

Gráfico 1 relación DQO Y oxígeno disuelto



Fuente: Elaboración propia

BP: Baja Pluviosidad / AP: Alta Pluviosidad

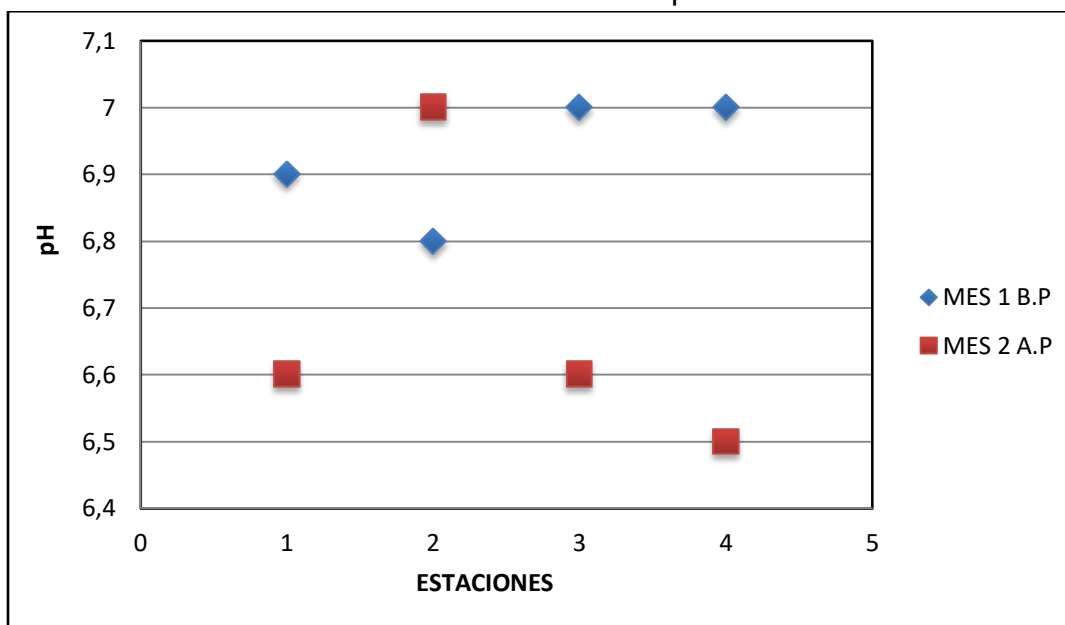
OD: Oxígeno Disuelto

El oxígeno constituye uno de los elementos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos, debido a que su presencia y concentración definen el tipo de especies que habitan de acuerdo con sus tolerancias y rangos de adaptación, y por ende establecen toda la estructura y funcionamiento biótico de estos sistemas.

La oxigenación de la materia orgánica por medios químicos constituye la DQO, en el (¡**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**!) se puede observar que en el primer periodo de toma de muestras hay un mayor nivel de DQO, lo contrario sucede con el OD, esto se debe a reacciones químicas y a la descomposición de materia orgánica. La presencia de oxígeno en los puntos de muestreo revela la existencia de procesos fotosintéticos, pero sobre todo obedece a un intercambio de oxígeno atmosfera-agua. A menores valores de oxígeno el consumo de materia orgánica es mayor como se evidencia en la estación 4 AP, que muestra un valor bajo de OD (1,56 mg/L) y una carga elevada de DQO 132 mg/L AP, en comparación con las demás estaciones se evidencian tendencia a la eutrofización y disminución de vida acuática reportado por algunos habitantes del corregimiento; la razón de esto se debe posiblemente ya que es un sector donde se descarga vertimientos de aguas residuales domésticas, donde los resultados obtenidos

mediante este proceso son bajos y esto se debe precisamente a las reacciones químicas normales que se presenta en el ecosistema.

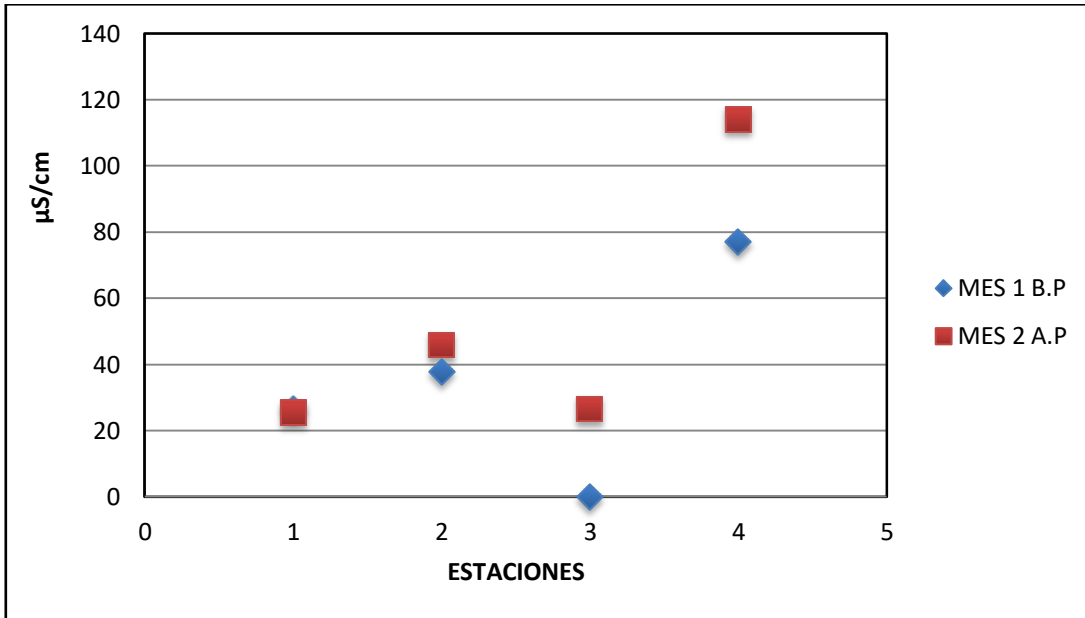
Gráfico 2 resultados pH



Fuente: Elaboración propia

El término pH es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica. El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5 es decir, entre neutra y ligeramente alcalina. En los puntos tomados, la determinación "in situ" del pH, presenta variaciones esto debido que en los cuatro puntos de muestreo se presentan *pH* ligeramente ácidos esto se debe a la presencia de dióxido de carbono provenientes de los microorganismos presentes que están realizando procesos de descomposición de materia orgánica la cual está presente por los diferentes tipos de vertimientos de aguas residuales domesticas identificados en las diferentes estaciones razón por la cual si se compara los resultados obtenidos con los valores máximos permisibles para aguas residuales domesticas según la resolución 631 de 2015 estos valores de pH estarían dentro del rango.

Gráfico 3 conductividad eléctrica

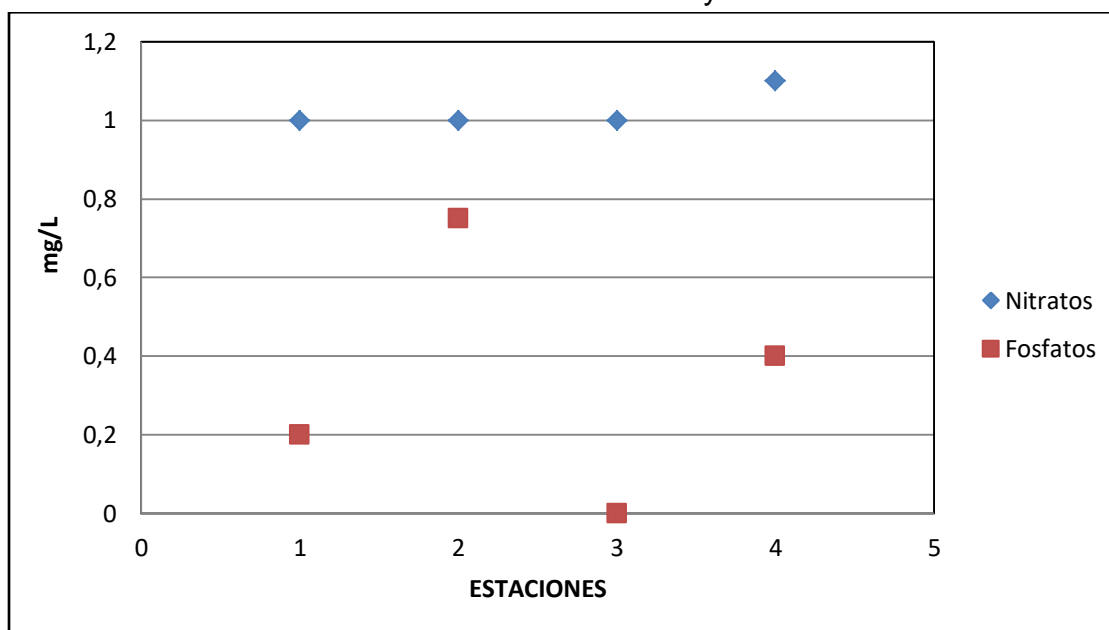


Fuente: Elaboración propia

Es pertinente recalcar que la conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Los valores de conductividad obtenidos en los dos periodos de las muestras tomadas, baja pluviosidad y alta pluviosidad, dan a entender que son valores que obedecen a un cuerpo de agua natural como lo es el Rio Guineo el cual se ve influenciado por algunas actividades antrópicas como material alóctono y vertimientos de aguas residuales, con respecto al incremento del valor de conductividad en la estación cuatro se debe posiblemente sumado a la actividades antrópicas mencionadas anteriormente a que fue un muestreo realizado en época de alta pluviosidad donde el caudal del rio ver ( Anexo E, Anexo F, Anexo G, Anexo H) transportaba alta cantidad de material alóctono que pudo interferir en este parámetro.



Gráfico 4 resultados nitratos y fosfatos



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la toma de muestras para los niveles de nitratos no varían, de acuerdo con la normatividad colombiana Resolución 2115 2007, en su artículo 6° expresa que el valor máximo permisible para nitratos es de 10 mg/L, en las cuatro estaciones seleccionadas se determinó que la microcuenca cumple con la normatividad vigente. En las cuatro estaciones se realizó la toma de muestras para establecer la concentración de fosfatos, en cada punto estudiado la gráfica muestra una variación en las concentraciones; tomando como referencia la Resolución 2115 2007, artículo 7°, el valor máximo permisible para fosfatos es 0,5 mg/L, con base en esta norma se puede establecer que las estaciones 1, 3 y 4 cumplen sin problema alguno.

Sin embargo, en la estación 2 la concentración de fosfatos sobrepasa los límites establecidos por la norma en 2.5 mg/L, se presume que en esta estación pueda existir una alteración en el ecosistema representada en la descomposición de materia orgánica, lo cual genera una disminución importante del oxígeno en las aguas. Así que la descarga de aguas residuales que se identificó en este punto podría ser una fuente de alimento de microorganismos que demandan oxígeno lo cual indicaría una causa potencial para el incremento de la concentración de este parámetro.

#### 4.1 COMPARACIÓN ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO MEDIANTE LOS ICA

Teniendo los resultados de laboratorio se determinaron las siguientes estadísticas utilizando la fórmula del ICA para determinar la calidad de agua en cada estación de muestreo ver (Anexo I) teniendo así los siguientes datos.

Tabla 8: Resultados ICA

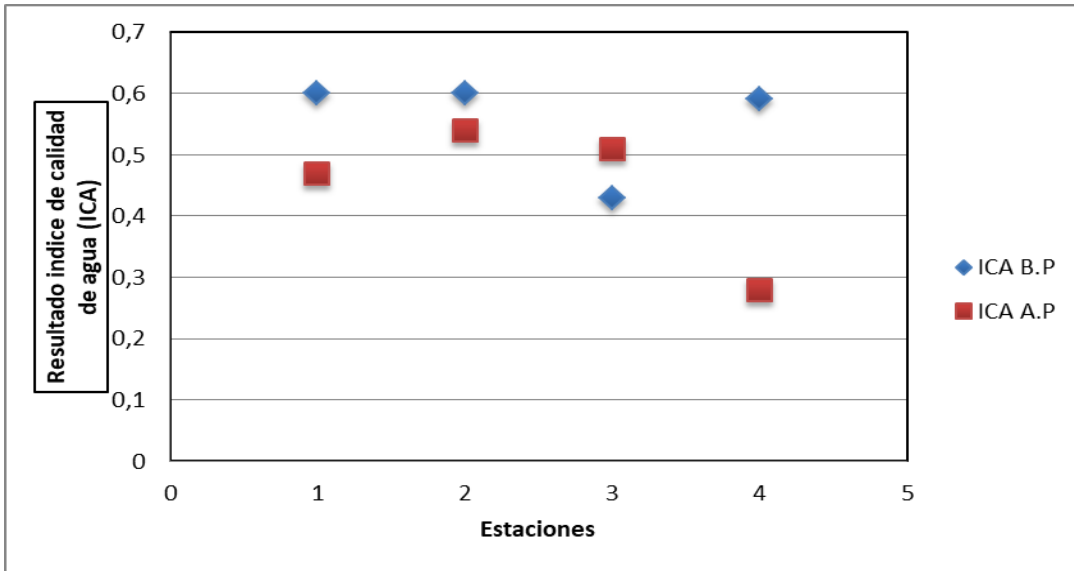
Parámetros	Baja Pluviosidad –BP				Alta Pluviosidad –AP			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
OD mg/L	0,094	0,096	0,1	0,094	0,09	0,1	0,1	0,02
pH mg/L	0,93	0,90	1	1	0,81	1	0,83	0,59
DQO mg/L	0,91	0,91	0,91	0,91	0,51	0,71	0,71	0,125
NT/FT mg/L	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
CE µS/cm	0,96	0,92	0	0,81	0,96	0,91	0,95	0,68
Cálculo ICA $\sum_{I=1}^n W_I * I_{tkjt}$	0,60	0,60	0,43	0,59	0,49	0,57	0,50	0,34

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los ICA, el color amarillo indica que la calidad de agua se encuentra en un estado regular y el color naranja indica que la calidad es mala. La anterior tabla muestra que el agua de las estaciones 1, 2 y 4, en el primer periodo BP de toma de muestras se encuentra en un estado regular y solo la estación 3 se encuentra en un estado de mala calidad.

Es evidente que las muestras presentaron alteraciones en el segundo periodo AP. en las estaciones 1, 3 y 4 la calidad de agua pasó de un estado regular a un estado malo, posiblemente debido a que en esta época se presentaron precipitaciones en la zona, situación que reactiva las actividades antrópicas de extracción de material de arrastre, con lo cual disminuye sustancialmente la calidad del agua.

Gráfico 5 resultados índices de calidad de agua



Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 DETERMINACIÓN BIOLÓGICA

Teniendo en cuenta la clasificación general de macroinvertebrados obtenidos en cada punto de muestreo, información consignada en la tabla 10, se realizó el análisis biológico mediante los resultados obtenidos el mes uno de BP y en el mes dos de AP.

### 4.2.1 Descripción general de macroinvertebrados

En el primer periodo de toma de muestras de BP, y con respecto a las cuatro estaciones, en el número uno se registró una cantidad de 62 individuos configurando un total nueve familias, la tabla 10 muestra que la familia de macroinvertebrados con mayores individuos es la *Hydropsychidae* con un total de 26 especies; lo cual, según la teoría de la bioindicación muestra que el medio de vida de estas especies es oligotrófico. Comúnmente se conoce que esto tipo de fuentes aceleran la multiplicación y el crecimiento de la fauna, debido a los altos niveles de oxígeno proporcionados por un gran número de plantas que crecen en el agua [27]. El segundo lugar lo ocupa la familia *Ceratopogonidae* con un total 20 individuos, lo que indica que estas especies se encuentran en aguas con poca velocidad de escurrimiento.

En la tabla 10 también se aprecia una notoria diferencia entre número de individuos encontrados en el primer periodo de muestra de BP y el segundo periodo de AP, claramente esto podría estar asociado a que en el lapso de periodo

a periodo en la zona se realizaron actividades de extracción de material de arrastre, lo cual implica la migración de especies debido a perturbaciones del ecosistema. Cabe mencionar que el día de la recolección de macroinvertebrados se estaban llevando a cabo actividades de extracción.

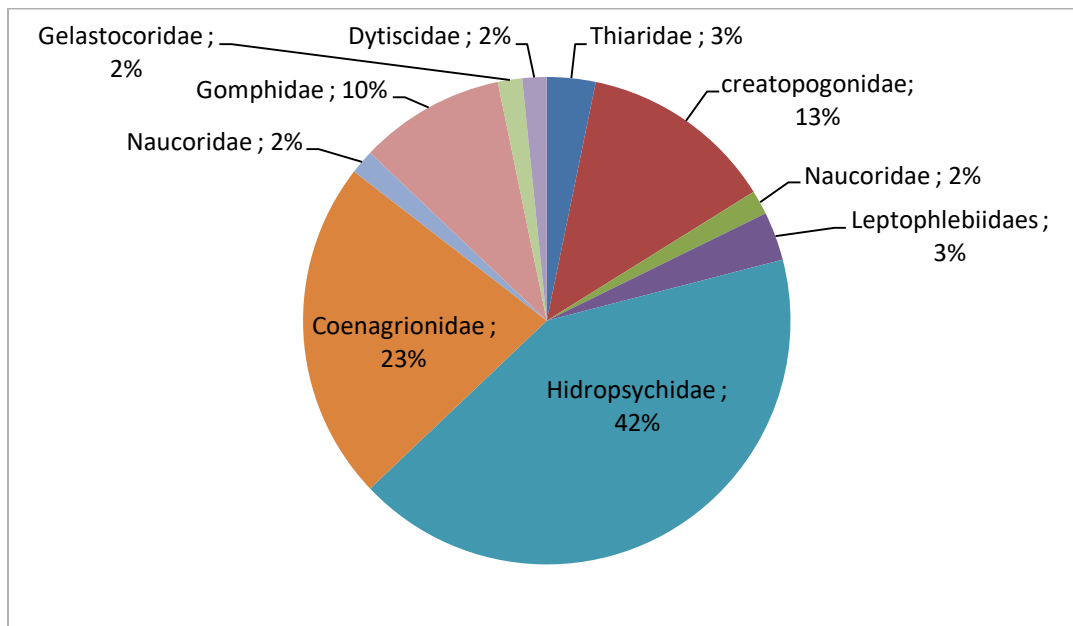
Tabla 9: Descripción general de macroinvertebrados

PUNTOS DE MUESTREO	ESTACIONES	FAMILIA	GENERO	BIOINDICACION	# DE ESPECIES	
Baja Pluviosidad	E1	Thiaridae	aylacostoma	oligotrofico	2	
		Ceratopogonidae	stilobezzia	mesoeutroficas	8	
		Naucoridae	ambrysus	oligomesotroficas	2	
		Leptophlebiidae	thraulodes	oligotrofico	2	
		Hydropsychidae	leptonema	oligoeutrofico	26	
		Coenagrionidae	argia	oligomesotroficas	14	
		Gomphidae	gonfidus	oligomesotroficas	6	
		Gelastocoridae	nerthra	remansa y charcas	1	
		Dytiscidae	rhantos	loticas y lenticas	1	
		Total individuos			62	
		E2	Coenagrionidae	argia	oligomesotroficas	1
			Psephenidae	psephenops	loticas corriente mc	2
			Hydropsychidae	leptonema	oligoeutrofico	5
			Gomphidae	placbdella	oligomesotroficas	1
			Aeshnidae	odonata	mesotroficas	1
			Baetidae	beatodes	oligotrofica	14
			Naucoridae	ambrysus	oligomesotroficas	8
		Total individuos			32	
		E3	Baetidae	beatodes	oligotrofica	4
			Ceratopogonidae	culocoides	mesoeutroficas	20
		Perlidae	anacroneuria	oligotrofico	4	
		Helicopsychidae	helicopsyche	oligomesotrofico	1	
		Dytiscida	rhantos	loticas y lenticas	1	
	Total individuos			30		
	E4	ceratopogonidae	stilobezzia	mesoeutroficas	4	
		Naucoridae	ambrysus	oligomesotroficas	1	
		Hydropsychidae	leptonema	oligoeutrofico	4	
		Leptophlebiidae	thraulodes	oligotrofica	7	
		Libellulidae	brechmorhoga	oligotrofica	2	
	Total individuos			18		
	TOTAL DE INDIVIDUOS			142		
Alta Pluviosidad	E1	No se encontraron especies				
	E2	Helicopsychidae	helicopsyche	oligomesotrofico	4	
		Naucoridae	ambrysus	oligomesotrofico	4	
		Baetidae	beatodes	oligotrofica	8	
	Total individuos				16	
	E3	gomphidae	placbdella	oligomesotroficas	1	
	Total individuos				1	
E4	No se encontraron especies					
TOTAL INDIVIDUOS				17		

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3 PRIMER PERIODO DE TOMA DE MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS – BAJA PLUVIOSIDAD

Gráfico 6 Macroinvertebrados estación número uno BP

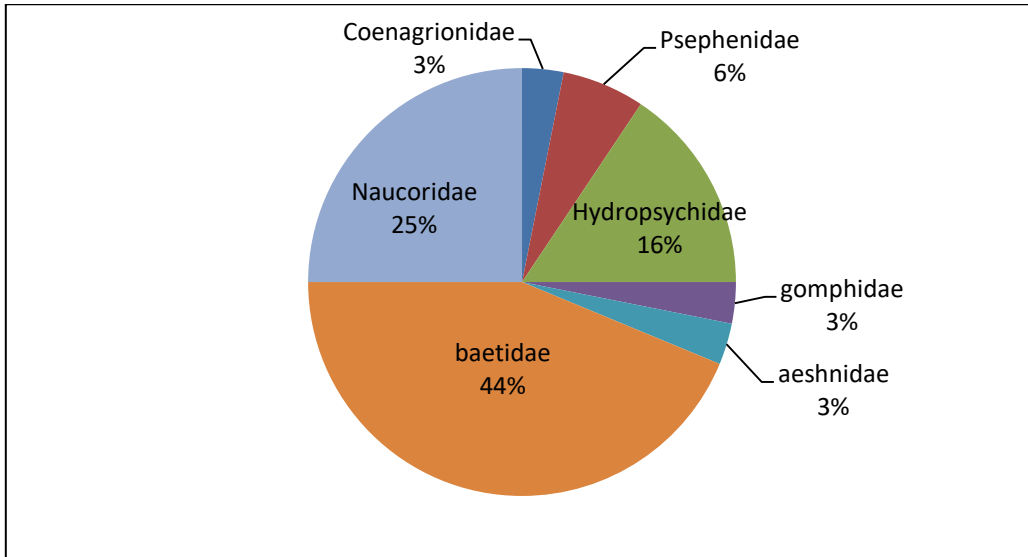


Fuente: Elaboración propia

En esta estación se logró identificar que la familia de macroinvertebrados predominante es la *Hydropsychidae*, con un número total de 26 especies, para un porcentaje del 42% sobre el total. Cabe destacar que este grupo de individuos se caracteriza por ser indicadores de aguas oligotróficas es decir, ambientes con pocos nutrientes.

El gráfico también precisa que la segunda familia de mayor presencia es la *Coenagrionidae*, con un total de 14 especies, ocupando el 23% de la población hallada.

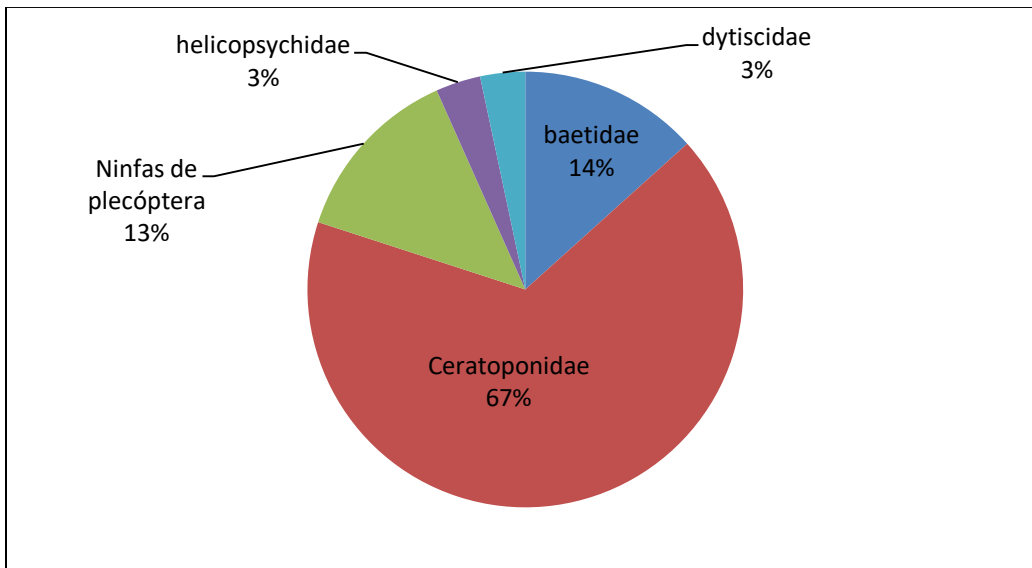
Gráfico 7 Macroinvertebrados estación número dos BP



Fuente: Elaboración propia

En este punto, estación numero dos BP, se observa que la familia *Baetidae* lidera en número el ambiente con una presencia del 44%, macroinvertebrados indicadores de aguas limpias. En segundo y tercer lugar se ubican las familias *Naucoridae* y *Hidropsychidae*, con 25 y 16% respectivamente, del total de especies encontradas en esta estación, estos últimos indicadores de aguas oligotróficas.

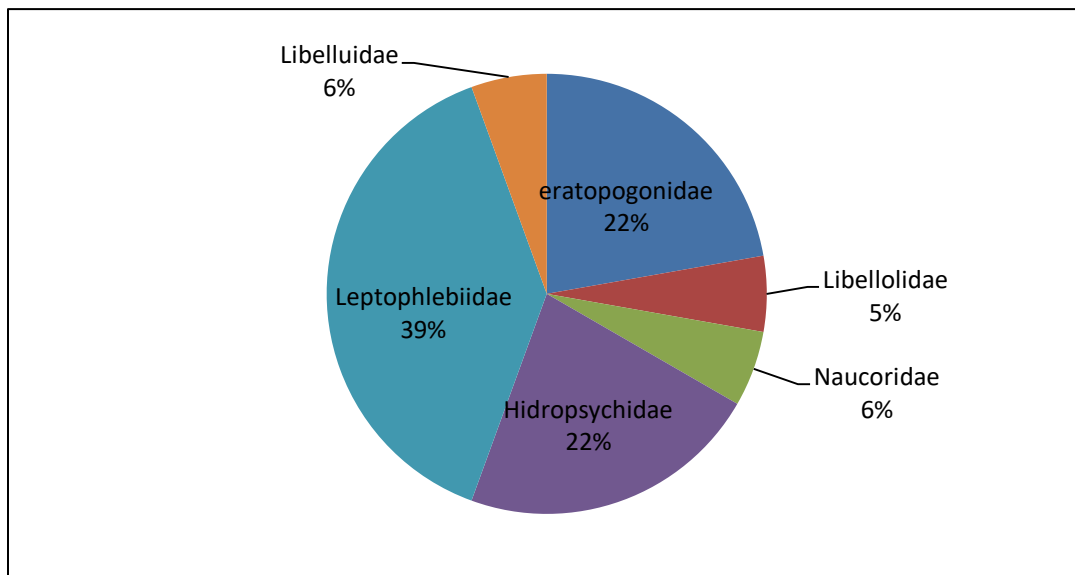
Gráfico 8 Macroinvertebrados estación número tres BP



Fuente: Elaboración propia

En esta estación ver (Gráfico 8) se puede identificar que la familia de macroinvertebrados con mayor predominancia, con un porcentaje importante, del orden del 67%, es la *Ceratopogonidae*. Es válido mencionar que estos organismos son especies que viven en aguas lenticas, es decir, aguas quietas o con una velocidad de escurrimiento bastante reducida. Para este caso se pudo comprobar que debido a las actividades de extracción material de arrastre se forman empalmamientos temporales sin entrada y salida de agua.

Gráfico 9 Macroinvertebrados estación número cuatro BP

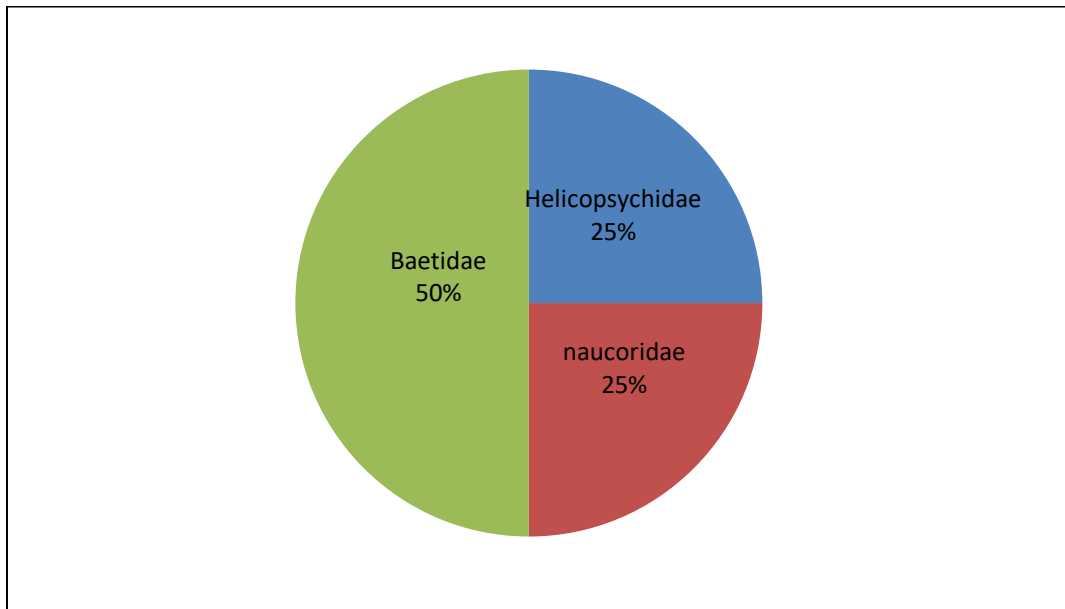


Fuente: Elaboración propia.

La gráfica anterior muestra que en esta estación, cerca del 80% de los organismos bioindicadores lo ocupan tres familias, Leptophlebiidae, Hidropsychidae, Ceratopogonidae, con porcentajes de 39, 22 y 22% correspondientemente. Este tipo de especies son características de aguas con escasos nutrientes, generalmente son individuos que se encuentran en aguas relativamente rápidas, y por ende con temperaturas bajas.

#### 4.4 SEGUNDO PERIODO DE TOMA DE MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS – ALTA PLUVIOSIDAD

Gráfico 10 Macroinvertebrados estación número dos AP



Fuente: Elaboración propia

En este punto de muestreo se hallaron solo tres familias, *Baetidae*, *Helicopsychidae* y *Naucoridae*, curiosamente el 50% lo ocupa la primera familia que es conocida por habitar en aguas limpias y con poca corriente, las dos restantes comparten por igual el otro 50%, y son familias que habitan aguas con bajo contenido de nutrientes.

#### Macroinvertebrados estación número tres AP

En esta estación se identificó la presencia de una sola familia de macroinvertebrados, *Gomphidae*, con un solo individuo, indicando así que el medio en que fue encontrado es un ambiente oligotrófico. Una de las características que se observó en la toma de esta muestra es que en este punto la zona presentaba un sustrato muy arenoso, y este no es un hábitat característico de los macroinvertebrados.



#### 4.5 APLICACIÓN DEL MÉTODO BMWP/COL - INDICADOR BIOLÓGICO

Una vez extraídos los macroinvertebrados en cada estación de muestreo en ambos periodos (1 BP y 2 AP), se procedió a realizar la identificación y clasificación de cada familia, para lo cual se utilizó la guía taxonómica de Roldan [29]. A partir de estos resultados se dispuso a aplicar el índice BMWP/COL obteniendo los siguientes puntajes:

Tabla 10: Aplicación y puntaje del BMWP/COL

Especie	Baja Pluviosidad –BP				Alta Pluviosidad –AP			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
Thiaridae	5	0	0	0	0	0	0	0
Creatopogonidae	3	0	0	0	0	0	0	0
Naucoridae	7	7	0	7	0	7	0	0
Leptophlebiidae	7	0	0	7	0	0	0	0
Hidropsychidae	5	7	0	7	0	0	0	0
Coenagrionidae	7	7	0	0	0	0	0	0
Gomphidae	10	10	0	0	0	0	10	0
Gelastocoidae	5	0	0	0	0	0	0	0
Dytiscidae	9	0	9	0	0	0	0	0
Psephenidae	0	10	0	0	0	0	0	0
Aeshnidae	0	6	0	0	0	0	0	0
Baetidae	0	7	7	0	0	7	0	0
Ceratopogonidae	0	0	3	3	0	0	0	0
Perlidae	0	0	10	0	0	0	0	0
Helicopsychidae	0	0	8	0	0	8	0	0
Libellulidae	0	0	0	6	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>58</b>	<b>54</b>	<b>37</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>22</b>	<b>10</b>	<b>0</b>

Fuente: Elaboración propia

Según el índice BMWP/COL el primer periodo de muestra correspondiente al de BP, la calidad de agua en las estaciones 1, 2 y 3 obtienen un puntaje de 58, 54 y 37 respectivamente, lo cual indica que el agua se encuentra en un nivel de calidad dudosa, es decir, aguas moderadamente contaminadas. Para la cuarta estación, de acuerdo con el puntaje obtenido de 30, estas aguas se encuentran en un estado crítico, es decir, aguas muy contaminadas.

Para el segundo periodo de muestreo de AP, el hallazgo de macroinvertebrados varía considerablemente, aquí solo se encontraron individuos en las estaciones

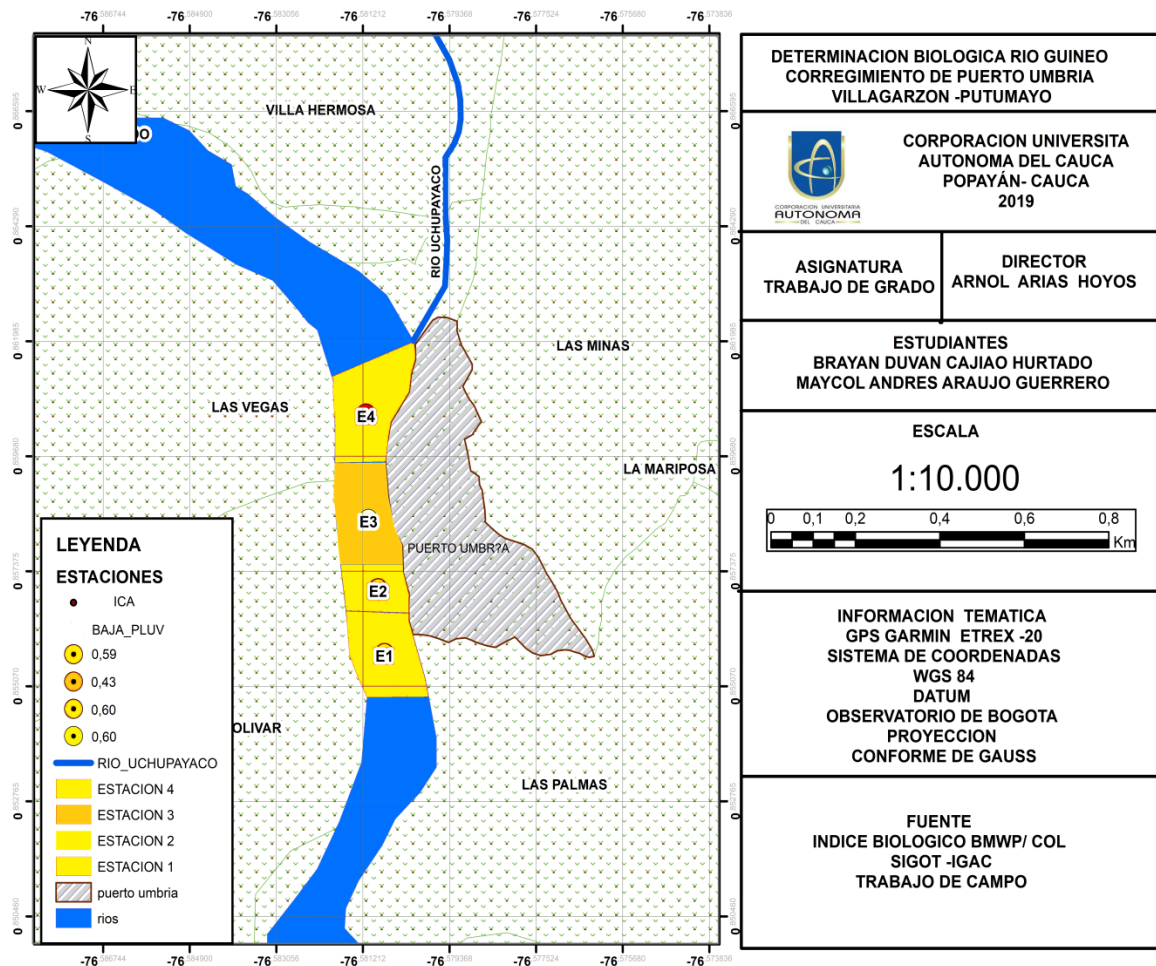
dos y cuatro, con 16 y un individuos, correspondientemente, para puntuaciones respectivas de 22 y 10 BMWP/COL, indicando así que las aguas para este periodo se encontraban en una condición bastante crítica, es decir, aguas muy contaminación. Con respecto a las estaciones uno y cuatro en donde no se halló ninguna especie de macroinvertebrados, la puntuación BMWP/COL obtenida fue de cero, es decir, aguas fuertemente contaminadas, o para este caso aguas con fuertes perturbaciones antrópicas a causa de la extracción de material de arrastre.

#### **4.6 ANÁLISIS MAPA CARTOGRÁFICO**

Se utiliza la cartografía como herramienta para identificar los niveles de contaminación en cada estación seleccionada, de acuerdo la calificación obtenida por el ICA y el puntaje del índice BMWP/COL. Este instrumento permite conocer los puntos más críticos identificados que posteriormente servirán para la toma de decisiones.

Obtenidos los datos en cada punto de muestreo, y mediante la calificación que otorga la aplicación del ICA, además del puntaje que se obtiene a través de la implementación de índice BMWP/COL se logró identificar el nivel de contaminación para luego ubicar en cada estación los diferentes niveles utilizando para ello diferentes colores reflejados en ( Tabla 5, Ilustración 3 ). La cartografía de las cuatro estaciones para cada índice en cada periodo (1 BP – 2 AP) se muestra en las ilustraciones 4, 5, 6 y 7.

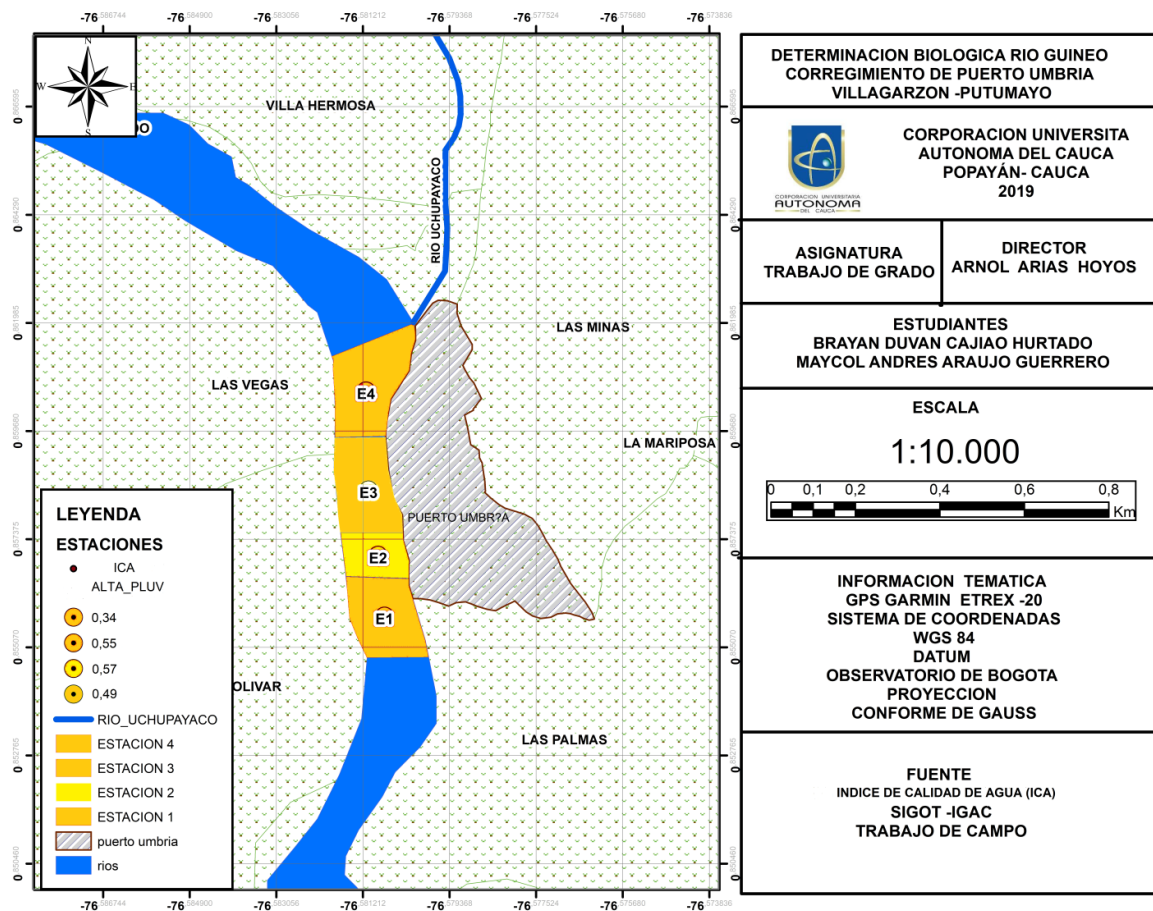
Ilustración 4: Calificación ICA – BP



Fuente:

En la ilustración anterior se aprecia la cartografía del ICA para el primer periodo de Baja Pluviosidad en donde se obtuvo como resultado que las estaciones 1, 2 y 4 arrojaron un valor promedio de 0.59 ubicándose así dentro del rango de 0,51 a 0,70 reflejando que para este valor el agua se encuentra en un estado regular con una señal de alerta color amarillo. Para la estación 3 con un valor de 0,43 el estudio muestra que la calidad del agua es mala al encontrarse dentro del rango de 0,26 a 0,50 dando así una señal de alerta naranja.

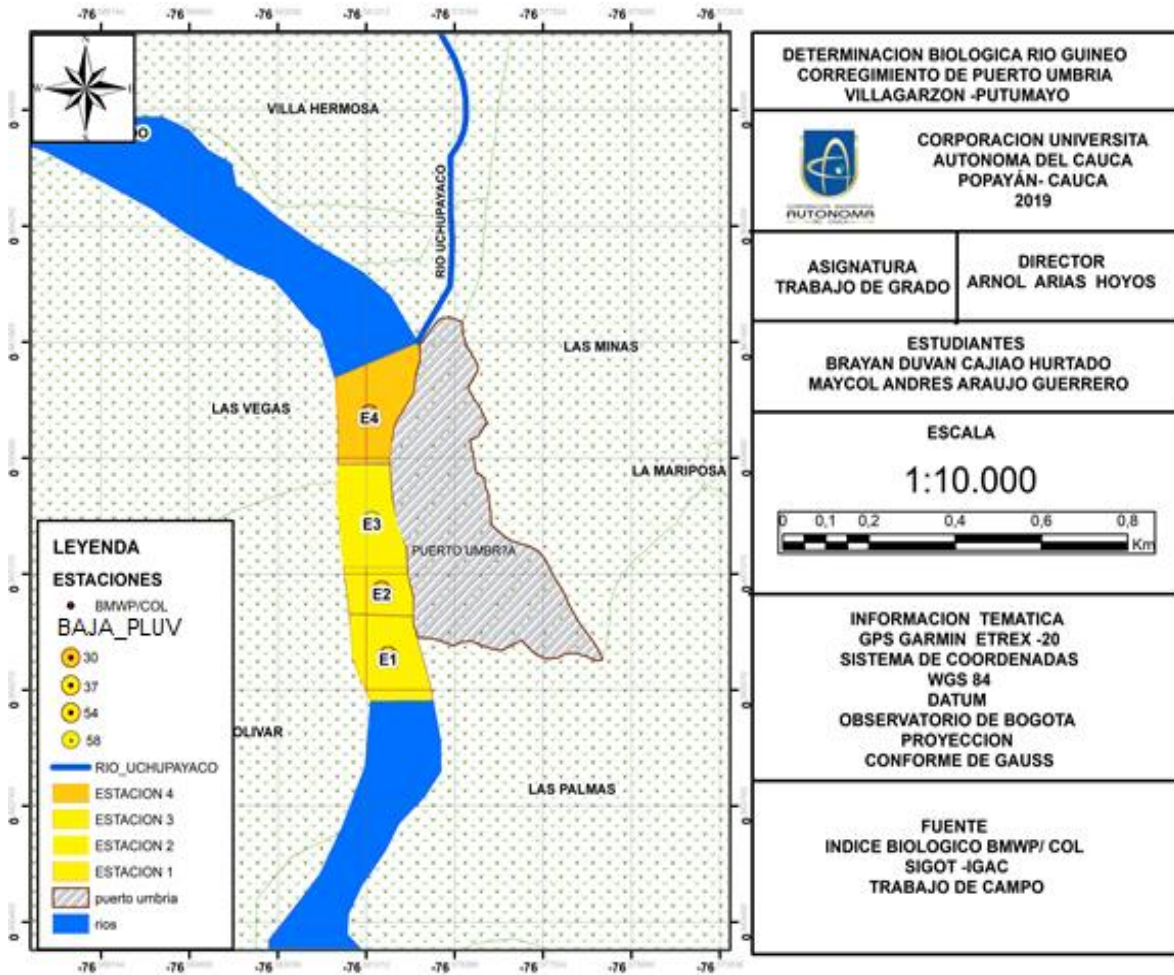
Ilustración 5: Calificación ICA – AP



Fuente:

La ilustración anterior muestra la cartografía del ICA para el segundo periodo de Alta Pluviosidad en donde se obtuvo como resultado que las estaciones 1, 3 y 4, arrojaron un valor promedio de 0.46, pasando de un estado de calidad de agua regular a un estado malo, con excepción de la estación 3 que conservó su estado malo. De igual manera, para la estación 2 con un valor de 0,57 el estudio muestra que la calidad del agua sigue siendo regular, al encontrarse dentro del rango de 0,51 a 0,70.

Ilustración 6: Calificación índice BMWP/COL – BP

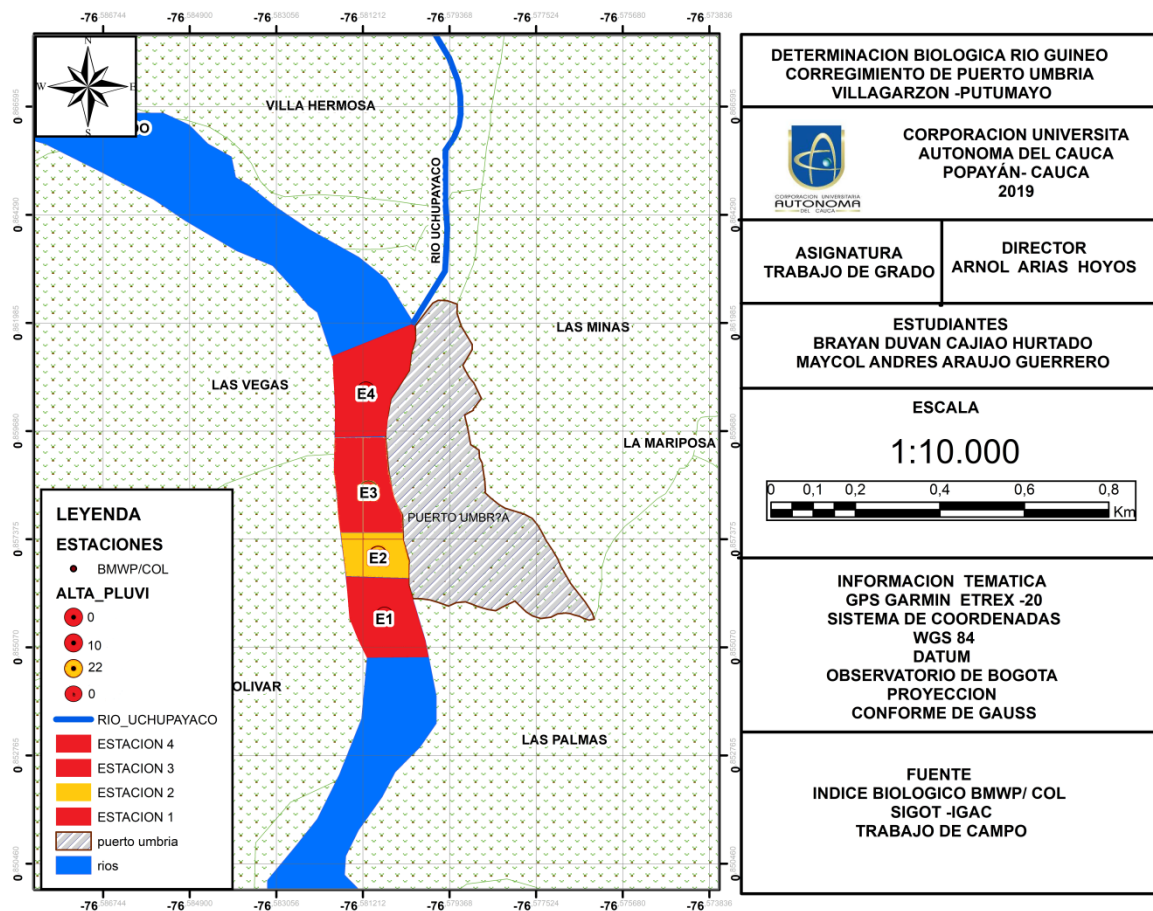


Fuente:

En la ilustración anterior se aprecia la cartografía del índice BMWP/COL para el primer periodo de Baja Pluviosidad en donde se obtuvo como resultado que las estaciones 1, 2 y 3, arrojaron un valor promedio de 49, ubicándose así dentro del rango de 36 a 60; lo cual precisa que el agua se encuentra en un estado dudoso, es decir, aguas moderadamente contaminadas.

Para la estación 4 con un valor de 30, el estudio muestra que la calidad del agua se encuentra en un estado crítico, es decir, aguas muy contaminadas, al ubicarse dentro del rango de 16 a 35.

Ilustración 7: Calificación del índice BMWP/COL – AP



En la ilustración 7 se muestra la cartografía del BMWP/COL para el segundo periodo de Alta Pluviosidad en donde se obtuvo como resultado que en las estaciones 1, 3 y 4, no se encontró ningún individuo, con excepción de la estación 3 donde solo se halló uno; arrojando así un valor promedio de 3.3 lo cual indica que las aguas se encuentran en un estado muy crítico, es decir, aguas fuertemente contaminadas, al obtener un valor por debajo de 15.

La estación 2 con un valor de 22, pasó de un estado dudoso a un estado crítico, es decir, aguas muy contaminadas, al encontrarse dentro del rango de 16 a 35.

#### 4.7 ANÁLISIS MATRIZ DE VESTER

En la identificación de las alteraciones presentes en el lugar de estudio se tiene en cuenta el grado de incidencia que tiene cada uno de los problemas entre ellos. Existen varias herramientas que pueden ayudar a conocer el problema primordial. En este estudio se realizó la matriz de Vester como herramienta principal para la identificación de la problemática de mayor importancia, para lo cual cada problema

se calificó según el grado de causa, tal y como se representa en el siguiente esquema:

Tabla 11 Evaluación Matriz de Vester

Problemas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Total activos
P1 Vertimientos ARnD	0	0	1	2	0	0	3	3	3	12
P2 Vertimientos ARD	0	0	2	2	0	0	3	2	3	12
P3 Erosion por alteracion y perdida de cobertura vegetal	0	0	0	3	0	0	0	3	0	6
P4 Perdida paisajistica	0	0	2	0	2	0	1	1	0	6
P5 Extraccion de material de arrastre	0	0	2	2	0	0	0	2	3	9
P6 Falta de servicios de acueducto y alcantarillado(zona rural)	3	3	0	0	0	0	0	1	3	10
P7 Falta de educacion ambiental	3	3	2	3	0	2	0	3	3	19
P8 Desplazamiento de fauna y flora	0	0	1	2	0	0	3	0	0	6
P9 Alteracion de las propiedades fisicoquimicas y biologicas del agua	0	0	0	2	0	0	0	2	0	4
Total pasivos	6	6	10	16	2	2	10	17	15	

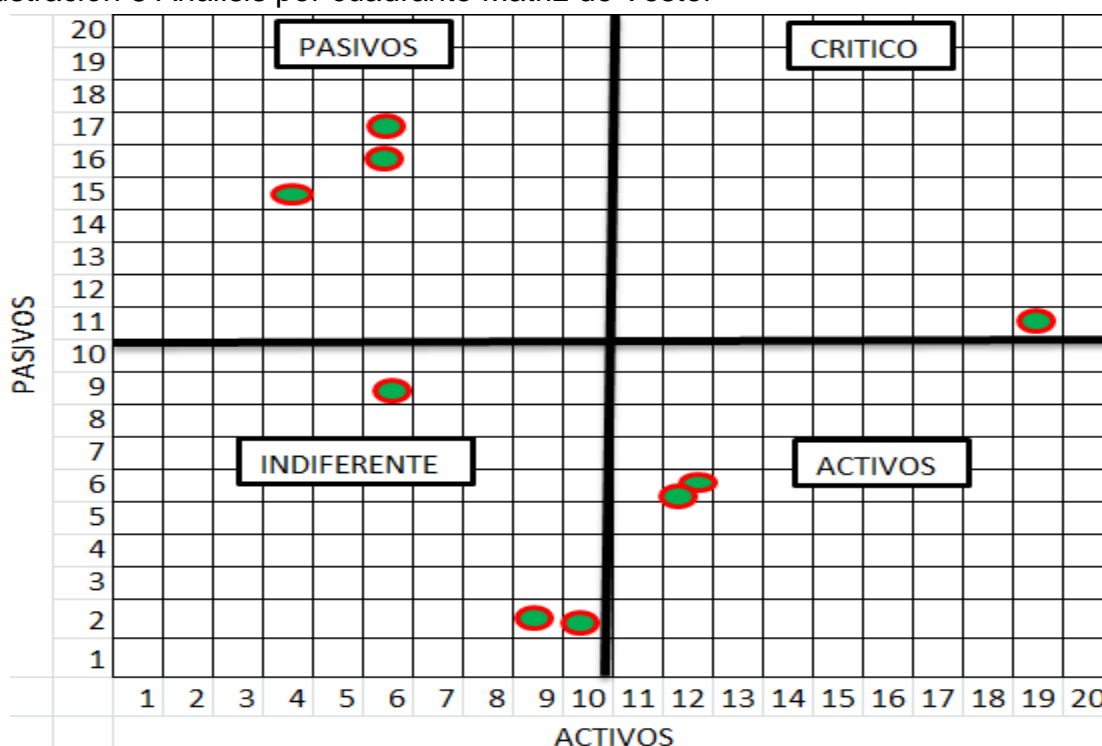
Fuente: Elaboración propia

Según el puntaje obtenido por cada problemática relacionada, total pasivos y activos, son calificados en cuatro puntos específicos (activos, indiferentes, pasivos, críticos), en donde se identificó el nivel de cuidado que se debe tener sobre cada problema, según la interpretación de cada cuadrante.

Problemáticas como vertimientos de Aguas Residuales no Domésticas (ARnD) y vertimiento de Aguas Residuales Domésticas (ARD) son situaciones que se clasifican en los cuadrantes activos como condiciones claves ya que son causa primaria del problema central y por ende requieren de atención y manejo eficiente.

La extracción de material de arrastre, la falta de servicio de acueducto y alcantarillado, la erosión y pérdida de cobertura vegetal son problemas considerados de baja prioridad pero que requieren un adecuado manejo. La degradación paisajística por el desplazamiento de flora y fauna, la alteración a las propiedades fisicoquímicas y biológicas del agua también requieren gran cuidado en su análisis y manejo ya que de su estado depende en gran medida las intervenciones antrópicas que se le dan a la fuente hídrica.

Ilustración 8 Análisis por cuadrante Matriz de Vester



Fuente: Elaboración propia

A través de la elaboración de la matriz de Vester se pudo identificar que la falta de educación ambiental (total activos 19) por parte de los habitantes del corregimiento de Puerto Umbría es la causa principal de la problemática que aqueja la hoya hidrográfica objeto de estudio.

#### 4.8 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL CONTROL DE LOS IMPACTOS GENERADOS EN LA MICROCUCENCA

Es preciso plantear programas de mejoramiento con el propósito de implementar un plan sostenido de recuperación de la calidad ambiental de la microcuenca Rio Guineo. Estos programas surgen a partir de los resultados obtenidos en los análisis de la matriz de Vester y los estudios realizados en el laboratorio (físicoquímicos – biológicos), a partir de lo cual propone desarrollar acciones que permitan alcanzar un desarrollo sostenible dicha microcuenca. Los programas propuestos se relacionan a continuación:

**Programa 1:** Control de vertimiento de ARD a través del diseño e implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), lo cual busca contribuir a la protección de la microcuenca Rio Guineo.



Tabla 12: Programa 1

SUBPROGRAMAS	ACCIONES	RESPONSABLES
Intervención de la microcuenca del Rio Guineo	<p>Apoyar la integración del análisis y estado actual de la microcuenca, en el marco de estudios fisicoquímicos y biológicos.</p> <p>Tiempo de ejecución: a mediano plazo empleándose cada 3 meses.</p>	CORPOAMAZONIA, Alcaldía del Municipio de Villagarzón
	<p>Desarrollar un mecanismo para acoger las prescripciones de diseño y construcción con base a la población del corregimiento y hacer un seguimiento a su aplicación.</p> <p>Tiempo de ejecución: a largo plazo que con una extensión de cada 5 años para así obtener información sobre el crecimiento poblacional del corregimiento tanto en la zona urbana como rural.</p>	
	<p>Realizar el Análisis de las necesidades para el control de la microcuenca del rio Guineo tiempo de ejecución: cada 3 meses donde se realizará campañas para el cuidado de la microcuenca</p>	

Actualización y control de normas y códigos de construcción.	Ajustar los códigos de construcción nacionales entorno al corregimiento, con base a la necesidad presentada en el corregimiento. Tiempo de ejecución: largo plazo donde se tendrá en cuenta la actualización de las normas de construcción nacionales en un periodo de tiempo de 4 años.	CORPOAMAZONIA
	Ejecutar el control en la fase previa a la licencia de construcción (planos – diseños). Tiempo de ejecución: a largo plazo	
	Incluir la participación de la comunidad y el sector privado. Tiempo de ejecución: corto plazo donde se realizarán campañas cada mes	
	Implementar cursos de capacitación en operación y manejo de PTAR. Tiempo de ejecución: a largo plazo desarrollando esta actividad 1 vez al año.	

Fuente: Elaboración propia

**Programa 2:** Mejorar paisajísticamente la zona de la microcuenca Rio Guineo

Tabla 13: Programa 2

SUBPROGRAMAS	ACCIONES	RESPONSABLES
Presupuesto	Asignar recursos del corregimiento de Puerto Umbría para mejorar paisajísticamente la microcuenca del Rio Guineo. Tiempo de ejecución: a corto plazo en las que se desarrollara dos actividades beneficiarias 1 vez al mes.	CORPOAMAZONIA Juntas de Acción Comunal (JAC)
	Implementar acciones de protección ambiental en los componentes de flora y fauna. Tiempo de ejecución: a mediano plazo durante el periodo de 3 veces al año.	
	Involucrar a la comunidad sobre la implementación y jornadas de reforestación de la microcuenca. Tiempo de ejecución: a mediano plazo desarrollándose así con capacitaciones por barrio 1 vez al mes.	
	Incorporar especies nativas arbóreas, (Chiparo) en la microcuenca del Rio Guineo. Tiempo de ejecución: a largo plazo en el que se enviara a los entes ambientales oficios solicitando donaciones de especies arbóreas para realizar la actividad de siembra con la comunidad 2 veces al año con una cantidad de 200 especies.	

Fuente: Elaboración propia

**Programa 3:** Realizar campañas de educación ambiental para la protección de la microcuenca del Río Guineo y contribuir con el desarrollo de la comunidad.

Tabla 14: Programa 3

<b>SUBPROGRAMAS</b>	<b>ACCIONES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Implementación de técnicas de control y cuidado de la microcuenca.	<p>Identificar los puntos críticos que requieren cuidado.                      Tiempo de ejecución: a corto plazo en el que se tendrá en cuenta la participación de la comunidad del corregimiento a un mes aproximadamente</p> <p>Informar e involucrar las comunidades en el cuidado y buen uso de la microcuenca, a través del fortalecimiento del conocimiento de la comunidad.                      Tiempo de ejecución: a mediano plazo en el que se realizara campañas sobre protección y cuidado de la microcuenca con un periodo aproximado cada 2 meses.</p>	CORPOAMAZONIA. Juntas de Acción Comunal (JAC)
Preparación y capacitación de la comunidad.	<p>Recopilar y difundir el material existente sobre el estudio realizado en la microcuenca.                      Tiempo de ejecución: a mediano plazo en el que se realizara estudios de la microcuenca cada 3 meses para que los habitantes tomen conciencia de la problemática actual de esta.</p>	CORPOAMAZONIA. Juntas de Acción Comunal (JAC)

	<p>Desarrollar técnicas que ayuden a adquirir mejor la información acerca de las problemáticas que los rodean.</p> <p>Tiempo de ejecución: a mediano y a largo plazo</p>	
--	--	--

Fuente: Elaboración propia

**Programa 4:** Implementación de baños secos [28] para las zonas rurales del corregimiento de Puerto Umbría

Tabla 15: Programa 4

SUBPROGRAMAS	ACCIONES	RESPONSABLES
Planificación para la implementación y construcción	<p>Verificar la formulación y actualización de los planes de continuidad de operaciones de las entidades, y realizar su revisión periódica.</p> <p>Tiempo de ejecución: a largo plazo</p>	CORPOAMAZONIA Juntas de Acción Comunal (JAC), gobernación y alcaldía de Villagarzon.
	<p>Formular un Plan de Acción Específico para el control de la microcuenca del Rio Guineo, conforme los escenarios de riesgo posibles o priorizados.</p> <p>Tiempo de ejecución: a mediano plazo</p>	
	<p>Realizar el Análisis de las necesidades de la zona rural para el control de la microcuenca con base en los escenarios de riesgo.</p> <p>Tiempo de ejecución: a largo plazo</p>	
Localización y movilización de recursos de	Asignar recursos para la implementación de baños ecológicos en la zona rural del	CORPOAMAZONIA Juntas de Acción Comunal (JAC),

presupuesto y funcionamiento de los baños ecológicos	<p>corregimiento de Puerto Umbría.          Tiempo de ejecución: a largo plazo donde se implementará diferentes actividades y oficios para su desarrollo</p>	<p>Gobernación y alcaldía de villagarzon.</p>
	<p>Establecer incentivos por la implementación de esta tecnología presupuesto público.          Tiempo de ejecución: a mediano a la medida que este ejecutado los baños ecológicos en las veredas</p>	
	<p>Realizar campañas en la zona rural sobre el funcionamiento de esta tecnología los beneficios ambientales y sociales que traen a la región. A corto plazo realizando desplazamientos a las veredas y realizar campañas de concientización por familia semanalmente.</p>	

Fuente: Elaboración propia

## 5 CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

La aplicación de parámetros fisicoquímicos, análisis e interpretación de los ICA permiten tener un concepto técnico del recurso hídrico el cual puede ser tomado como insumo para la toma de decisiones frente a la forma de potabilización o cualquier otro uso de este recurso; procedimiento realizado en el desarrollo de esta investigación y mediante el cual se pudo identificar las condiciones físicas y químicas que presenta la microcuenca del Río Guineo corresponden a un agua mayoritariamente regular en un periodo de Baja Pluviosidad –BP, y a un agua mala en condiciones de Alta Pluviosidad –AP.

El método biológico de índice BMWP/COL atribuye puntajes a la evaluación de la calidad del agua, en cuyo procedimiento se logró identificar las condiciones del agua a partir del hallazgo de determinadas especies de macroinvertebrados, concluyendo así que la clasificación del agua para el Río Guineo corresponde a un agua entre moderada y muy contaminada.

La identificación de los tensores ambientales a partir de la matriz Vester permitió evaluar la incidencia de cada acción sobre el cuerpo de agua, siendo esencial para determinar los problemas de mayor relevancia que se presentan sobre la microcuenca para así proponer las alternativas necesarias para el manejo y uso adecuado del agua. Así pues, mediante la implementación de esta matriz se pudo identificar que la problemática más incidente es la falta de educación ambiental por parte de la comunidad de Puerto Umbría.

La aplicación de los métodos biológicos y fisicoquímicos en la evaluación de la calidad del agua del Río Guineo dieron resultados similares en cuanto a aguas medianamente contaminadas lo que permitió identificar las alteraciones actuales del ecosistema, las cuales se tomaron como punto de partida para proponer diferentes alternativas de solución.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

La presente investigación permitió generar información técnica, actualizada y detallada sobre las condiciones del Rio Guineo, razón por la cual se considera pertinente dar parte a la autoridad ambiental de la región (CORPOAMAZONIA) y a las entidades gubernamentales como son la Alcaldía de Villagarzón y la Gobernación del Putumayo para que se inicien los procesos adecuados para la planificación del buen manejo del agua que conduzcan a la protección, conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales de la microcuenca objeto de estudio.

Gestionar un proceso de seguimiento a las políticas y regulaciones ambientales de planificación hídrica que la microcuenca debe recibir por parte de la autoridad ambiental regional (CORPOAMAZONIA), para lo cual es necesario que en cumplimiento a la normatividad ambiental vigente se brinde un concepto técnico que permita la estructuración de un instrumento de planificación que garantice la conservación de la corriente hídrica, ya que es de vital importancia tras prestar el servicio de abastecimiento de agua, brindar espacios de recreación, ecoturismo y esparcimiento.

Se recomienda las autoridades ambientales y gubernamentales para que se lleve a cabo la ejecución de los programas de recuperación de la microcuenca Rio Guineo formulados en esta investigación.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Ramirez., R. Restrepo, and G. Viña, “Cuatro índices de contaminación,” *Tecnol. y Futur.*, vol. 1, no. 3, pp. 135–153, 1997.
- [2] B. R. Abril, L. Rodríguez, D. Sucoshañay, and E., “Caracterización preliminar de calidad de aguas en subcuenca media del río Puyo,” vol. 38, no. 2, pp. 59–72, May 2017.
- [3] A. Bustamante-González, G. Galindo-De Jesús, J. L. Jaramillo-Villanueva, and S. Vargas-López, “Percepción de la contaminación del río tlapaneco por la población ribereña.,” *Publ. como ARTÍCULO en ASyD*, vol. 13, no. 1, pp. 47–62, 2016.
- [4] IGAC, “Sistema de Información Geográfica para la planeación y el Ordenamiento Territorial,” *SIG-OT Colombia*. [Online]. Available: <https://sigot.igac.gov.co/>. [Accessed: 07-Mar-2020].
- [5] M. Ospina, M. Beltran, G. Nava, and L. Osorio, and M. Gonzalez, “Estado de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia,” *Inst. Nac. Salud*, no. 138, pp. 1–144, 2016.
- [6] A. José *et al.*, “Evaluación regional del impacto antropogénico sobre aire, agua y suelo. caso: huasteca hidalguense, México,” *Rev. Int. Contam. Ambie*, vol. 26, no. 3, pp. 229–251, 2010.
- [7] R. Agudelo, “El agua, recurso estratégico del siglo XXI,” *Rev. Fac. Nac. Salud Publica*, vol. 23, no. 1, pp. 1–12, 2005.
- [8] M. P. Valencia Rojas *et al.*, “Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática.,” *Methodol. Anal. vulnerability to water watershed supplying Clim. Var.*, vol. 13, no. 25, pp. 29–43, 2014.
- [9] Y. Rincón, D. Daza, and W. Castrillón, “Diagnóstico actual de los parámetros fisicoquímicos como indicadores de contaminación ambiental en el río Apulo, Cundinamarca-Colombia,” *Rev. Tecnura*, vol. 15, no. 28, pp. 53–67, 2011.
- [10] G. Roldan, “Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica,” *Rev. la Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.*, vol. 40, no. 155, p. 254, Jul. 2016.
- [11] N. Eugenia, S. Ruiz, Y. Carvajal Escobar, and J. C. Escobar, “A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators,” *Ing. e Investig.*, vol. 27, no. 3, pp. 172–181, 2010.
- [12] R. N. E. Samboni, E. Y. Carvajal, and J. C. Escobar, “Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua,” *Rev. Ing. e Investig.*, vol. 27, no. 3, pp. 172–181, 2007.
- [13] A. Gómez, D. Naranjo, and A. Martínez, and D. Gallego, “Calidad de agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y el Salado (Girardota -Antioquia-Colombia),” *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, vol. 60, no. 1, pp. 3735–3749, 2000.
- [14] S. G. Maritza González, Y. Paulina Ramírez, A. S. María Meza, and L. G. Dias, “Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del Municipio de Manizales.,” *Boletín científico Mus. Hist. Nat.*, vol. 16, no. 2, pp. 135–148, 2012.

- [15] D. Lopez, A. Figueroa, and C. Corrales, "Un mapeo sistemático sobre predicción de calidad del agua mediante técnicas de inteligencia computacional," *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 15, no. 28, pp. 35–52, 2016.
- [16] F. García, C. Palacio, and U. Garcia, "calidad del agua en el área costera de santa marta (Colombia)," *García al*, vol. 79, no. 173, pp. 85–94, 2012.
- [17] P. Torres, C. H. Cruz, P. Patiño, J. Carlos Escobar, and A. Pérez, "Aplicación de índices de calidad de agua-ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano," En español, 2010.
- [18] J. D. Gutiérrez, W. Riss, and R. Ospina, "Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales," *Linmonología*, vol. 26, no. 1, pp. 151–160, 2004.
- [19] D. Suarwz, L. Orjuela, and D. M., "MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS , DETERMINACIÓN TAXONÓMICA-CONTEO," República de Colombia, 2006.
- [20] L. Orjuela and M. Lopez, "Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)," Bogota DC, 2011.
- [21] D. Betancourt, "Matriz de vester para la priorización de problemas," *Ingenio Empresa*, 2016. [Online]. Available: <https://ingenioempresa.com/matriz-de-vester/>. [Accessed: 31-Mar-2020].
- [22] D. Betancourt and J. Lozano, "Decreto numero 1575 DE 2007," Bogota, 2007.
- [23] "Resolución 631 de 2015," *ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*, 2015. [Online]. Available: [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf). [Accessed: 04-Mar-2020].
- [24] Ministerio de Salud -, "Decreto 0475 de 1998," *D. Of.*, vol. 1998, no. 43, p. 14, 1998.
- [25] D. Palacio and J. Lozano, "Resolución Número 2115 de 2007," *Minambiente*, p. 23, 2007.
- [26] "Puerto Umbría - Departamemnto del Putumayo - Pueblos de colombia," *pueblos20.net*. [Online]. Available: <http://pueblos20.net/colombia/departamemnto-del-putumayo/puerto-umbria.html>. [Accessed: 06-Mar-2020].
- [27] S. Edgar and M. D. Ospina, "Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores," *ilnstituto humboldt Colomb.*, no. 05, pp. 1–263, 2005.
- [28] L. Gutiérrez, B. Nicolás, and V. Rodríguez, "Implementación de baño compostero," Bogota , 2019.
- [29] P. Roldan, Gabriel. Bioindicacion de la calidad de agua en Colombia. Uso del metodo BMWP/Col. Ed Universidad de Antioquia. 170pp. Medellin, Colombia. 2003.

## ANEXOS

Anexo A: Punto de muestreo número 1, parámetros fisicoquímicos de la caracterización del agua

Parámetro fisicoquímico	OD	pH	CONDUCTIVIDAD	T	FOSFATOS	NITRATOS	NITRITOS	TURBIDEZ	DQO
Unidad de medida	mg/l	—	US	°C	mg/l	mg/l	mg/l	NTU	mg/lO <sub>2</sub>
Punto de muestreo 1	6,58	6,73	30,8	11	0,2	1,0	0,05	31,6	4,58
Punto de muestreo 2	6,53	7,02	22,5	12	0,2	1,0	0,04	32,0	
Dato promedio	6,55	6,87	26,65	11,5	0,2	1,0	0,045	31,8	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo B. Punto de muestreo número 2 Parámetros fisicoquímicos de la Caracterización del agua.

Parámetro fisicoquímico	OD	pH	CONDUCTIVIDAD	T	FOSFATOS	NITRATOS	NITRITOS	TURBIDEZ	DQO
Unidad de medida	mg/l	—	US	°C	mg/l	mg/l	mg/l	NTU	mg/lO <sub>2</sub>
Punto de muestreo 1	6,60	6,82	50,7	14	0,5	1,0	0,03	25,5	1,09
Punto de muestreo 2	6,72	6,79	24,8	13	1,0	1,0	0,03	23,1	
Dato promedio	6,66	6,80	37,75	13,5	0,75	1,0	0,03	24,3	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C. Punto de muestreo número 3 Parámetros fisicoquímicos de la caracterización del agua.

Parámetro fisicoquímico	OD	pH	CONDUCT	T	FOSFATOS	NITRATOS	NITRITOS	TURBIDEZ	DQO
Unidad de medida	mg/l	—	US	°C	mg/l	mg/l	mg/l	NTU	mg/lO <sub>2</sub>
Punto de muestreo 1	6,70	6,86	36,1	13	0,3	1,0	0,03	34,8	0,0
Punto de muestreo 2	6,66	6,85	44,5	15	0,3	1,0	0,02	20,2	
Dato	6,68	6,85	40,3	14	0,3	1,0	0,025	27,5	

promedio									
----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

Anexo D. Puntos de muestreo número 4 Parámetros fisicoquímicos de la Caracterización del agua.

Parámetro fisicoquímico	OD	pH	CONDU C	T	FOSFATO S	NITRATO S	NITRITO S	TURBIDE Z	DQ O
Unidad de medida	mg/l	—	US	°C	mg/l	mg/l	mg/l	NTU	mg/lO <sub>2</sub>
Punto de muestreo 1	6,54	7,02	42,3	14	0,4	1,1	0,04	19,3	0,87
Punto de muestreo 2	6,65	6,91	34,6	15	0,4	1,1	0,03	19,4	
Dato promedio	6,59	6,96	76,9	14,5	0,4	1,1	0,035	19,35	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo E. Punto de muestreo número 1 datos para el cálculo de caudal.

Variables	N° de datos	Datos	
Profundidad (m)	1	1,60	
	2	1,41	
	3	0,83	
	4	0,52	
	<b>Promedio</b>	<b>1,09</b>	
Tiempo (s)	1	6,39	Distancia 5 (m)
	2	7,09	
	3	6,98	
	4	7,36	
	<b>Promedio</b>	<b>6,95</b>	
Velocidad (m/s)		0,71	
Ancho (m)		49,50	
Área (m <sup>2</sup> )		53,95	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)		38,30	

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}$$

$$V = \frac{5 \text{ m}}{6,95 \text{ s}} = 0,71 \text{ m/s}$$

$$\text{Area} = \text{base} \times \text{altura}$$

$$A = b \times h$$

$$A = 49,50 \text{ m} \times 1,09 \text{ m} = 53,95 \text{ m}^2$$

Caudal (Q) = Area x velocidad

$$Q = 53,95 \text{ m}^2 \times 0,71 \text{ m/s} = 38,30 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Anexo F. Punto de muestreo número 2 para el cálculo del caudal

Variables	N° de datos	Datos	
Profundidad (m)	1	0,21	
	2	0,86	
	3	0,86	
	4	1,14	
	<b>Promedio</b>	<b>0,76</b>	
Tiempo (s)	1	5,25	Distancia 5 (m)
	2	5,73	
	3	5,93	
	4	5,81	
	<b>Promedio</b>	<b>5,68</b>	
Velocidad (m/s)		0,88	
Ancho (m)		72,40	
Área (m <sup>2</sup> )		55,02	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)		48,41	

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}$$

$$V = \frac{5 \text{ m}}{5,68 \text{ sg}} = 0,88 \text{ m/s}$$

Area = base x altura

$$A = b \times h$$

$$A = 72,40 \text{ m} \times 0,76 \text{ m} = 55,02 \text{ m}^2$$

Caudal (Q) = Area x velocidad

$$Q = 55,02 \text{ m}^2 \times 0,88 \text{ m/sg} = 48,41 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Anexo G. Punto de muestreo número 3 para el cálculo del caudal.

<b>Variables</b>	<b>N° de datos</b>	<b>Datos</b>	
Profundidad (m)	1	2,80	
	2	1,50	
	3	0,95	
	4	0,39	
	<b>Promedio</b>	<b>1,41</b>	
tiempo (s)	1	8,77	Distancia 5 (m)
	2	9,47	
	3	9,65	
	4	8,99	
	<b>Promedio</b>	<b>9,22</b>	
Velocidad (m/s)		0.54	
Ancho		38,30 m	
Área (m <sup>2</sup> )		54	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)		29.16	

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}$$

$$V = \frac{5 \text{ m}}{9,22 \text{ sg}} = 0,54 \text{ m/sg}$$

Area = base x altura

$$A = b \times h$$

$$A = 38,30 \text{ m} \times 1,41 \text{ m} = 54 \text{ m}^2$$

Caudal (Q) = Area x velocidad

$$Q = 54 \text{ m}^2 \times 0,54 \text{ m/s} = 29,16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Anexo H. Punto de muestreo número 4 para el cálculo de caudal.

<b>Variables</b>	<b>N° de datos</b>	<b>Datos</b>	
Profundidad (m)	1	1,67	
	2	0,70	
	3	0,83	
	4	0,87	
	<b>Promedio</b>	<b>1,01</b>	
Tiempo (s)	1	4,72	Distancia 5 (m)
	2	4,50	
	3	4,35	
	4	4,48	
	<b>Promedio</b>	<b>4,51</b>	
Velocidad (m/s)		1.10	
Ancho		26 m	
Área (m <sup>2</sup> )		26,26	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)		28,88	

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}$$

$$V = \frac{5 \text{ m}}{4,51 \text{ sg}} = 1,10 \text{ m/s}$$

Area = base x altura

$$A = b \times h$$

$$A = 26\text{m} \times 1,01\text{m} = 26,26 \text{ m}^2$$

Caudal (Q) = Area x velocidad

$$Q = 26,26 \text{ m}^2 \times 1,10 \text{ m/s} = 28,88 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Anexo I. Cálculo del valor de cada variable según el ICA.

Oxígeno disuelto (OD)

**Muestras mes 1 BP**

**Estación 1**

OD: 6.55 % saturación: 70

$$PS_{OD} = \frac{O_x * 100}{C_p}$$

$$PS_{OD} = \frac{6.55 * 100}{70} = 9.36$$

***I*<sub>OD</sub>**

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 9.36) = 0.0936$$

## **Estación 2**

OD: 6.7 % saturación: 70

$$PS_{OD} = \frac{O_x * 100}{C_p}$$

$$PS_{OD} = \frac{6.7 * 100}{70} = 9.57$$

***I*<sub>OD</sub>**

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 9.57) = 0.096$$

## **Estación 3**

OD: 7 % saturación: 70

$$PS_{OD} = \frac{O_x * 100}{C_p}$$

$$PS_{OD} = \frac{7 * 100}{70} = 10$$

***I*<sub>OD</sub>**

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 10) = 0.10$$

## **Estación 4**

OD: 6.6 % saturación: 70

$$PS_{OD} = \frac{O_x * 100}{C_p}$$

$$PS_{OD} = \frac{6.6 * 100}{70} = 9.4$$

***I*<sub>OD</sub>**

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 9.4) = 0.094$$



## Muestras mes 2 AP

### Estación 1

OD: 6.47 % saturación: 70

$$PS_{OD} = \frac{O_X * 100}{C_P}$$

$$PS_{OD} = \frac{6.47 * 100}{70} = 9.2$$

**$I_{OD}$**

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 9.2) = 0.092$$

### Estación 2

OD: 6.8 % saturación: 70%

$$PS_{OD} = \frac{O_X * 100}{C_P}$$

$$PS_{OD} = \frac{6.8 * 100}{70} = 9.7$$

**$I_{OD}$**

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 9.7) = 0.97$$

### Estación 3

OD: 6.85 % saturación: 70%

$$PS_{OD} = \frac{O_X * 100}{C_P}$$

$$PS_{OD} = \frac{6.85 * 100}{70} = 9.8$$

**$I_{OD}$**

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 9.8) = 0.1$$

### Estación 4

OD: 1.56 % saturación: 70

$$PS_{OD} = \frac{O_X * 100}{C_P}$$

$$PS_{OD} = \frac{1.56 * 100}{70} = 2.2$$

$I_{OD}$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 2.2) = 0.022$$

Anexo J. Valores  $I_{OD}$  según la DQO mes 1 BP

ESTACIONES	DATOS DQO (mg/L)	$I_{DQO}$
Estación 1	4.58	0.91
Estación 2	1.04	0.91
Estación 3	0	0.91
Estación 4	0.9	0.91

Fuente: Elaboración propia

Anexo K. Valores  $I_{OD}$  según la DQO mes 2 AP

ESTACIONES	DATOS DQO (MG/L)	$I_{DQO}$
Estaciones 1	38	0.51
Estaciones 2	20	0.71
Estaciones 3	25	0.71
Estaciones 4	132	0.125

Fuente: Elaboración propia

Anexo L. Resultados pH mes 1

ESTACIONES	pH	formula $I_{PH}$	RESULTADO
Estaciones 1	6.87	$I_{PH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$	0.93
Estaciones 2	6.8	$I_{PH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$	0.90
Estaciones 3	7.0	$I_{PH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$	1.00
Estaciones 4	7.0	$I_{PH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$	1.00

Fuente: Elaboración propia

Anexo M. Resultados pH mes 2

Estaciones	pH	$I_{PH}$	Resultado
Estación 1	6.6	$I_{PH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$	0.81
Estación 2	7.0	$I_{PH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$	1.00
Estación 3	6.65	$I_{PH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$	0.83
Estación 4	6.0	$I_{PH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$	0.59

Fuente: Elaboración propia

Anexo N. Resultados conductividad eléctrica mes 1

Estaciones	Conductividad eléctrica (CE)	$I_{CE}$	Resultados
Estación 1	26.7	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26+1.34*\log_{10}*CE)}$	0.95
Estación 2	37.8	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26+1.34*\log_{10}*CE)}$	0.92
Estación 3	0	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26+1.34*\log_{10}*CE)}$	0.00
Estación 4	77	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26+1.34*\log_{10}*CE)}$	0.81

Fuente: Elaboración propia

Anexo O. Resultados conductividad eléctrica mes 2

Estaciones	Conductividad eléctrica (CE)	$I_{CE}$	Resultados
Estación 1	25.60	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26+1.34*\log_{10}*CE)}$	0.96
Estación 2	46.00	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26+1.34*\log_{10}*CE)}$	0.91
Estación 3	26.60	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26+1.34*\log_{10}*CE)}$	0.95
Estación 4	114.35	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26+1.34*\log_{10}*CE)}$	0.68

Fuente: Elaboración propia

**Datos por muestreo: Mes 1 AP**

Anexo P. Resultados generales Baja Pluviosidad mes 1 estación 1.

ESTACIÓN 1		
PARÁMETRO	$I_{OD}$	PONDERADO
Oxígeno Disuelto	0.094	0.2
<i>pH</i>	0.93	
DQO	0.91	
NT/PT	0.15	
CE	0.96	

Fuente: Elaboración propia

$$ICA = (0.2 * 0.094) + (0.2 * 0.93) + (0.2 * 0.91) + (0.2 * 0.15) + (0.2 * 0.96) = 0.60$$

ICA = 0.60 PARTE BAJA AGUA REGULAR

Anexo Q. Resultados generales Baja Pluviosidad mes 2

ESTACIÓN 2		
PARÁMETRO	$I_{OD}$	PONDERADO
Oxígeno Disuelto	0.096	0.2
<i>pH</i>	0.90	
DQO	0.91	
NT/PT	0.15	
CE	0.92	

Fuente: Elaboración propia

$$ICA = (0.2 * 0.096) + (0.2 * 0.90) + (0.2 * 0.91) + (0.2 * 0.15) + (0.2 * 0.92) = 0.60$$

*ICA = 0.60 PARTE BAJA AGUA REGULAR*

Anexo R. Resultados generales Baja Pluviosidad mes 1 estación 3

ESTACIÓN 3		
PARÁMETRO	$I_{OD}$	PONDERADO
Oxígeno Disuelto	0.10	0.2
<i>pH</i>	1.00	
DQO	0.91	
NT/PT	0.15	
CE	0	

Fuente: Elaboración propia

$$ICA = (0.2 * 0.10) + (0.2 * 1.00) + (0.2 * 0.91) + (0.2 * 0) + (0.2 * 0.15) = 0.43$$

*ICA = 0.43 agua mala*

Anexo S. Resultados generales Baja Pluviosidad mes 1 estación 4.

ESTACIÓN 4		
PARÁMETRO	$I_{OD}$	PONDERADO
Oxígeno Disuelto	0.094	0.2
<i>pH</i>	1.00	
DQO	0.91	
NT/PT	0.15	
CE	0.81	

Fuente: Elaboración propia

$$ICA = (0.2 * 0.094) + (0.2 * 1.00) + (0.2 * 0.91) + (0.2 * 0.15) + (0.2 * 0.81) = 0.59$$

*ICA = 0.59 REGULAR*

**Datos por muestreo: Mes 2 AP**

Anexo T. Resultados generales AP mes 2 estación 1

ESTACIÓN 1		
PARÁMETRO	$I_{OD}$	PONDERADO
Oxígeno Disuelto	0.09	0.2
<i>pH</i>	0.81	
DQO	0.51	
NT/PT	0.15	
CE	0.96	

Fuente: Elaboración propia

$$ICA = (0.2 * 0.09) + (0.2 * 0.81) + (0.2 * 0.51) + (0.2 * 0.96) + (0.2 * 0.15) = 0.49$$

$$ICA = 0.49 \text{ agua mala}$$

Anexo U. Resultados generales AP mes 2 estación 2

<b>ESTACIÓN 2</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<b><math>I_{OD}</math></b>	<b>PONDERADO</b>
Oxígeno Disuelto	0.10	0.2
<i>pH</i>	1.00	
DQO	0.71	
NT/PT	0.15	
CE	0.91	

Fuente: Elaboración propia

$$ICA = (0.2 * 0.10) + (0.2 * 1.00) + (0.2 * 0.71) + (0.2 * 0.91) + (0.2 * 0.15) = 0.57$$

$$ICA = 0.57 \text{ agua regular}$$

Anexo V. Resultados generales Alta Pluviosidad mes 2 estación 3

<b>ESTACIÓN 3</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<b><math>I_{OD}</math></b>	<b>PONDERADO</b>
Oxígeno Disuelto	0.10	0.2
<i>pH</i>	0.83	
DQO	0.71	
NT/PT	0.15	
CE	0.95	

Fuente: Elaboración propia

$$ICA = (0.2 * 0.10) + (0.2 * 0.83) + (0.2 * 0.71) + (0.2 * 0.95) + (0.2 * 0.15) = 0.50$$

$$ICA = 0.50 \text{ agua regular}$$

Anexo W. Resultados generales Alta Pluviosidad mes 2 estación 4.

<b>ESTACIÓN 4</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<b><math>I_{OD}</math></b>	<b>PONDERADO</b>
Oxígeno Disuelto	0.02	0.2
<i>pH</i>	0.59	
DQO	0.125	
NT/PT	0.15	
CE	0.68	

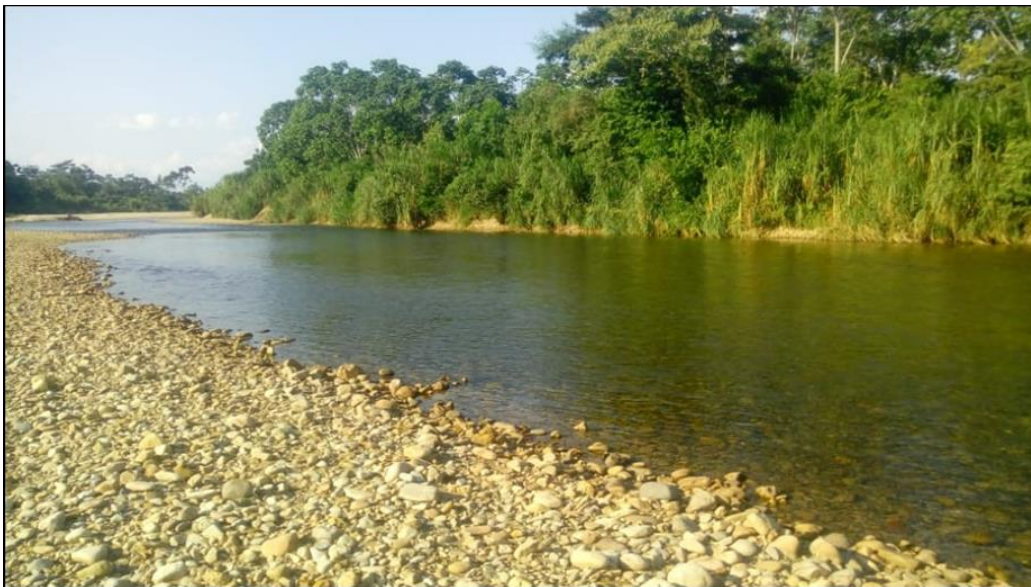
Fuente: Elaboración propia

$$ICA = (0.2 * 0.02) + (0.2 * 0.59) + (0.2 * 0.125) + (0.2 * 0.68) + (0.2 * 0.15) = 0.34$$

$$ICA = 0.34 \text{ agua mala}$$

## REGISTRO FOTOGRÁFICO

Imagen 1: Rio Guineo Puerto Umbría



Fuente: Propia

Imagen 2: Grupo investigador en trabajo de campo



Fuente: Propia

Imagen 3: Materiales utilizados para el estudio de Macroinvertebrados



Fuente: Propia

Imagen 4: Materiales utilizados para el estudio fisicoquímico



Fuente: Propia

Imagen 5: Toma de muestras macroinvertebrados



Fuente: Propia

Imagen 6: Toma de muestras macroinvertebrados



Fuente: Propia



Imagen 7: Toma de muestras para estudio fisicoquímico



Fuente: Propia

Imagen 8: Toma de muestras



Fuente: Propia

Imagen 9: Materiales para el análisis taxonómico de macroinvertebrados



Fuente: Propia

Imagen 10: caracterización de macroinvertebrados



Fuente elaboración propia

Imagen 11: Trabajo en laboratorio



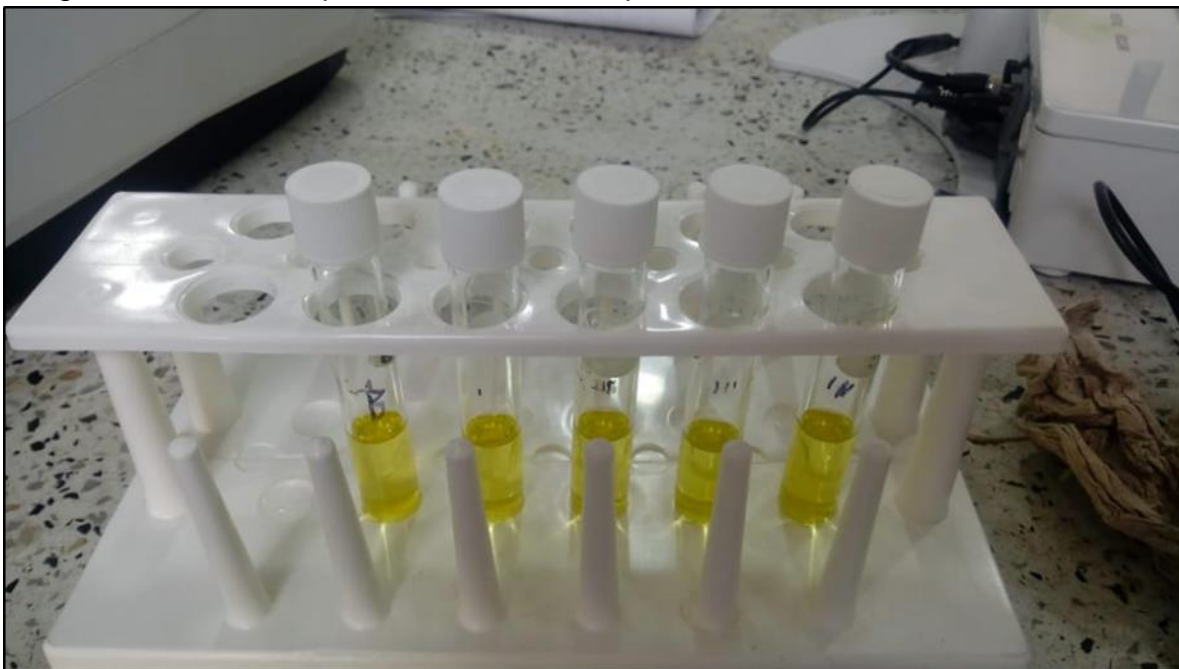
Fuente: Propia

Imagen 12: Trabajo en laboratorio



Fuente: Propia

Imagen 13: Reactivos para el estudio fisicoquímico



Fuente: Propia