



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SU RELACIÓN CON  
FACTORES ANTRÓPICOS Y DEL HÁBITAT EN EL TRAMO MEDIO DEL RÍO  
GAIRA EN LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA, COLOMBIA.**

**YEISON ANDRÉS FRANCO HIGUITA  
CRISTIAN ALBERTO PADILLA GARCÍA**

Universidad de Manizales  
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas  
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente  
Manizales, Colombia  
2018



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SU RELACIÓN CON  
FACTORES ANTRÓPICOS Y DEL HÁBITAT EN EL TRAMO MEDIO DEL RÍO  
GAIRA EN LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA, COLOMBIA**

**YEISON ANDRÉS FRANCO HIGUITA  
CRISTIAN ALBERTO PADILLA GARCÍA**

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Director:

PhD Nelson Rodríguez Valencia

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados (BSI)

Director Dr. Jhon Fredy Betancur

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2018



*La educación genera confianza. La confianza genera  
esperanza. La esperanza genera paz.  
Confucio.*

*A nuestras familias*



# Agradecimientos

A Dios sobre todas las cosas, pues ha sido el que ha permitido que esto sea posible.

Agradezco al profesor Nelson Rodríguez Valencia, no solo por ser nuestro asesor, sino también por sus valiosos consejos y recomendaciones a lo largo del desarrollo de este trabajo.

A mi familia, por siempre creer en mí y por el apoyo incondicional que siempre me han brindado.

Finalmente a todas las personas que me ayudaron y apoyaron a lo largo de este trabajo y permitieron en menor o mayor medida la realización del mismo.

## **Yeison Andrés Franco Higueta**

En primer lugar, a Dios por permitir realizar este trabajo según su voluntad.

A mi familia por su apoyo incondicional en todo momento, especialmente a mi esposa por tomar esto como un sacrificio personal y hacerlo parte de su vida.

A nuestro tutor, el profesor Nelson Rodríguez por dirigirnos en este camino con su gran experiencia apoyarnos para cumplir los objetivos, por su paciencia muchas gracias.

A mi profesor y amigo César Tamaris Turizo por todo su apoyo y el de su grupo de investigación en la Universidad del Magdalena.

Por último, a todos aquellos de una u otra manera participaron en este proyecto y durante el desarrollo de la maestría.

**Cristian Alberto Padilla García**

Este trabajo presenta las opiniones personales de los autores, por lo que los posibles errores y conceptos emitidos son de responsabilidad exclusiva de éstos y no comprometen a la Universidad de Manizales ni a sus directores, asesores y jurados.



## RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la relación entre la calidad del agua, factores antrópicos y de hábitat en un tramo del río Gaira, en la Sierra Nevada de Santa Marta, mediante la medición del caudal y la determinación de variables fisicoquímicas y microbiológicas, unidas en el índice de calidad (ICA-NSF), de estructura de la comunidad de macroinvertebrados, representadas en el índice de calidad biológica (BMWP/Col) y de calidad del hábitat, valoradas en el índice SVAP, aplicados en 6 estaciones de muestreo (3 en la parte medio-alta del transecto correspondiente al sector de Pozo Azul y 3 en el sector medio-bajo del transecto, correspondiente al sector de Minca) y durante 6 campañas de monitoreo.

En el análisis visual de calidad de agua (SVAP) se pudo determinar que existe una relación inversa entre la calidad del sistema y la ubicación altitudinal de las estaciones, a medida que se desciende, en el transecto evaluado, el valor del índice tiende a disminuir.

En términos generales se encontró que la calidad físico-química del agua está relacionada con las condiciones particulares de cada estación, así como del momento hidrológico evaluado durante el estudio. Se presentó una relación directa entre los valores del índice y los cambios espaciales y temporales de las estaciones y muestreos respectivamente, a medida que avanzaron los muestreos el valor del índice disminuyó.

La comunidad de macroinvertebrados en el área estudiada estuvo representada por un total de 10121 individuos, el sector con mayor riqueza fue Pozo Azul con el 71% del total, mientras que Minca solo fue representado con el 29% del total de macroinvertebrados colectado. Se identificaron un total de 29 familias distribuidas en 10 órdenes, los órdenes más abundantes fueron *Diptera* y *Trichoptera* con 29% y 24% respectivamente.

Se presentó, en promedio, un deterioro en la calidad del agua, que va siendo gradual al pasar de la estación 1 (sector Pozo Azul), área menos intervenida con actividades antrópicas, en el cual el índice de calidad global fue de 0,81 correspondiente a una calidad de agua de categoría buena, hasta llegar a la estación 6 (sector de Minca), área más intervenida con actividades antrópicas, en el cual el índice de calidad global fue de 0,62 correspondiente a una calidad de agua de categoría media, equivalente, por lo tanto, a una pérdida de calidad del agua del 23,5%, en el transecto evaluado.

Los resultados obtenidos permiten entrever que el uso del recurso hídrico para fines recreativos y como sumidero de las aguas residuales domésticas provenientes tanto del sector del turismo como de los asentamientos humanos presentes en la zona, está generando un impacto negativo sobre la calidad del agua superficial.

**Palabras clave:** Contaminación hídrica, Índices de calidad hídrica, macroinvertebrados acuáticos, río de montaña, río Gaira.

## ABSTRACT

In the present investigation, the relationship between water quality, anthropogenic factors and habitat in a section of the Gaira River, in the Sierra Nevada de Santa Marta, was evaluated by measuring the flow and determining the physicochemical and microbiological variables, united in the quality index (ICA-NSF), of the structure of the community of macroinvertebrates, represented in the biological quality index (BMWP/Col) and of habitat quality, valued in the SVAP index, applied in 6 sampling stations (3 in the medium-high part of the transect corresponding to the sector of Pozo Azul and 3 in the middle-low sector of the transect, corresponding to the Sector Minca) and during 6 monitoring campaigns.

In the visual analysis of water quality (SVAP) it was possible to determine that there is an inverse relationship between the quality of the system and the altitudinal location of the stations, as it descends, in the evaluated transect, the value of the index tends to decrease.

In general terms, it was found that the physical-chemical quality of the water is related to the particular conditions of each season, as well as the hydrological moment evaluated during the study monitoring. There was a direct relationship between the values of the ICA index and the spatial and temporal changes of the stations and samplings respectively, as the samplings advanced the value of the index decreased.

The community of macroinvertebrates in the studied area was represented by a total of 10121 individuals, the sector with the greatest wealth was Pozo Azul with 71% of the total, while Minca was only represented with 29% of the total of macroinvertebrates collected. A total of 29 families distributed in 10 orders were identified, the most abundant orders were Diptera and Trichoptera with 29% and 24% respectively.

On average, there was a deterioration in the quality of the water, which is gradual as it passes from station 1 (blue well sector), the area least intervened with anthropogenic activities, in which the global quality index was 0,81 corresponding to good quality water quality, until reaching station 6 (minca sector), the area most intervened with anthropogenic activities, in which the global quality index is 0,62 corresponding to a category water quality mean, equivalent, therefore, to a loss of water quality of 23,5%, in the transect evaluated.

The results obtained, suggest that the use of water resources for recreational purposes and as a sink for domestic wastewater from both the tourism sector and the human settlements in the area, is having a negative impact on the quality of surface water.

**Keywords:** Water pollution, water quality indices, aquatic macroinvertebrates, mountain river, Gaira river.

# Contenido

	Pág.
<b>Introducción.....</b>	<b>14</b>
<b>1. Justificación .....</b>	<b>15</b>
<b>2. Problema de Investigación .....</b>	<b>16</b>
<b>3. Objetivos.....</b>	<b>18</b>
3.1    Objetivo General .....	18
3.2    Objetivos Específicos .....	18
<b>4. Hipótesis.....</b>	<b>19</b>
<b>5. Marco Teórico.....</b>	<b>20</b>
5.1    Marco Contextual .....	20
5.2    Marco Conceptual .....	24
<b>6. Materiales y Métodos .....</b>	<b>34</b>
6.1    Tipo de Investigación .....	34
6.2    Área de Estudio.....	34
6.3    Temporalidad y Estaciones de Muestreo.....	35
6.4    Medición de Variables Hidráulicas.....	36
6.5    Macroinvertebrados Acuáticos .....	36
6.5.1    Diseño del Muestreo.....	37
6.6    Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos. ....	37
6.7    Índices de Calidad del Agua.....	38
6.7.1    Generación del Índice de Calidad Físicoquímica y Microbiológica ICA-NSF ..	38
6.7.2    Generación del Índice de Calidad Biológica BMWP/Col.....	38
6.7.3    Generación del Índice de Valoración de Hábitat SVAP .....	39
<b>7. Resultados y Discusión .....</b>	<b>41</b>
7.1    Régimen Hidrológico e Hidráulico. ....	41
7.2    Análisis Visual de Calidad de Agua (SVAP) .....	42
7.3    Evaluación Físicoquímica y Microbiológica de la Calidad del Agua (ICA) .....	49
7.4    Estructura y Composición de la Comunidad de Macroinvertebrados. ....	60
<b>8. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>67</b>
8.1    Conclusiones.....	67
8.2    Recomendaciones.....	69

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en la cuenca del río Gaira .....	34
Figura 2. Precipitación multianual (1980-2004) registradas en las estaciones meteorológicas e hidrológicas del IDEAM en la cuenca del río Gaira y zonas adyacentes. ....	41
Figura 3. Caudales promedios agrupados en estaciones por muestreos, la línea continua representa el caudal medio en cada muestreo.....	42
Figura 4. Comportamiento por estaciones del índice, promedio. SVAP durante el estudio. ....	43
Figura 5. Estación de muestreo 1 (Pa1) .....	44
Figura 6. Estación de muestreo 2 (Pa2) .....	45
Figura 7. Estación de muestreo 3 (Pa3) .....	45
Figura 8. Estación muestreo 4 (Mk1) .....	46
Figura 9. Estación de muestreo 5 (Mk2).....	47
Figura 10. Estación de muestreo 6 (Mk3).....	47
Figura 11. Comportamiento por Estaciones del índice ICA-NSF en el río Gaira.....	50
Figura 12. Variación de la temperatura en sitios de muestreo.....	51
Figura 13. Variación del pH en los sitios de muestreo.....	52
Figura 14. Variación del Oxígeno (% de Saturación) en los sitios de muestreo .....	53
Figura 15. Variación de la turbiedad (NTU) en los sitios de muestreo .....	54
Figura 16. Variación de los Fosfatos (mg/L) en los sitios de muestreo .....	55
Figura 17. Variación de los Nitratos (mg/L) presentes en los diferentes sitios de muestreo .....	56
Figura 18. Variación de la DBO <sub>5</sub> (mg/L) en los sitios de muestreo .....	57
Figura 19. Variación de los sólidos totales disueltos (mg/L). .....	58
Figura 20. Variación de <i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL) encontrada en los diferentes sitios de muestreo.....	59
Figura 21. Composición de órdenes de la comunidad de macroinvertebrados.....	60
Figura 22. Abundancia global de familias de macroinvertebrados acuáticos.....	61
Figura 23. Comportamiento Por Muestreos y Estaciones del índice BMWP/Col en el Río Gaira.....	62
Figura 24. Comportamiento Por Estaciones del índice BMWP/Col en el Río Gaira. ....	63

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col (Roldán, 2003; 2016). .....	28
Tabla 2. Detalle de las estaciones de muestreo .....	35
Tabla 3. Recipientes y preservación de muestras .....	37
Tabla 4. Métodos usados para determinación de los parámetros en el ICA. ....	38
Tabla 5. Resultados del análisis visual de calidad de agua (SVAP).....	43
Tabla 6. Datos consolidados de las variables fisicoquímicas y microbiológicas para el análisis de la calidad del agua según el índice ICA-NSF. ....	49
Tabla 7. Valores de índice ICA-NSF .....	50

## Introducción

Los ríos, quebradas y lagos son eje de desarrollo de los seres humanos, ya que de estos se logra el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales; sin embargo, muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas (Torres *et al*, 2009). El agua es un componente esencial del ambiente. Se considera el factor principal que controla el estatus de salud tanto en humanos como en la biota en general (Kazi *et al*, 2009). Las variaciones en su calidad son resultado de la combinación de procesos naturales (meteorización y erosión del suelo) y de las contribuciones antrópicas (descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros) (Espinal-Carreón *et al*, 2013; Torres *et al*, 2009). En general, éstas últimas constituyen una fuente constante de contaminación, mientras que la escorrentía superficial es un fenómeno estacional, que se ve afectado por el clima en la cuenca de captación, asociado a la duración de la época de lluvias (Zeng y Rasmussen (2005) citado en Espinal-Carreón *et al*, 2013).

Actualmente, el cambio climático y el estrés hídrico están limitando la disponibilidad de agua limpia en todo el mundo (Lermontov *et al*, 2011). Sin embargo, los aportes antrópicos de una variedad de fuentes suelen ser los principales factores que afectan a la mayoría de los cuerpos de agua, sobre todo para los cercanos a regiones muy urbanizadas (Wen-Cheng *et al*, 2011; Espinal-Carreón *et al*, 2013)

Ahora bien, una de las actividades más importantes para la gestión del recurso hídrico es el monitoreo periódico de los cuerpos de agua. Esta actividad permite la detección temprana de cambios en la calidad del recurso (Castro *et al*, 2014) y así establecer alternativas de gestión y preservación del recurso.

La presente investigación busca contribuir a la gestión de los recursos hídricos a nivel regional y nacional, mediante la evaluación de la calidad del agua en la cuenca media del río Gaira en la sierra Nevada de Santa Marta, y su relación con factores antrópicos, fisicoquímicos y del hábitat del tramo estudiado.

Mediante una investigación cuantitativa y de tipo experimental, se pretende determinar la calidad del agua mediante la valoración de variables físico químicas, calidad del hábitat y comunidad de macroinvertebrados presentes en dos momentos hidrológicos (Temporada lluvia – Temporada Seca) con el fin de evaluar el efecto antrópico sobre el cuerpo de agua durante su paso por el asentamiento humano y actividades recreativas que se realizan en este río.

# 1. Justificación

Colombia dispone anualmente de 2.000 km<sup>3</sup> (58 l/seg/km<sup>2</sup>) de agua como escorrentía y para infiltración profunda. De lo cual se consume cerca de 3.284 m<sup>3</sup>/s., equivalente a 63.072 mm/año (Márquez, 1996). Ante factores condicionantes como densidad poblacional, tipos de asentamientos, actividades productivas y sistemas tecnológicos, se presentan efectos como la desregulación de la disponibilidad espacial y temporal en la oferta hídrica, deterioro de las condiciones biológicas y fisicoquímicas del agua, conflictos intersectoriales e interterritoriales e imposibilidad de manejo integral de las cuencas (Hahn-von Hessberg *et al*, 2009).

De ahí que se haya presentado en las últimas décadas un creciente interés por conocer el estado de los cuerpos acuáticos y su evolución en el tiempo con el fin de encontrar estándares de juicio de “Calidad de Agua” que permitan satisfacer las demandas de uso del recurso (Hahn-von Hessberg *et al*, 2009).

El río Gaira no ha sido ajeno al efecto antrópico en las condiciones y calidad de sus aguas debido a la presencia de asentamientos humanos y actividades recreativas realizadas en su cuenca media y media-alta, lo que ha afectado las características y condiciones naturales de la cuenca.

La presente investigación permitirá determinar el estado ambiental de un tramo del río Gaira ubicado en la parte media de la cuenca, la cual recibe las aguas servidas de asentamientos humanos en sus riberas, además de ser un punto de recreación y disfrute de los pobladores aledaños a la cuenca. Así con los resultados obtenidos se podrán plantear alternativas de gestión y manejo del recurso hídrico y la calidad del agua superficial de la cuenca.

## 2. Problema de Investigación

La calidad del agua es el principal factor que controla y regula el estado de los ecosistemas terrestres. La calidad del agua superficial es un componente esencial del medio ambiente natural y un tema de gran preocupación en la actualidad, ya que su constante deterioro se ha incrementado en los últimos años. En general, las descargas antropogénicas constituyen una fuente constante de contaminación, mientras que la escorrentía superficial es un fenómeno estacional que se ve afectado por el clima dentro de la cuenca hidrográfica. Debido a las intensas actividades humanas, los aportes antropogénicos de una variedad de fuentes son comúnmente los principales factores que afectan la calidad del agua de ríos, lagos, estuarios y mares, especialmente para aquellos cercanos a las regiones altamente urbanizadas (Wen-Chen *et al*, 2011).

En Colombia, un alto porcentaje de la población se encuentra afectada por la contaminación del agua, ya que en muchos municipios no se realiza tratamiento alguno a las aguas residuales domésticas e industriales antes de ser vertidas a los ríos. Según la universidad de Yale, Colombia paso del puesto 8 en 2008 al puesto 85 en 2014 en desempeño ambiental, sacando el índice de desempeño ambiental más bajo en la conservación del recurso Hídrico (4.6/100) y en saneamiento básico (12.2/100) (Díaz-Martínez y Granada-Torres, 2018). Esta problemática no es ajena a la Sierra Nevada de Santa Marta, donde durante los últimos años se han incrementado los asentamientos y las áreas cultivadas, con cultivos de café, palma africana, cacao, lulo, entre otros, lo que ha generado un problema de oferta hídrica, ya que nuevamente, las aguas servidas de las zonas pobladas y los desechos de cultivos son descargados en los afluentes sin ningún tipo de tratamiento, ocasionando la contaminación del recurso hídrico y su consecuente pérdida de biodiversidad (Barros-Núñez y Granados-Martínez, 2016).

La biodiversidad es importante porque constituye no solo el sostén de una gran variedad de servicios ambientales de los cuales han dependido las sociedades humanas sino también porque con la pérdida de algún elemento de la biodiversidad, los ecosistemas pierden capacidad de recuperación y los servicios que prestan se ven amenazados (Andrade-C, 2011). Donde, adicional a esto, los entornos o medios acuáticos más homogéneos y menos variados suelen ser más susceptibles a las presiones externas repentinas afectando toda su estructura ecológica, por lo que su estudio y protección son de gran importancia.

Por tal motivo, los estudios dirigidos a determinar el estado ambiental de los ambientes lóticos se convierten en herramientas de gran utilidad para la toma de decisiones y la generación de planes de manejo y preservación de estas cuencas.

El río Gaira, en la Sierra Nevada de Santa Marta, se encuentra sometido a presiones de tipo antrópico por cambios en el uso del suelo y aumento de la población aledaña con poca o ningún tipo de planeación urbana (Gutiérrez *et al*, 2010), lo que ha repercutido en sus características naturales y poblaciones naturales allí presentes.

Así, la presente investigación busca determinar el estado ambiental de un tramo del río Gaira en la Sierra Nevada de Santa Marta así como responder la pregunta de investigación.

- ¿Cómo se relacionan los factores antrópicos y del hábitat con la calidad del agua en el tramo medio del río Gaira en la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia?

## **3. Objetivos**

### **3.1 Objetivo General**

Determinar la relación entre la calidad del agua y los factores antrópicos y del hábitat en el tramo medio del río Gaira en la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la calidad del agua usando la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, variables fisicoquímicas y microbiológicas en dos momentos hidrológicos (Temporada lluvia – Temporada Seca).
- Valorar la calidad del hábitat mediante el índice SVAP (Stream Visual Assessment Protocol).
- Determinar la relación entre las actividades recreativas, los asentamientos humanos aledaños y la calidad del agua en el tramo medio del río Gaira en la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia.

## **4. Hipótesis**

Si la presencia de asentamientos humanos afecta negativamente la calidad del agua en el tramo medio del río Gaira y la biota allí presente, entonces existe una relación significativa entre la población humana, las actividades recreativas y la calidad del agua en el tramo medio de un río de montaña tropical en la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia.

## 5. Marco Teórico

### 5.1 Marco Contextual

Con un área de 383.000 hectáreas y ubicada entre los departamentos de Magdalena, Guajira y Cesar, la Sierra Nevada de Santa Marta es la cuna de los Tayrona, la más monumental y singular civilización indígena del país. Allí viven alrededor de 30,000 indígenas de las etnias Kogui, Arhuaco, Kankuamo y Wiwa (Arsarios) (Organización Colparques, 2018). La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) es el relieve costero más alto de la Tierra cuya base triangular casi perfecta está limitada al norte por la Falla de Oca y al occidente por el Sistema de Fallas de Santa Marta (Idárraga-García *et al*, 2011).

La temperatura promedio es de 28 °C, variando entre 29 °C en la época seca y 23 °C en la época lluviosa y la precipitación anual oscila entre 1000 y 2000 mm (IGAC, 1993 Citado en Idárraga-García *et al*, 2011). La distribución de lluvias se encuentra supeditada al paso anual de la ZCIT (Zona de Convergencia Intertropical) y a la presencia de la SNSM, teniéndose así dos temporadas de lluvia, la primera en parte de abril y mayo, y la segunda entre los meses de septiembre y noviembre (IGAC, 1993 IGAC, 1993 Citado en Idárraga-García *et al*, 2011).

La montaña posee tres caras o flancos, que tienen diversas condiciones climáticas debido a su posición frente al mar y a la influencia de los vientos alisios del nordeste (Barragan *et al*, 2016). En términos generales se puede afirmar que la cara norte es la más húmeda, la oriental la más seca y la occidental muestra una condición intermedia. La planicie caribeña que rodea el macizo presenta un clima cálido y seco (Organización Colparques, 2018).

La Sierra Nevada de Santa Marta es un macizo montañoso aislado de la cordillera de los Andes. Se eleva abruptamente desde las costas del mar Caribe y a tan sólo 42 kilómetros alcanza una altura de 5.775 metros en sus picos nevados, con una superficie aproximada de 17.000 km<sup>2</sup>. Es la montaña costera más alta del mundo, independiente y aislada de la cordillera de los andes por zonas llanas y semiáridas. Debido a su tamaño, variación altitudinal y posición tropical, se encuentra una amplia variedad de climas y ecosistemas, siendo importante desde el punto de vista hidrológico y biológico, por ser la principal fábrica de agua de la costa norte colombiana. En ella nacen aproximadamente 30 cuencas hidrográficas que abastecen en la zona plana a una población cercana al millón y medio de habitantes y es allí donde también está representada la diversidad de los ecosistemas de la América Tropical (Organización Colparques, 2018).

En la Sierra, se identifican tres grandes hoyas o macrocuencas, conformadas por un sistema de 30 ríos principales. La macrocuenca del Caribe incluye todos los ríos que desembocan directamente al mar y abarca toda la cara norte, el extremo norte de la

vertiente occidental y el río Ranchería. El río Gaira, donde se desarrolla la presente investigación pertenece a esta macrocuenca. La segunda macrocuenca está conformada por los ríos pertenecientes al flanco occidental que vierten sus aguas a la Ciénaga Grande de Santa Marta. La tercera macrocuenca está conformada por las cuencas que tributan al río Cesar, las cuales pertenecen al flanco oriental y extremo sur del flanco occidental (Organización Colparques, 2018).

En la Sierra Nevada nacen las aguas que abastecen los acueductos de todos los asentamientos que la circundan y las distintas explotaciones agrícolas, ganaderas y mineras ubicadas en su área de influencia. Los ríos procedentes del macizo, aportan aproximadamente diez mil millones de metros cúbicos de agua anuales. Sin embargo, actualmente la pérdida o disminución de la cobertura vegetal en la mayoría de sus cuencas, asociada a las fuertes pendientes características de su geomorfología, junto con la estacionalidad de las lluvias, son factores que acentúan la inestabilidad en la regulación del recurso hídrico (Organización Colparques, 2018).

Esta realidad no ha sido ajena al río Gaira, ya que desde comienzos del siglo XX, las actividades agropecuarias, como plantaciones de café y cultivos temporales como tomate, cilantro, maracuyá y yuca, han venido incrementando los problemas de la cuenca, los cuales repercuten en la calidad y cantidad de agua disponible para los diferentes usos (Gutiérrez *et al*, 2010). Adicionalmente, en la parte baja, la población ha aumentado rápidamente y de manera inadecuada, donde la deficiente planeación urbana y las construcciones civiles en áreas inadecuadas han acrecentado esta problemática (Gutiérrez *et al*, 2010; Noriega *et al*, 2011).

La microcuenca del río Gaira cubre un área de 10.464 ha y tiene una dirección de flujo de este a oeste y una longitud de 32,53 km, desde su nacimiento en el macizo de San Lorenzo hasta su desembocadura en el mar Caribe. El rango altitudinal varía entre 0 y 2750 msnm. El régimen de precipitación de la cuenca se ajusta a un patrón bimodal, con un período de menor intensidad de lluvias entre diciembre y abril; otro período más lluvioso entre julio y agosto y un máximo de precipitación entre octubre y noviembre (UAESPNN, 1998). La precipitación promedio mensual es de 209,9 mm en la parte alta, 179,1 mm en la parte media y 47,1 mm en la parte baja. Los climas presentes en la cuenca del Gaira son cálido árido, cálido seco, cálido húmedo, templado muy húmedo y frío muy húmedo. De estos climas, el que ocupa mayor extensión dentro de la cuenca es el cálido húmedo (cerca de 5941 ha), seguido por templado muy húmedo (2371 ha) y muy húmedo (851 ha). Por sus características climáticas y tipos de vegetación, la cuenca presenta dos tipos de biomas zonales de tierras bajas y un tipo de orobioma de montaña. Hernández *et al*. (1992), citado por Gutiérrez *et al*. (2010) y Noriega *et al*. (2011), definen tales biomas de la manera siguiente:

- Zonobioma subxerofítico tropical: bosques y matorrales del piso isomegatérmico, con caracteres xeromorfológicos más pronunciados debido a que la precipitación anual es menor y, por ende, mayor el número de meses secos.
- Zonobioma tropical alternohigrico: bosques del piso isomegatérmico (tierra caliente), desarrollados en áreas donde hay un período prolongado de sequía durante el cual la mayor parte de árboles del dosel pierden su follaje. En los meses lluviosos, el bosque adquiere nuevamente su follaje y su aspecto es exuberante.
- Orobioma de selva subandina: selvas higrofiticas o subhigrofiticas del piso isomegatérmico. La frecuencia de las nieblas tiende a elevar la humedad ambiental y a disminuir la evapotranspiración.

### 5.1.1. Antecedentes

A continuación, se presentan algunos estudios internacionales de calidad de agua utilizando como indicadores macroinvertebrados acuáticos:

Argentina: Estudio Bacteriológico, Fisicoquímico y Aplicación del Índice BMWP' del Agua del Arroyo El Simbolar y Piscina del Balneario de Concepción, Dpto. Capayán. Catamarca: Se evaluó la calidad del agua para los diferentes usos, desde el punto de vista bacteriológico, complementados con análisis fisicoquímico y el índice biótico BMWP'. El índice biótico BMWP' clasifica el agua del arroyo como muy buena. Los valores de los parámetros fisicoquímicos se encontraron dentro de los niveles permitidos para los diferentes usos (Tomasi *et al.*, 2010)

Ecuador: Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. Se realizó un estudio de Macroinvertebrados acuáticos en el río Alambi, y se determinó la abundancia total de 6.447 individuos ubicados dentro de 16 órdenes, 47 familias y 55 géneros. De los cuales 4.726 pertenecen al grupo de los EPT indicadores de buena calidad. Después la valoración biológica global BMWP fue de 110,3, catalogando al agua del río Alambi como de "Buena" (Giacometti & Bersosa, 2006).

Venezuela. Macroinvertebrados bentónicos de la laguna las peonías, estado Zulia, Venezuela. Se evaluó la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la laguna Las Peonías, estado Zulia en el 2006. Se determinaron las variables físico-químicas del agua. El taxón más abundante lo constituyeron larvas de la familia Chironomidae (95%). La alta densidad de los individuos de esta familia indicó un alto nivel de contaminación en la laguna (Espinoza & Morales. 2008).

En Colombia, en los últimos años, el estudio de macroinvertebrados acuáticos se ha venido dando con más fuerza, gracias a que la directiva de Marco de agua COM-97 del parlamento Europeo ha aceptado el término estado ecológico como una medida de la calidad de las aguas. Algunos trabajos son:

Antioquia. Ramírez y Roldán (1989), evaluaron las características fisicoquímicas y las comunidades de macroinvertebrados de tres ríos de la subregión del Urabá antioqueño (ríos Turbo, Apartadó y Chigorodó). Otros estudios buscaron determinar la relación entre los macroinvertebrados acuáticos y algunos índices ecológicos y de calidad del agua (Caicedo y Palacio, 1998), en el que se evaluó el efecto de la contaminación orgánica sobre la comunidad de macroinvertebrados bénticos en un cuerpo de agua superficial.

Caldas. Estudio preliminar de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la reserva forestal torre cuatro. En el 2008 se realizó la caracterización de la comunidad de macroinvertebrados y se evaluó los posibles impactos generados sobre las fuentes hídricas presentes en la Reserva Forestal Torre Cuatro, en 9 estaciones de muestreo. En cuanto al índice BMWP/Col, en general refleja una buena calidad ecológica del agua en la zona protegida, tan sólo las estaciones 1, 5 y 7 presentaron una condición aceptable. (Walteros & Paiba, 2010)

Chocó. En algunos estudios regionales, en la zona pacífica de Colombia (Lozano y Salas, 2006), evaluaron el impacto de la explotación minera sobre la calidad del agua en el Río Opopodo, Condoto, Chocó, utilizando la comunidad de macroinvertebrados como indicadores biológicos del nivel de deterioro ambiental.

Córdoba *et al.*, 2007, estudiaron la calidad del agua de la cuenca del río Andaguada, Lloro-Chocó, mediante el uso de macroinvertebrados acuático como bioindicadores

Tolima. Se encuentran trabajos de investigación en los que se identificó el potencial de una familia o de un género de macroinvertebrados para determinar el estado de calidad del cuerpo de agua (López *et al.*, 2006), en el que se comprobó el potencial de los tricópteros como indicadores biológicos.

En Cenicafé, en el año 2013 Rodríguez *et al.*, realizaron un estudio de calidad del agua superficial en la microcuenca el Burro, en la Plata, Huila, utilizando como indicador el índice de calidad de la NSF, en dicho estudio se encontró que la calidad del agua en la parte alta y baja de la microcuenca según la escala de clasificación del ICA fue buena, lo que indicó que no es un agua apta para consumo humano, pero si se puede utilizar para el riego de cultivos, en la parte media de la microcuenca se encontró que el agua es de calidad media, lo que indicó que es un agua levemente contaminada, que requiere tratamiento de potabilización para su consumo.

Entre los diferentes trabajos relacionados con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la Sierra Nevada de Santa Marta, se citan los siguientes realizados en el río Gaira: Guerrero-Bolaño *et al.* (2003) realizaron una caracterización espacial de estos grupos; Guzmán-Soto y Tamaris-Turizo (2014), evaluaron los hábitos alimentarios de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera y Tamaris-Turizo *et al.* (2007), analizaron las preferencias del microhábitat para los estados inmaduros de Anacroneuria (Plecoptera) y, mediante análisis de contenido estomacal, las relaciones tróficas de estas ninfas.

Rodríguez-Barrios *et al.* (2011), caracterizaron los grupos funcionales. Tamaris *et al.* (2013), estudiaron la derivación de la entomofauna en un gradiente altitudinal. Rúa-García *et al.* (2015) determinaron la estructura de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en la parte media de cuatro ríos en los diferentes flancos de este macizo montañoso y su distribución en algunos microhábitats.

Adicional a los estudios sobre macroinvertebrados, en el río Gaira se han adelantado otros estudios con otros grupos bióticos con el fin de establecer sus condiciones biológicas y ambientales, algunos estudios son: Osorio-Ávila *et al.* (2015) quienes estudiaron la sucesión de microalgas perifíticas en algunos tributarios del río Gaira. Tamaris-Turizo y Rodríguez-Barrios (2015) estudiaron el transporte de la materia orgánica, principal fuente de energía para las comunidades que allí habitan, donde encontraron que las dinámicas de transporte de la materia orgánica están relacionadas con las variaciones ambientales locales.

## 5.2 Marco Conceptual

Los ecosistemas lóticos son complejos y envuelven muchos fenómenos físicos, químicos y biológicos, dentro de una intrincada dinámica espacial y temporal y aunque se conocen detalles de la forma individual cómo las variables influyen la calidad del agua, las interacciones entre dichas variables son pobremente conocidas y no suelen ser fácilmente cuantificables (Gutiérrez *et al.*, 2004).

Cuando se realiza valoración de la calidad del agua se evalúa su naturaleza física, química y biológica. Las variaciones y características encontradas permiten obtener una apreciación de su estado ya sea de condiciones óptimas o de deterioro de la misma, donde las variaciones de la calidad del agua son esencialmente la combinación de contribuciones antropogénicas y naturales a los cuerpos de agua.

En Colombia, el deterioro de las aguas naturales en está asociado con el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales, de producción agrícola y ganadera, y con acciones relacionadas con el transporte terrestre, fluvial y marítimo de sustancias peligrosas. Una de las maneras de evaluar el deterioro de las aguas superficiales es mediante el empleo de índices de calidad del agua (ICAs) e índices bióticos (González-Meléndez *et al.*, 2013). Estos índices de calidad de agua son expresiones simples de una combinación de un número de variables fisicoquímicas y microbiológicas. El índice puede ser representado por un número, un rango, un símbolo o un color (Fernández *et al.* 2008 citado por González-Meléndez *et al.*, 2013).

Por otro lado, un índice biótico se define como aquel que establece la calidad biológica del agua expresada en forma de valor numérico que sintetiza las características de las especies presentes en una muestra. En la evaluación de la calidad biológica del agua se consideran, como criterios que definen un ecosistema sano, aquellos que se relacionan con un alto nivel de diversidad, habitabilidad y productividad (Arango *et al* 2008 citado en González-Meléndez *et al*, 2013).

Es de anotar que los índices que miden la contaminación y que poseen como herramienta de análisis variables fisicoquímicas, tienen a su favor que la información resultante puede ser más fácil interpretada que una lista de valores numéricos, pues estos agrupan los elementos contaminantes representativos como instrumento para determinar el deterioro de las aguas superficiales (González-Meléndez *et al*, 2013).

Los índices bióticos permiten describir las diferentes situaciones ambientales y presentan una información precisa sobre la calidad biológica del agua (González-Meléndez *et al*, 2013). La utilización de los organismos acuáticos como bioindicadores de la calidad de los ecosistemas acuáticos comienza en Europa mediados del siglo XIX. Kolenati (1848) y Cohn (1853), encontraron relaciones entre ciertas especies y el grado de calidad del agua. En el siglo XX, Kolkowitz & Marsson (1908, 1909) propusieron el sistema saprobio para Alemania, que actualmente es adoptado en otros países europeos. Patrick (1949, 1950) desarrolla métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de las corrientes en Norteamérica y Gaufin y Tarzwell (1952) proponen los macroinvertebrados como indicadores de contaminación. El sistema limnosaprobio es introducido en Checoslovaquia por Sládeček (1962). Hynes (1959,1963) propone los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Illies y Botosaneanu (1963) discuten la zonación de las aguas corrientes y proponen los términos de *ritrón* y *potamón* para referirse a las zonas altas y bajas de los ríos; este trabajo se considera un clásico de la limnología europea (Roldán, 2016).

Ahora bien, los métodos de evaluación de la calidad de las aguas basados en macroinvertebrados acuáticos ofrecen múltiples ventajas tales como: simplicidad metodológica, rapidez en la obtención de los resultados y una alta confiabilidad, lo que hace de estos métodos una herramienta idónea para la vigilancia rutinaria de la calidad del agua en las cuencas y ríos en general (Gutiérrez *et al*, 2004). La comunidad de macroinvertebrados acuáticos mejor estudiada en Colombia es la entomofauna. Los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera son los mejor conocidos en cuanto a su taxonomía, ecología y su utilización como bioindicadores de la calidad del agua (Roldán, 2016).

Según Roldán (2016), los macroinvertebrados son considerados como los mejores indicadores de calidad del agua por las siguientes razones: son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar; son sedentarios en su mayoría y, por tanto, reflejan las

condiciones de su hábitat; son relativamente fáciles de identificar; representan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo; proporcionan información para integrar efectos acumulativos; poseen ciclos de vida largos (semanas y/o meses); se reconocen a simple vista; pueden cultivarse en el laboratorio; responden rápidamente a los tensores ambientales y varían poco genéticamente (Roldán, 2003). Las comunidades de macroinvertebrados presentan diferentes respuestas a la contaminación. Metcalf (1989), distingue tres enfoques principales para evaluar la respuesta de las comunidades de macroinvertebrados a la contaminación. Estos son: el sapróbico, la diversidad y el biótico (Roldán, 2016).

- El enfoque sapróbico, hace referencia a la capacidad que tienen ciertos organismos de vivir en determinados niveles de contaminación, fue designado en Alemania por Kolkwitz & Marsson (1908, 1909). En el sistema saprobio se utilizan todos los organismos acuáticos como indicadores de calidad del agua. También se tienen en cuenta algunos aspectos fisicoquímicos como  $DBO_5$ , el  $NH_4-N$  y el oxígeno disuelto. La ventaja del sistema saprobio es que incluye gran variedad de taxones y es aplicable a todo tipo de ríos. La desventaja, es que los bioindicadores deben emplearse a nivel de especie y en el neotrópico esta información aún no está disponible.
- El enfoque de la diversidad incluye tres componentes fundamentales de las comunidades naturales: riqueza, uniformidad o equidad y un indicativo de abundancia (en el caso de macroinvertebrados, el más usado es de la densidad, pero bien podría ser biomasa), para describir la respuesta de la comunidad a la calidad ambiental. Una comunidad natural se caracteriza por presentar una alta diversidad de taxones y un número reducido de individuos por taxón; o un bajo número de taxones y muchos individuos por taxón. Esta situación se observa en la naturaleza en lugares como en las profundidades de los lagos y el mar, grandes alturas en las montañas y en sistemas sometidos a temperaturas extremas. La contaminación del agua provoca una situación similar, haciendo que ciertas comunidades muy sensibles desaparezcan y otras más resistentes aumenten en número. Se han desarrollado varios índices para medir la calidad del agua; uno de los más conocidos es el de Shannon-Weaver.
- El enfoque biótico incluye los aspectos esenciales de la saprobiedad, combinando una medida cuantitativa de diversidad de especies con la información cualitativa sobre la sensibilidad ecológica de taxones de individuos en una expresión numérica simple. Beck (1955) propuso el índice biótico en los Estados Unidos basado en la relación entre especies intolerantes y tolerantes a la contaminación; los valores se encuentran entre 0 y 10.

El índice de los saprobios, bajo el enfoque biótico, fue la base para la formulación del índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party), el cual se ha modificado y adaptado para su aplicación en Colombia teniendo en cuenta el tipo de macroinvertebrados acuáticos establecidos en algunas regiones del país, donde se resaltan los trabajos de Roldán (2003) en Antioquia y Zuñiga de Cardoso (1997) en la cuenca del río Cauca (González-Meléndez *et al*, 2013).

El método BMWP es un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y por el tiempo que se necesita invertir. El método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Tubificidae, reciben una puntuación de 1.0 (Armitage *et al*. 1983). La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP (Roldán 2003; 2016). En la tabla 1 se relacionan los puntajes dados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.

**Tabla 1. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col (Roldán, 2003; 2016).**

Familia	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, 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, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae,	2
Tubificidae	1

Finalmente es importante resaltar que cualquier índice tiene su utilidad y valor de acuerdo con el criterio con que se use y con el conocimiento que se tenga de la fauna local (Roldán, 2016), donde los macroinvertebrados acuáticos han adquirido una creciente importancia en el análisis de la calidad del agua, debido a que no sólo revelan las condiciones ambientales actuales, sino que actúan como reveladores de las condiciones en el tiempo (Hahn-vonHessberg *et al*, 2009).

## Los Índices de Calidad del agua en Colombia

El estudio de índices de calidad en Colombia ha sido abordado desde 1997, por Ramírez y Col y desarrollando un conjunto de índices denominados ICO (Índices de Contaminación) los cuales tiene como base los resultados de monitoreos en la industria petrolera Colombiana. En el desarrollo de estos índices se tuvieron en cuenta reglamentaciones tanto Colombianas como Internacionales, para diferentes usos del agua, así como registros de aguas colombianas y relaciones expuestas por otros autores en los índices de calidad, (Ramírez *et al*, 1997).

Cada índice de contaminación (ICO) tiene relación con un parámetro específico en total son seis índices, los cuales se mencionan a continuación:

- **ICOMI** (Índice de contaminación por mineralización, Integra conductividad, dureza y alcalinidad)
- **ICOMO** (Índice de contaminación Por Materia orgánica, conformado por DBO<sub>5</sub>, Coliformes Totales y Porcentaje de saturación de Oxígeno).
- **ICOSUS** (Índice de contaminación por sólidos suspendidos)
- **ICOTRO** (Índice de contaminación por Fósforo Total)
- **ICOTEMP** (Índice de contaminación por Temperatura)
- **ICOpH** (Índice de contaminación por pH)

## El Índice de calidad del agua en Estados Unidos (NSF)

Este es uno de los índices más conocidos y utilizados a nivel mundial, fue desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, es un índice multiparámetro, que utiliza 9 parámetros (DBO, SST, % de saturación de Oxígeno, Coliformes Fecales, Nitratos, pH, T, Turbidez y Fosfatos).

Para su ponderación un grupo de expertos construyó unas curvas promedios que permitieran relacionar el efecto de cada uno de los parámetros sobre la calidad del agua (Qi), y se asignaron unos factores de ponderación (Fi) de acuerdo a la importancia de las 9 variables (Ver Tabla).

Para calcular el índice de calidad de agua, se realiza una sumatoria del producto de cada parámetro de calidad por el factor de ponderación, el resultado debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa calidad de agua muy pobre y 100 representa calidad de agua excelente.

## Ponderación ICA NSF

Variable	Unidades	Factor
Oxígeno Disuelto	% de saturación	0.17
Coliformes fecales	Colonia/100ml	0.16
pH	Unidades	0.11
DBO5	ppm	0.11
Cambio de temperatura	°C	0.10
Fosfatos	ppm	0.10
Nitratos	ppm	0.10
Turbidez	NTU	0.08
Solidos Totales	ppm	0.07

Fuente: Adaptado de Fernández et al, 2005.

## Clasificación del Nivel de Calidad del ICA-NSF

Rango	Nivel de Calidad
Azul-Excelente	91-100
Verde- Buena	71-90
Amarillo-Media	51-70
Naranja- mala	26-50
Rojo-muy mala	0-25

Fuente: Adaptado de Fernández et al, 2005.

Los indicadores de calidad del agua determinan condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de un cuerpo de agua y, en alguna medida, permite reconocer problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico. Permiten representar el estado en general del agua y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables físicas, químicas y biológicas.

## Estudios de valoración de hábitat

En 1998 la NRCS publicó el Protocolo de Valoración Visual de Quebradas (Stream Visual Assessment Protocol SVAP), una metodología que sirve como indicadora de la calidad del

agua en quebradas, que a su vez puede ser empleada como herramienta de monitoreo. Este protocolo fue adoptado oficialmente a nivel nacional en los Estados Unidos.

La asociación ANAI, en colaboración con Andrea Leslie del Departamento de Ambiente y Recursos Naturales de estado de Carolina del Norte (DENR), en el año 2001, modificó el sistema de valoración SVAP, adaptándolo a las condiciones de Talamanca (Costa Rica), el cual se aplicó para la temporada 2002, con el fin de validar los resultados de Biomonitoreo, y compararlos con los resultados de los índices bióticos con un puntaje de hábitat físico.

Así que los índices trabajados en el proyecto de Biomonitoreo de Ríos que ejecuta la asociación ANAI en Talamanca, el Valle de la Estrella (Costa Rica) y Bocas del Toro (Panamá) fueron adaptados a estas regiones, presentando una buena precisión. La precisión se da al comparar los índices BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica) y el SVAP y registrar resultados similares. La exactitud se mide porque estas evaluaciones las pueden realizar varias personas al tiempo y generan los mismos resultados. Esta es una gran ventaja porque los criterios no son solo de una persona sino de un conjunto. El índice BMWP es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en muestras de macroinvertebrados acuáticos. La puntuación se asigna en función del grado de sensibilidad a la contaminación (Mafla, 2005).

Un río o quebrada muestra condiciones ecológicas especiales. Estas condiciones se pueden evaluar de forma visual para verificar el estado actual de un cauce. Tener los resultados de las características en conjunto, nos indica la "salud" del hábitat (Mafla, 2005). El monitoreo de grupos sensibles a cambios ambientales, como los macroinvertebrados acuáticos y la valoración del hábitat, en conjunto, reflejan lo que ocurre en un área más grande, como una cuenca hidrográfica, y asume que se pueden detectar los efectos de los cambios antropogénicos en el sistema.

El índice estructural de valoración de la calidad de agua SVAP junto con el porcentaje de cobertura vegetal, a diferencia de otras metodologías de muestreo más especializadas y centradas únicamente en la composición florística del bosque ripario, proveen un diagnóstico significativo en cuanto al conocimiento de la condición del hábitat ripario y calidad hídrica, además de servir para monitorear estas variables a largo plazo, al momento de implementar acciones de manejo tendientes al mejoramiento de estas condiciones (Mafla, 2005).

Este protocolo aplica un sistema de puntuación que evalúa 15 variables como: apariencia del agua, sedimentos, zona ribereña (ancho y calidad), sombra, pozas, condición del cauce, alteración hidrológica (desbordes), hábitat para peces y macro-invertebrados, estabilidad de las orillas, barreras al movimiento de peces, presión de actividades pesqueras, presencia de desechos sólidos, presencia de excretas de origen animal y aumento de nutrimentos de origen orgánico, siendo un método que no requiere equipos o

instrumentos de alta tecnología para su uso, es replicable y puede ser fácilmente desarrollado por personal no experto. Un puntaje alto del índice SVAP indica una mejor calidad hídrica o buena "salud" de la quebrada (Mafla, 2005).

### 5.3 Marco Normativo

Para la normatividad colombiana se tiene una legislación bastante extensa, destacándose la siguiente:

- **Decreto N° 2811 de 1974.** Establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.  
[http://www.ambienteintegral.com/images/Archivos/decreto\\_2811\\_de\\_1974\\_Codigo\\_Nacional\\_de\\_Recursos\\_Naturales.pdf](http://www.ambienteintegral.com/images/Archivos/decreto_2811_de_1974_Codigo_Nacional_de_Recursos_Naturales.pdf)
- **Decreto N° 1449 de 1977:** Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática.  
[http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec\\_1449\\_270677.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_1449_270677.pdf)
- **Decreto N° 1541 de 1978:** Aguas continentales: Art. 211 a 219 Control de vertimientos; Art. 220 a 224 Vertimiento por uso doméstico y municipal; Art. 225 Vertimiento por uso agrícola; Art. 231 Reglamentación de vertimientos.  
[http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec\\_1541\\_260778.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_1541_260778.pdf)
- **Decreto N° 1681 de 1978:** Sobre recursos hidrobiológicos.  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=8228>
- **Ley 09 de 1979:** Código sanitario nacional.  
[http://www.minambiente.gov.co/documentos/ley\\_0009\\_240179.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/ley_0009_240179.pdf)
- **Decreto N° 1594 de 1984.** Reglamenta usos del agua y residuos líquidos.  
**Artículos Vigentes:** 20, 21, 37 a 48, 72 a 79, 155, 156, 158, 160 y 161.  
[http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec\\_1594\\_260684.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_1594_260684.pdf)
- **Decreto N° 2314 de 1986:** Reglamenta el uso de productos químicos destinados al tratamiento de agua para consumo humano.  
[http://ingenieria.udea.edu.co/isa/normas\\_decretos/Resolucion%202314-1986.%20Ccos.%20consumo%20agua%20potable.pdf](http://ingenieria.udea.edu.co/isa/normas_decretos/Resolucion%202314-1986.%20Ccos.%20consumo%20agua%20potable.pdf)
- **Decreto N° 79 de 1986:** Conservación y protección del recurso agua.  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=305>
- **Decreto N° 1700 de 1989:** Crea la Comisión de Agua Potable.  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd38/Colombia/D1700-89.pdf>
- **Ley 99 de 1993:** Art. 10, 11, 24, 29, Prevención y control de contaminación de las aguas. Tasas retributivas. [http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ley/ley\\_0099\\_221293.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ley/ley_0099_221293.pdf)
- **Ley 373 de 1997:** Uso eficiente y ahorro del agua.  
[http://www.minambiente.gov.co/documentos/ley\\_0373\\_060697.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/ley_0373_060697.pdf)
- **Decreto N° 3102 de 1998:** Instalación de equipos de bajo consumo de agua.  
<https://www.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=mi7crp2PeF4%3D&tabid=1031>
- **Decreto N° 1729 de 2002:** Reglamenta parte del Decreto 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5534#1>
- **Decreto N° 1575 de 2007:** Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.  
<http://www.sui.gov.co/suibase/formatosEstratificacion/normatividad/Decreto%201575%20de%202007.pdf>
- **Resolución 2115 de 2007.** Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencia del sistema de control y vigilancia para la

calidad del agua para consumo humano. [http://www.minambiente.gov.co/documentos/res\\_2115\\_220707.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/res_2115_220707.pdf)

- **Decreto N° 3930 de 2010.** Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados, modificando lo contenido en el decreto 1594 de 1984. <http://www.fedebiocombustibles.com/files/3930.pdf>
- **Decreto N° 2667 de 2012.** Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. <http://www.andi.com.co/Archivos/file/Vicepresidencia%20Desarrollo%20Sostenible/2013/DECRETO26672012.pdf>
- **Decreto N° 1640 de 2012.** Tiene como objeto reglamentar los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos del país, de conformidad con la estructura definida en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. [http://camacol.co/sites/default/files/base\\_datos\\_juridico/DecretoMinAmbienteNacional16402012pdf.pdf](http://camacol.co/sites/default/files/base_datos_juridico/DecretoMinAmbienteNacional16402012pdf.pdf)
- **Decreto N° 1376 de 2013:** Permite que las Instituciones Nacionales de Investigación (INI) obtengan permisos Marco de Recolección que les permitirán, por el término de 10 años desde la expedición del permiso, adelantar labores de recolección de especímenes de especies silvestres para todos los proyectos de investigación científica, no comercial, que adelanten los investigadores vinculados a dichas instituciones. <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2013/Documents/JUNIO/27/DECRETO%201376%20DEL%2027%20DE%20JUNIO%20DE%202013.pdf>
- **Decreto N° 1375 de 2013:** Regula lo referente a las Colecciones Biológicas, definidas como el conjunto de especímenes que hacen parte del Patrimonio de la Nación, ésto es, las entidades donde se conservarán los especímenes recolectados en cumplimiento del Decreto 1376. <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2013/Documents/JUNIO/27/DECRETO%201375%20DEL%2027%20DE%20JUNIO%20DE%202013.pdf>
- **Resolución 1207 de 2014:** Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas para diferentes fines. <http://www.minambiente.gov.co>
- **Resolución 0631 de 2015:** Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. <http://www.minambiente.gov.co>
- **Decreto 1076 de 2015:** Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. <http://www.minambiente.gov.co>
- **Resolución 0330 de 2017:** Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, y se derogan las resoluciones 1096 del 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009. <http://www.minambiente.gov.co>
- **Decreto 50 del 2018:** Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones" <http://www.minambiente.gov.co>

## 6. Materiales y Métodos

### 6.1 Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarca dentro de las Investigaciones Cuantitativas de tipo correlacional, ya que se busca determinar cuál es la relación entre los asentamientos humanos y la calidad del agua en el sector de Minca del río Gaira, Santa Marta.

### 6.2 Área de Estudio

Corresponde a la parte media del río Gaira (Figura 1), departamento del Magdalena (Colombia). Con una longitud de 32,53 km y se extiende entre los 11°52'56" N, 11°10'08" N, 74°46'22" W y 74°01'07" W (Frayter *et al.*, 2000).

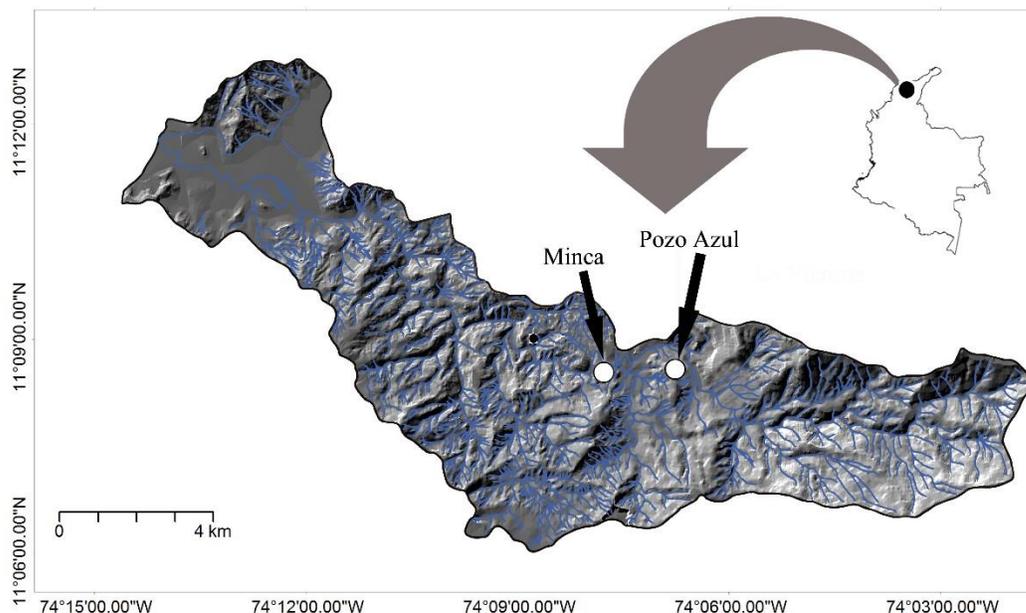


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en la cuenca del río Gaira

Se caracteriza por presentar una temperatura ambiente promedio multianual de 15 °C, el bosque ripario presenta predominio de especies en el estrato arbóreo superior (> 24 m), con entrelazamiento de las copas de los mismos, dando como resultado una cobertura cerrada del dosel (Rueda-Delgado *et al.* 2005). De acuerdo al tipo de formación vegetal de

este sitio y teniendo en cuenta la altura se clasifica en la categoría de Bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST), el cual para la Sierra Nevada de Santa Marta abarca el rango de 900 – 1700 msnm (Tamaris-Turizo y López-Salgado 2006). El cauce del río en esta zona se caracteriza por poseer corrientes rápidas, es un sistema pedregoso (Grimaldo 2001), lo que favorece el establecimiento de diversos microhábitats.

### 6.3 Temporalidad y Estaciones de Muestreo.

Se realizaron seis muestreos durante dos periodos climáticos diferentes. Se establecieron seis estaciones de muestreo, tres aguas arriba del asentamiento humano, uno en la cabecera del corregimiento de Minca y dos aguas debajo del asentamiento humano. El primer periodo de muestreo fue durante la época seca y el segundo durante el período de lluvias, esto con el fin de obtener muestras representativas a diferentes niveles de caudal (alto y bajo).

La selección del sitio de muestreo se realizó después de una visita previa a algunos tramos del sector. La elección del tramo de muestreo se hizo de acuerdo a los siguientes criterios; facilidad de acceso, una longitud mínima de 50 m, bosques ribereños no perturbados o poco perturbados y homogeneidad geomorfológica a lo largo de todo el tramo. Esta homogeneidad geomorfológica se estableció con base en: 1) ausencia de tributarios, 2) tramo rectilíneo, 3) poca alternancia de piscinas y rápidos, 4) ausencia de cambios abruptos de pendiente y, 5) cambios abruptos en la profundidad. Los detalles de las estaciones de muestreo se pueden observar en Tabla 2.

**Tabla 2. Detalle de las estaciones de muestreo**

Estación de Muestreo	Nombre de la Estación	Altitud MSNM	Coordenadas Geográficas	
			LN	LW
<b>Pa1</b>	Pozo Azul No. 1	793	11°08'03,3"	74°06'01,6"
<b>Pa2</b>	Pozo Azul No. 2	790	11°08'02,8"	74°06'07,5"
<b>Pa3</b>	Pozo Azul No. 3	787	11°08'03,6"	74°06'08,2"
<b>Mk1</b>	Minca No. 1	654	11°08'40,2"	74°06'57,8"
<b>Mk2</b>	Minca No. 2	625	11°08'31,4"	74°07'07,2"
<b>Mk3</b>	Minca No. 3	620	11°08'23,4"	74°07'12,3"

## 6.4 Medición de Variables Hidráulicas.

Se registraron datos de profundidad (m), velocidad de la corriente (m/s), amplitud de una sección transversal del cauce (m) y caudal (m<sup>3</sup>/s). Estas variables se midieron cada día de muestreo. Para estimar el caudal se utilizó la ecuación

$$Q = A/V,$$

Donde,

Q= caudal (m<sup>3</sup>/s),

A= Área de una sección transversal del río (m<sup>2</sup>),

V= velocidad del agua (m/s).

La velocidad del agua se calculó con un correntómetro, mediante la siguiente ecuación:

$$V = a + bN$$

Donde,

a y b= constantes dadas por el correntómetro

N= número de revoluciones por minuto.

Complementariamente fueron obtenidos del IDEAM los datos caudales medios diarios para los meses de abril y mayo del 2018, la estación limnigráfica de referencia se encuentra en el corregimiento de Minca (Estación 15017030) a 650 msnm.

## 6.5 Macroinvertebrados Acuáticos

Para la captura de los macroinvertebrados, se utilizó una red Surber (0,09 m<sup>2</sup> de área y ojo de malla de 0,5 mm). La remoción del lecho se realizó por la misma persona en todos los casos y con una duración de cuatro minutos, para homogenizar el esfuerzo de muestreo (Cortes *et al*, 2002). Pasado este tiempo se levantó la red y con la ayuda de pinzas y pinceles se colectaron los organismos capturados. Estos se llevaron a una bandeja previamente rotulada con el número de la muestra, tramo y microhábitats muestreados, fecha y nombre del colector, seguidamente los organismos fueron identificados y clasificados con ayuda de un estereoscopio de campo y guías taxonómicas especializadas, finalmente los organismos fueron devueltos al río. Las guías de identificación usadas fueron las realizadas por McCaferty (1981), Roldán (1988), Machado y Rincón (1989), Wiggins (1996), Ospina *et al* (2000), Fernández y Domínguez (2001), Aristizábal (2002), Posada y Roldán (2003) y Domínguez *et al* (2006), las cuales permiten determinar las familias y géneros de los macroinvertebrados acuáticos colectados.

### 6.5.1 Diseño del Muestreo

El muestreo fue de tipo aleatorio estratificado, ya que bajo este tipo de muestreo se reduce el número de muestras necesarias para estimar de manera efectiva la población que allí se encuentra (Statzner *et al.* 1988). Se realizaron muestreos en todos los tipos de sustratos disponibles (arena, grava, roca, hojarasca, raíces sumergidas, perifiton, zona de salpicaduras y macrófitas). Con el fin de obtener muestras compuestas, en cada sitio de muestreo se tomaron organismos de cada sustrato disponible y se mezclaron entre sí en la misma bandeja, este procedimiento se repitió tres veces en cada punto, así se tuvieron tres réplicas de cada muestra. De acuerdo a este diseño, en cada salida y sitio se tomaron tres muestras (réplicas), es decir 18 muestras por salida, para un total de 108 muestras en todo el estudio.

## 6.6 Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos.

En cada estación de muestreo se tomaron muestras puntuales, las cuales representan la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en la que se realiza su captación (IDEAM, 2002), las muestras fueron almacenadas y debidamente refrigeradas en una nevera portátil con hielo, luego transportadas al laboratorio de calidad de aguas de la Universidad del Magdalena para su análisis. En la Tabla 3 se muestran los recipientes y forma de preservación usados para cada parámetro.

**Tabla 3. Recipientes y preservación de muestras**

Análisis	Material del Recipiente	Volumen (mL)	Preservación	Almacenamiento Máximo
<b>DQO</b>	Plástico o vidrio	100	Agregar (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) hasta pH ≤ 2	Hasta 28 días
<b>Sólidos totales</b>	Plástico o vidrio	200	Refrigerar	Hasta 7 días
<b>Fósforo</b>	Vidrio	100	Agregar (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) hasta pH ≤ 2	Hasta 28 días
<b>Nitratos</b>	Plástico o vidrio	200	Agregar (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) hasta pH ≤ 2	Hasta 28 días
<b>Turbiedad</b>	Plástico o vidrio	100	Refrigerar y guardar en oscuridad	Hasta 48 horas
<b>Microbiológicos</b>	Vidrio estéril	200	Refrigerar	Hasta 30 horas

Para cada una de las estaciones de muestreo se determinaron 11 parámetros entre físicoquímicos y microbiológicos. En la Tabla 4 se muestran los métodos utilizados para

las variables analizadas tanto *in-situ* como en laboratorio para determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

**Tabla 4. Métodos usados para determinación de los parámetros en el ICA.**

Parametro	Unidades	Standard Methods
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	(mg/L)	Reflujo Cerrado
<b>Sólidos Totales (ST)</b>	(mg/L)	Método Gravimétrico
<b>Fosfatos</b>	(mg/L) PO4	Absortométrico del Ácido Ascórbico
<b>Nitratos</b>	(mg/L) NO3	Absortométrico de Reducción con Cadmio
<b>Turbiedad</b>	(ntu)	Espectrofotométrico
<b>Coliformes Totales y Fecales</b>	(ufc/100 cm3)	Filtración por Membrana

## 6.7 Índices de Calidad del Agua.

### 6.7.1 Generación del Índice de Calidad Fisicoquímica y Microbiológica ICA-NSF

Se calculó el índice de la calidad del agua de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos (NSF) para cada sitio en cada muestreo, a partir de la ecuación modificada por la NSF:

$$NSF_m = \sum (Q_i \times W_i)$$

Obteniendo el puntaje del índice a partir de los valores Q de nueve indicadores de calidad: el cambio de temperatura, porcentaje de oxígeno disuelto, cantidad de coliformes fecales, el pH, demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO<sub>5</sub>), la concentración de fosfatos totales, la concentración de nitratos totales, la turbiedad y la cantidad de sólidos totales.

### 6.7.2 Generación del Índice de Calidad Biológica BMWP/Col

La evaluación de la calidad del agua, se realizó por medio de la metodología BMWP (Biological Monitoring Working Party) implementada por Alba-Tercedor *et al.*, 2005. La asignación de valores para cada familia se hizo teniendo en cuenta los valores obtenidos por Roldán, 2003; modificado por Álvarez, 2005 para los ríos de Antioquia.

Para la aplicación, se designó el valor establecido para cada familia y al final se realizó la sumatoria de todas las familias encontradas por estación de muestreo, proporcionando de esta forma un puntaje total del índice BMWP para determinar la calidad del agua del sitio

en cuestión. Este procedimiento se repitió de igual forma para cada estación de muestreo. Con los valores obtenidos de la sumatoria se determinó la calidad biológica de las estaciones de muestreo.

### 6.7.3 Generación del Índice de Valoración de Hábitat SVAP

Se utilizó el protocolo Stream Visual Assessment Protocol (SVAP) (USDA, 2012), este evalúa el hábitat físico de un río o quebrada mediante la asignación de puntajes entre uno y diez, para esta evaluación se usan 15 parámetros, el proceso consiste en calificar estos 15 parámetros aplicando puntajes. Luego de realizados los registros para cada uno de los puntos de muestreo valorados, se realizan los cálculos del índice para cada uno de éstos, según la fórmula de Puntaje total/número de criterios evaluados. Finalmente, para cada estación se determina el promedio del valor obtenido a través de los dos puntos de muestreo considerados. A cada valor final del índice se le da un rango de calidad según el valor resultante en este promedio. En las Tablas se presentan los parámetros puntuables y las categorías de valoración consideradas por el índice SVAP.

#### Parámetros puntuables del SVAP

<b>Criterios para determinar la calidad del agua según el indicador SVAP</b>
<b>CRITERIO/VARIABLE</b>
1. Apariencia del agua
2. Sedimentos
3. Zona ribereña
4. Sombra
5. Pozas
6. Condición del cauce
7. Alteración hidrológica (desbordes)
8. Hábitat para peces
9. Hábitat para macroinvertebrados acuáticos
10. Estabilidad de las orillas
11. Barreras al movimiento de peces
12. Presión de pesca
13. Presencia de desechos sólidos
14. Presencia de estiércol
15. Aumento de nutrientes de origen orgánico (presencia de algas filamentosas)
<b>Puntaje total/# criterios evaluados</b>

Fuente: SVAP versión 2 USDA 2012

**Categorías de evaluación del SVAP**

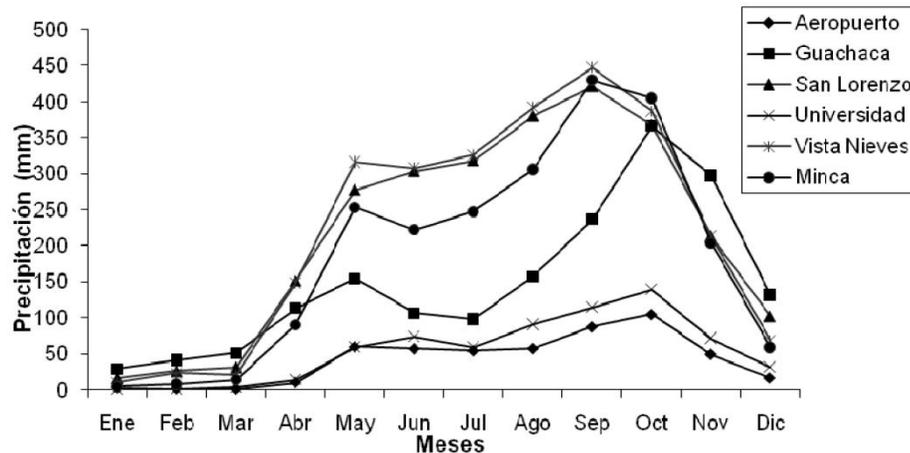
<b>VALOR SVAP</b>	<b>CALIDAD</b>
<b>9.0-10</b>	<b>EXCELENTE</b>
<b>7.0-8.9</b>	<b>BUENA</b>
<b>5.0-6.9</b>	<b>REGULAR</b>
<b>3.0-4.9</b>	<b>MALA</b>
<b>1-2.9</b>	<b>MUY MALA</b>

Fuente: SVAP versión 2 USDA 2012

## 7. Resultados y Discusión

### 7.1 Régimen Hidrológico e Hidráulico.

El flanco noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta presenta un régimen hidrológico monomodal, el cual comprende una época seca o de bajas precipitaciones que va de diciembre a marzo, seguida de una época de lluvias comprendida entre los meses de abril a noviembre, durante este periodo se presenta un leve ascenso en las precipitaciones hasta mayo, posterior a esto se presenta una estabilidad pluviométrica en los meses de junio y julio y finalmente las lluvias aumentan en el mes de octubre, periodo en el cual se alcanzan las precipitaciones más altas del ciclo anual (Tamaris-Turizo y López 2006; Prosierra 1998) (Figura 2).



**Figura 2. Precipitación multianual (1980-2004) registradas en las estaciones meteorológicas e hidrológicas del IDEAM en la cuenca del río Gaira y zonas adyacentes.**

En el presente estudio los muestreos fueron realizados entre el mes de abril y mayo del 2018, periodo que corresponde al final de la época seca e inicio de la época lluviosa. Obteniendo así datos representativos para la comunidad de macroinvertebrados, para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para las condiciones del hábitat físico y el comportamiento humano en las zonas recreativas.

Como se presenta en la Figura 3, el régimen de caudales presenta una tendencia al aumento progresivo durante las seis semanas en las que fue evaluado el caudal, este patrón es similar en las diferentes estaciones para un mismo muestreo con algunas excepciones que corresponden a lluvias puntuales durante la toma de datos. El menor caudal se presentó en la estación Minca 1 del primer muestreo con un valor de  $0.16 \text{ m}^3/\text{s}$  y el mayor en la misma estación, pero en el último muestreo (M6).

Los resultados de la medición del caudal tienen una estrecha relación con las precipitaciones locales, como es de esperarse en este tipo de ríos, los menores caudales corresponden al inicio del estudio, periodo relacionado con el final de la época seca y los mayores caudales al final del estudio que corresponde al final de la época lluviosa. Al analizar los caudales medios para cada muestreo se puede evidenciar la tendencia al aumento y a partir del quinto muestreo inicia el descenso de los caudales.

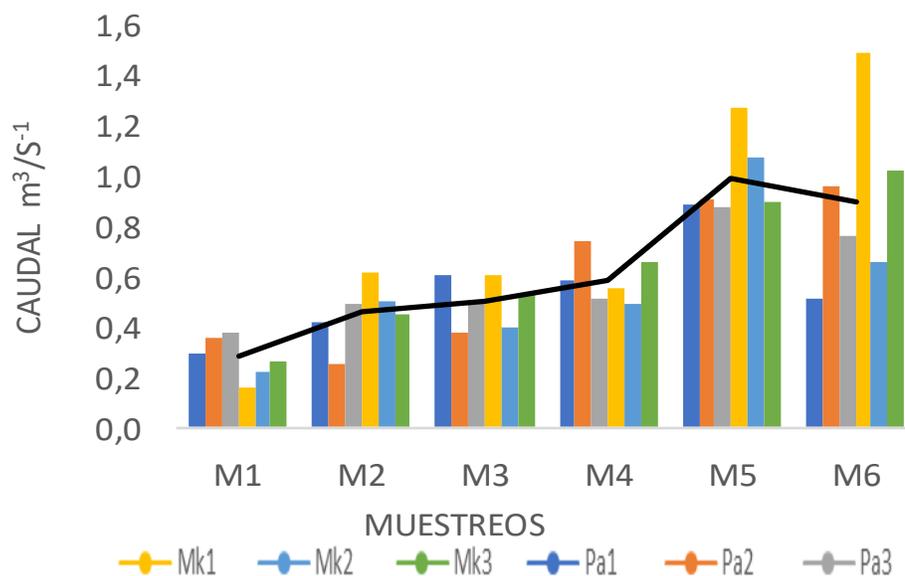


Figura 3. Caudales promedio agrupados en estaciones por muestreos, la línea continua representa el caudal medio en cada muestreo.

## 7.2 Análisis Visual de Calidad de Agua (SVAP)

En el análisis visual de calidad de agua (SVAP) se pudo determinar que existe una relación inversa entre la calidad del sistema y la ubicación altitudinal de las estaciones, a medida que se desciende el valor del índice tiende a disminuir (Figura 4).

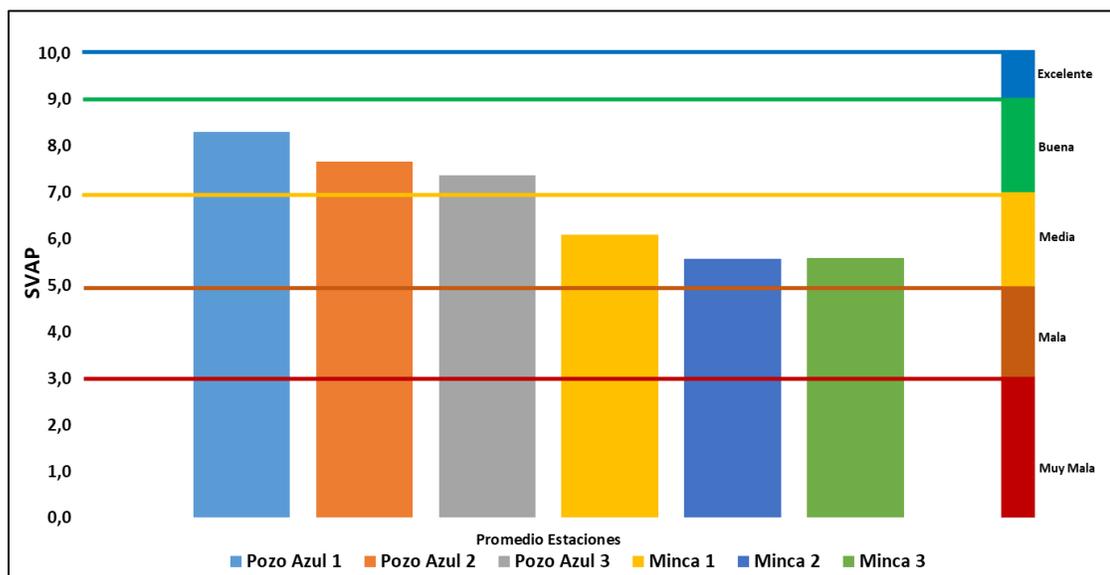


Figura 4. Comportamiento por estaciones del índice, promedio. SVAP durante el estudio.

Tabla 5. Resultados del análisis visual de calidad de agua (SVAP)

MUESTREO	ESTACIÓN					
	Pa1	Pa2	Pa3	Mk1	Mk2	Mk3
M1	8,0	7,3	7,3	6,5	5,8	5,9
M2	8,1	7,7	6,9	5,7	5,5	5,5
M3	8,0	7,8	7,5	5,7	5,3	5,3
M4	8,5	7,8	7,5	5,7	5,3	5,0
M5	8,7	7,9	7,7	6,6	5,8	5,9
M6	8,5	7,3	7,3	6,5	5,8	5,9

- Sector Pozo Azul

En el sector de Pozo Azul donde se ubicaron las tres primeras estaciones en orden altitudinal se caracterizó por no tener asentamientos humanos cerca a las riberas de cauce principal, existen pequeñas captaciones de agua para algunos cultivos de flores y hortalizas, no se evidencian ganaderías ni explotación de otras especies menores, lo que disminuye los riesgos de contaminación del agua por efecto de los fertilizantes químicos; la zona ribereña esta predominada por un bosque secundario de árboles nativos que aportan material vegetal el cual con la amplia oferta de microhábitats favorece el refugio de macroinvertebrados y peces. La descripción anterior ha sido citada en estudios que buscan establecer relaciones entre la calidad del hábitat y la

riqueza de organismos (Guerrero *et al.*, 2002), quienes encontraron en las estaciones menos intervenidas mayor riqueza biológica. La geomorfología propia de este sistema montañoso causa una gran diversidad de hábitats y microclimas que favorecen la proliferación de especies generando en pocos metros longitudinales cambios considerables en el sistema acuático que resultan más a menos atractivos para el turismo, ocasionando así puntos más concurridos e impactados a otros (Idarraga *et al.*, 2011).

En la estación 1 (Figura 5) no se registra afluencia significativa de bañistas que puedan afectar la ribera y el cauce con desechos sólidos y contaminantes, favoreciendo los altos índices del SVAP registrados en este sector. En esta estación el dosel de los árboles es abierto lo que no permite la entrada de luz solar para el desarrollo de macrófitas, la corriente es rápida y sin sedimentación, la presencia de estiércol y desechos sólidos es nula. SVAP promedio de 8,3.



**Figura 5. Estación de muestreo 1 (Pa1)**

La estación 2 (Pa2) se diferencia de la estación 1 principalmente por la alta afluencia de bañistas, quienes además de realizar actividades recreativas también preparan alimentos en las riberas del cauce principal (Figura 6). Esta estación fue la segunda con mejor calidad de acuerdo a los puntajes del SVAP (Tabla 5), a pesar del alto volumen de visitantes se encuentran condiciones favorables que ayudan a que se mantenga con niveles bajos de intervención, tales como un dosel más abierto que permite la entrada de luz solar permitiendo el desarrollo de macrófitas enraizadas a las rocas que funcionan como hábitat a macroinvertebrados y peces y ayudan a la depuración del sistema. SVAP promedio de 7,6.



**Figura 6. Estación de muestreo 2 (Pa2)**

La tercera estación de sector Pozo Azul denominada Pa3, presentó como principal particularidad un dosel mucho más abierto y una caída de agua pronunciada, se presenta un mayor número de comunidades de macrófitas enraizadas y el rocío del agua favorece el desarrollo de comunidades perifíticas en la zona de salpicadura (Figura 7). El flujo de visitantes fue bajo por lo que en esta estación se obtuvo el tercer mejor puntaje del índice SVAP, a pesar de tener una menor presión antrópica, este lugar acumula los efectos causados en las dos primeras estaciones aguas arriba. SVAP promedio de 7,4.



**Figura 7. Estación de muestreo 3 (Pa3)**

- Sector Minca:

En esta zona se ubicaron las tres últimas estaciones de muestreo, la zona es ampliamente caracterizada por ser un punto de referencia turística en la región de la Sierra Nevada de Santa Marta conllevando a una fuerte presencia de visitantes nacionales y extranjeros, con un crecimiento demográfico acelerado en los últimos años lo que se manifiesta en una mayor densidad poblacional, mayor número de viviendas y de establecimientos comerciales como hostales, restaurantes y entretenimiento nocturno. El corregimiento de Minca no cuenta con sistema de alcantarillado por lo que las aguas residuales son vertidas al cauce principal y ocasionalmente a pozos sépticos.

En estas estaciones los valores obtenidos del SVAP son los más bajos de todo el estudio (Tabla 5), lo que está relacionado directamente con los factores considerados anteriormente dado que durante todo el año se está ejerciendo una importante presión antrópica sobre la ribera y el cauce principal. La falta de formulación e implementación de un plan de ordenamiento territorial ha permitido la construcción de viviendas y establecimientos de comercio en la zona ribereña e incluso algunos se han apropiado de parte del cauce principal.

En la primera estación de este sector (Mk1) (Figura 8) se encontró un cauce principal y la zona ribereña con evidentes problemas de contaminación y alteración, la presencia de aguas estancadas, algas filamentosas y una importante urbanización humana hacen de esta estación poco importante para el turismo, no obstante se registraron en esta los valores más altos del SVAP para el sector de Minca. SVAP promedio de 6,1.



**Figura 8. Estación muestreo 4 (Mk1)**

La segunda estación de Minca (Mk2) estuvo caracterizada por un puntaje del SVAP más bajo que la anterior, en esta es muy notoria la presencia de agua estancada, afloramiento

de algas filamentosas y vertimiento de aguas residuales (Figura 9). Es importante también la presencia de una captación de agua para una estación de bombeo y de una estación hidrológica del IDEAM. La afluencia de bañistas es alta, la mayor parte de ellos son huéspedes o visitantes de hostales y restaurantes que han cercado parte del cauce. SVAP promedio de 5,6.



**Figura 9. Estación de muestreo 5 (Mk2)**

En la última estación (Mk3) la evaluación visual del hábitat registró los valores más bajos de las evaluaciones, estuvo caracterizada por convergencia más alta de bañistas, restaurantes y zonas recreativas; también se preparan alimentos en leña al aire libre, lavado de ropa y utensilios de cocina, la ribera está bastante deteriorada con árboles de poca altura que no se encuentran en el dosel, la cantidad de sombra es baja y la entrada de luz solar favorecen el desarrollo de macrófitas y otros microhábitats para macroinvertebrados y peces (Figura 10). SVAP promedio de 5,6.



**Figura 10. Estación de muestreo 6 (Mk3)**

De acuerdo con el análisis visual de la calidad del cauce y la rivera en las estaciones de muestreo del sector Pozo Azul y Minca se encontró de según la puntuación obtenida una mejor calidad en la estación más alta (PA1), calidad que decrece en las dos estaciones aguas abajo. En otros estudios se ha reportado una tendencia similar (Tamaris-Turizo *et al.*, 2018) obtienen resultados similares y argumentan que esa condición favorece el establecimiento de diferentes grupos tróficos y funcionales que también pueden ser usados como indicadores de la calidad del agua. Jaimes-Contreras y Granados Martínez (2016) encuentran mejores condiciones para la rivera en sectores alejados de los cultivos, zonas de ganadería y recreativas, generalmente aguas arriba.

## 7.3 Evaluación Físicoquímica y Microbiológica de la Calidad del Agua (ICA)

Se realizó la evaluación de la calidad del agua mediante el índice ICA de las seis estaciones de muestro durante el tiempo de monitoreo, los datos consolidados de las variables evaluadas se encuentran en la Tabla 6.

**Tabla 6. Datos consolidados de las variables físicoquímicas y microbiológicas para el análisis de la calidad del agua según el índice ICA-NSF.**

	Temp. °C	pH	Oxígeno % Saturación	Turbiedad UNT - Nefelométrico SM 2130-B	Fosfatos mg/l PO4 SM 4500 - P E.	Nitratos mg/l NO3 colorimetría SM 4500 E	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Sólidos disueltos Gravimétrico SM, 2540-C	E.coli UFC/100ml Filtración por membrana 9223B
M1PA1	19,7	6,7	98	0,32	0,086	0,7600	0,3	37	650
M1PA2	19,2	7	91	0,38	0,087	0,7200	1,1	37	763
M1PA3	20,1	6,5	115	0,8	0,088	0,6500	0,8	37	832
M1MK1	22,4	6,4	82	0,48	0,086	0,3300	1,2	39	1652
M1MK2	22,5	6,4	88	0,44	0,091	0,4400	1	41	2365
M1MK3	22,9	6,5	75	0,29	0,082	0,5400	1,5	40	2875
M2PA1	19,7	7,2	97	2,25	0,079	0,3700	0,5	34	854
M2PA2	19,8	7,1	93	1,68	0,079	0,5400	0,9	34	827
M2PA3	20,3	7,1	98	3,61	0,078	0,4400	0,6	34	759
M2MK1	21,6	7,2	80	1,76	0,08	0,2800	1,5	36	2036
M2MK2	21,7	7	85	1,22	0,067	0,4500	1,7	37	2384
M2MK3	21,9	6,8	70	1,2	0,071	0,5500	2,1	37	2547
M3PA1	19	7,25	96	3,48	0,083	0,3300	0,7	34	752
M3PA2	19,5	6,8	91	5,83	0,085	0,3700	1,3	34	901
M3PA3	20	6,2	93	4,04	0,084	0,4300	0,9	34	926
M3MK1	22	6,7	83	5,77	0,083	0,5700	1,7	38	2082
M3MK2	22	6,8	81	5,97	0,083	0,8200	1,6	37	2735
M3MK3	22	6,8	72	60,6	0,089	0,6500	2	38	3054
M4PA1	19,5	7,6	90	4,7	0,088	0,5300	0,5	39	551
M4PA2	19,8	7,3	88	5,56	0,088	0,5700	0,9	34	652
M4PA3	20	7,7	95	5,69	0,089	0,6500	0,6	33	841
M4MK1	21,2	7,4	78	6,96	0,081	0,6200	2,1	38	2391
M4MK2	21,7	6,6	87	5,14	0,081	0,4800	2	36	2799
M4MK3	21,5	6,2	64	4,98	0,082	0,4300	2,4	37	2861
M5PA1	20,3	7,5	97	1,78	0,088	0,6500	1,1	34	457
M5PA2	20,1	7,4	93	1,67	0,089	0,3900	1,5	31	668
M5PA3	20	7,4	95	1,75	0,089	0,6400	0,8	28	321
M5MK1	22,3	6,5	72	6,75	0,077	0,8800	2,8	43	927
M5MK2	21	6,3	68	5,93	0,077	0,7200	2,7	35	1682
M5MK3	22	6,4	58	6,53	0,078	0,3800	3,1	34	1983
M6PA1	19	8,4	100	1,98	0,087	0,2900	0,3	30	265
M6PA2	19,3	8,02	98	1,5	0,087	0,6200	0,6	31	426
M6PA3	19,4	8,46	101	1,63	0,085	0,3900	0,2	30	980
M6MK1	20,7	8,08	83	2,55	0,091	0,7200	1,7	36	1524
M6MK2	21,3	8,46	84	2,01	0,091	0,7400	1,3	34	1937
M6MK3	21,3	8,2	73	2,8	0,093	0,6700	2,1	34	2236

En términos generales se encontró que la calidad del agua está relacionada con las condiciones particulares de cada estación, así como del momento hidrológico evaluado durante el monitoreo de estudio. Se presenta una relación directa entre los valores del índice ICA y los cambios espaciales y temporales de las estaciones y muestreos respectivamente, a medida que avanzaron los muestreos el valor del índice disminuyó (Figura 11).

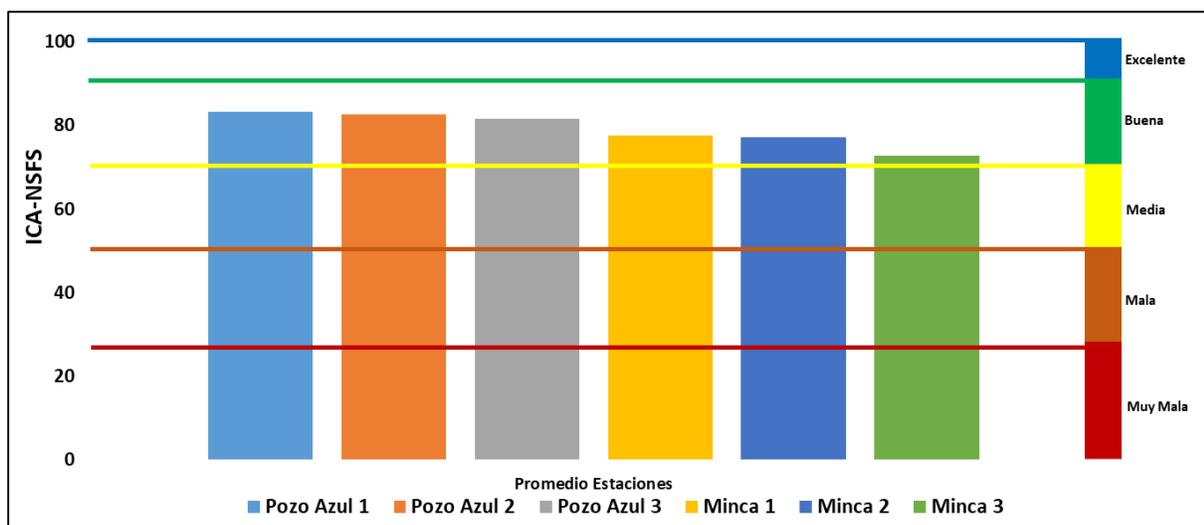


Figura 11. Comportamiento por Estaciones del índice ICA-NSF en el río Gaira.

En la Tabla 7 se encuentran los valores calculados del índice para cada estación y muestreo.

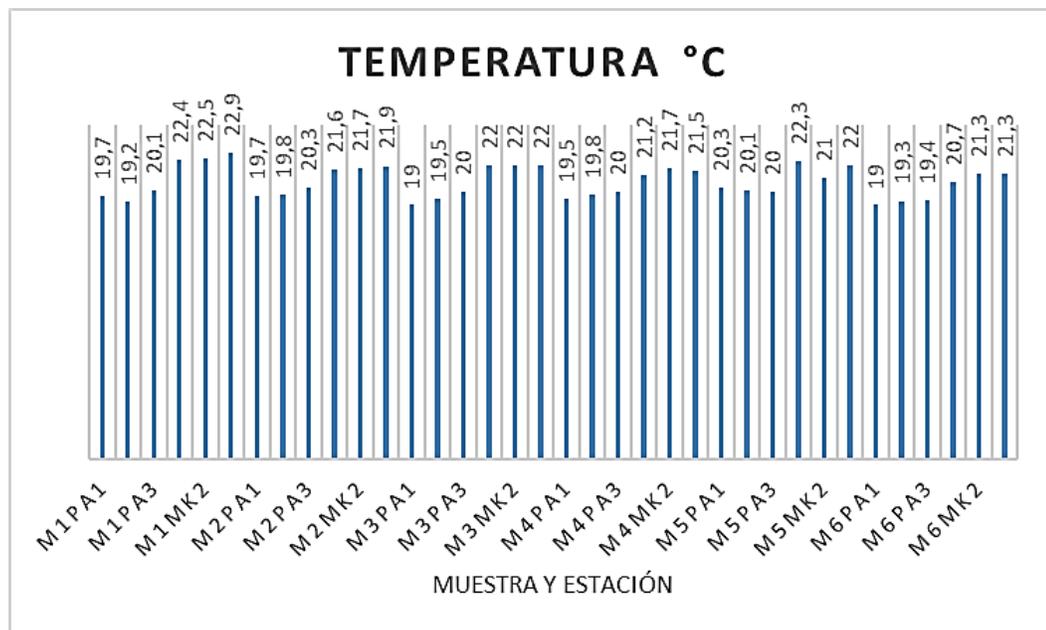
Tabla 7. Valores de índice ICA-NSF

	Pa1	Pa2	Pa3	Mk1	Mk2	Mk3
<b>M1</b>	83	83	80	78	79	77
<b>M2</b>	84	83	83	80	80	75
<b>M3</b>	83	81	79	78	78	71
<b>M4</b>	83	82	82	77	77	70
<b>M5</b>	84	83	85	74	71	68
<b>M6</b>	83	84	81	78	78	75

- **Temperatura del Agua.**

La temperatura presentó variaciones importantes relacionadas con la época del monitoreo y la altura sobre el nivel del mar. Se registraron los valores más altos en la época de seca y los más bajos en la transición hacia las lluvias (Figura 12).

El factor determinante en la temperatura fue la altitud, dado que los valores más bajos se registraron en el sector de Pozo Azul, con una tendencia a aumentar a medida que se desciende en altura; así mismo los valores más altos se registraron en el sector de Minca, siendo la última estación de este sector donde se registró la más alta de todo el estudio (Figura 12).

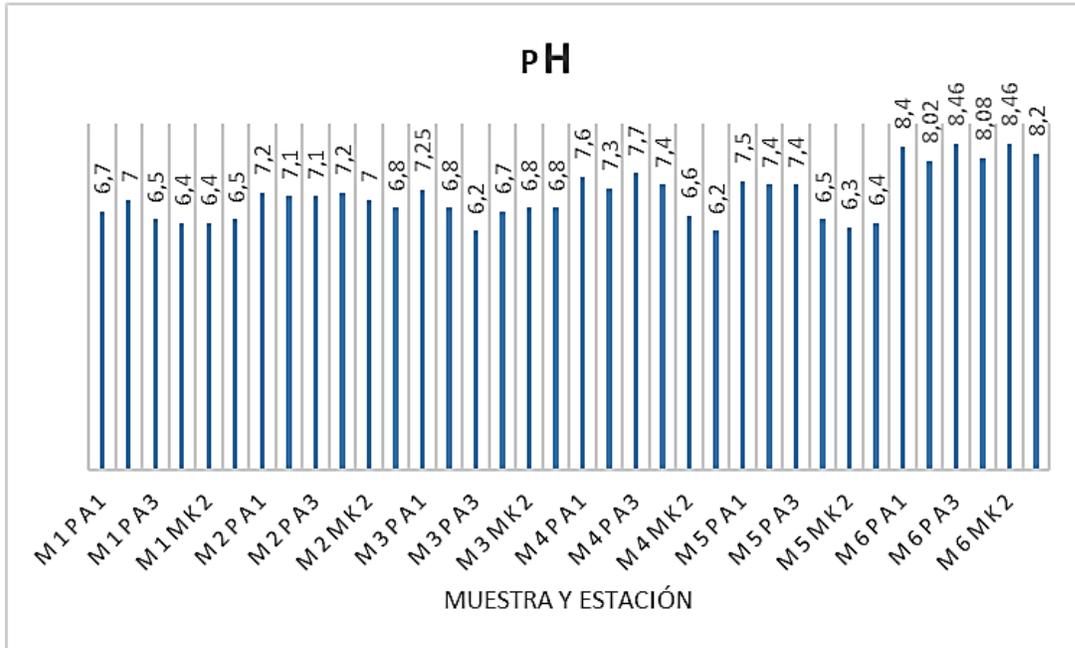


**Figura 12. Variación de la temperatura en sitios de muestreo**

Sin embargo, a pesar de las variaciones encontradas estas no son muy grandes, debido a que en toda la zona de estudio no se encuentran industrias, fábricas ni grandes urbanizaciones que puedan afectar significativamente este parámetro.

- **pH**

No se encontraron grandes variaciones en los valores del pH en las diferentes estaciones, sin embargo, hacia los últimos muestreos se registraron los valores más altos y en la época de bajas precipitaciones los valores más bajos (Figura 13). El valor más bajo se obtuvo en la tercera estación de Pozo Azul en el tercer muestreo (M3PA3, pH 6,2), mientras el más alto se obtuvo en la segunda estación de Minca en el sexto muestreo (M6MK2, pH 8,46).



**Figura 13. Variación del pH en los sitios de muestreo**

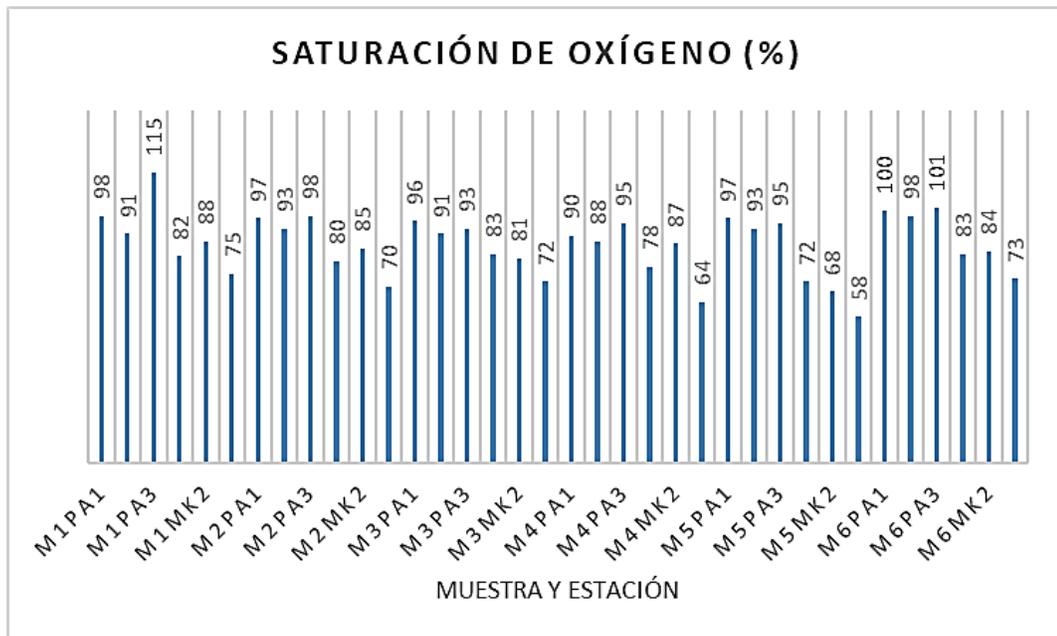
A pesar de presentar variaciones, el pH se mantiene relativamente similar en las estaciones, ajustándose a los valores promedio para ecosistemas de similares condiciones clasificándose como aguas neutras en promedio por estar en el rango de 6 a 9. El movimiento de la materia orgánica y la escorrentía generada por las lluvias aporta material aloctono al cauce principal, lo cual ocasiona aceleramiento en el metabolismo del sistema y podría ser la causa del pH más alto en la época de lluvias.

- **Saturación de Oxígeno**

El oxígeno es un parámetro que responde a la altura sobre el nivel del mar, a la presión atmosférica y la temperatura. La variación, aunque es notoria en algunas muestras puntuales se obtuvo siempre dentro del rango aceptable para un sistema con buena calidad del agua, ya que permite el desarrollo de múltiples formas de vida, sobre todo de especies raras que en conjunto favorecen la dinámica funcional del ecosistema.

En este estudio se encontró una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de saturación de oxígeno y la altitud, siendo en las estaciones del sector Minca donde se registraron las aguas con menor cantidad de oxígeno y en Pozo Azul las aguas más ricas en oxígeno (Figura 14). El valor más bajo registrado se encontró en la tercera estación de Minca hacia el quinto muestreo (M5MK3), mientras el porcentaje más alto se obtuvo en la tercera estación de Pozo Azul en el primer muestreo (M1PA3), estos datos están relacionados con las características particulares de cada estación dado que en la estación

MK3 se encuentra una alta concentración de materia orgánica, aguas estancadas y algas filamentosas, además de ser vertedero de aguas domésticas residuales (Figura 10); en contraste la estación PA3 está fuertemente marcada por una cascada que junto a un dosel abierto y gran cantidad de macrofitas, propicia la incorporación de oxígeno al agua (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Figura 7).

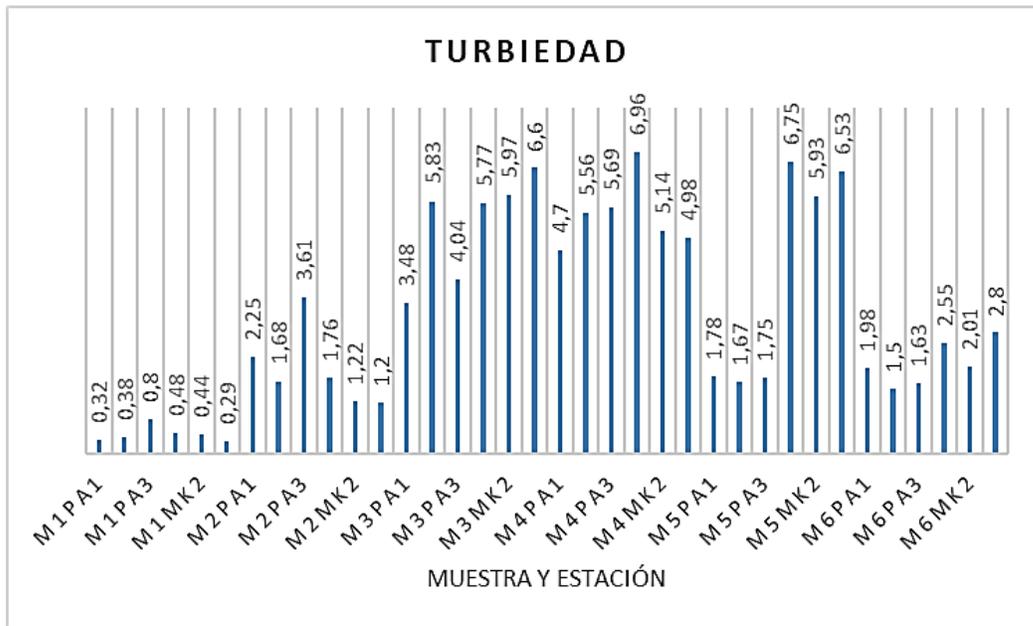


**Figura 14. Variación del Oxígeno (% de Saturación) en los sitios de muestreo**

Según el parámetro de saturación de oxígeno, la calidad del agua en el sector de pozo azul se considera excelente, mientras en Minca entraría en el rango de mala.

- **Turbiedad**

La medida de la turbiedad está relacionada con la cantidad de sedimentos y materia orgánica suspendidos en la columna de agua, en este estudio los valores de este parámetro estuvieron marcados por las lluvias puntuales que se presentaron durante los días de muestreo, no se presenta una tendencia clara o marcada, sin embargo, se aprecia que en el sector de Pozo Azul en promedio la turbiedad del agua es menor en comparación a Minca (Figura 15).

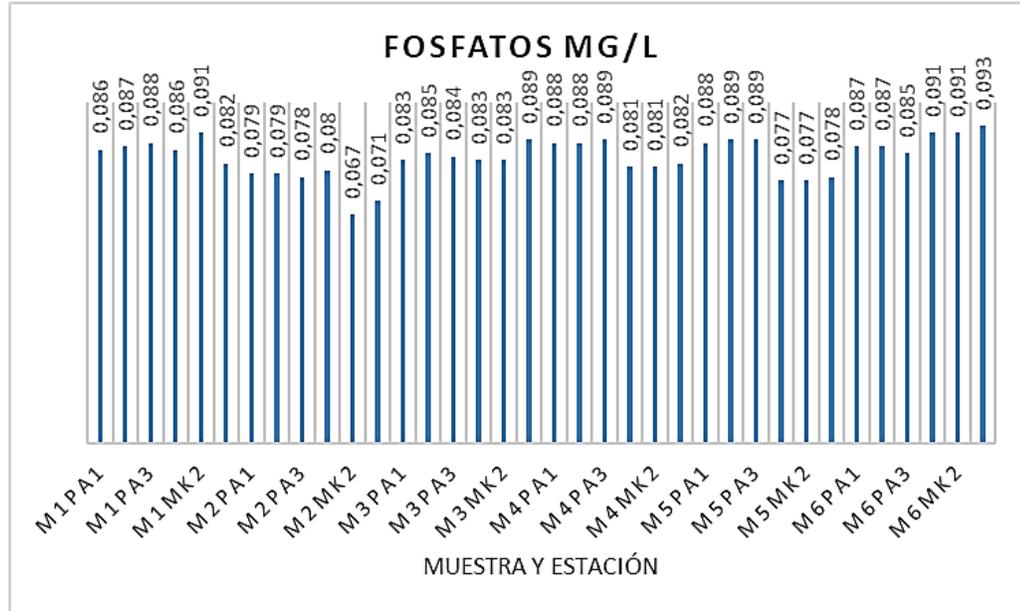


**Figura 15. Variación de la turbiedad (NTU) en los sitios de muestreo**

El valor más alto para la turbiedad del agua se registró en la primera estación de Minca hacia el cuarto muestreo (M4MK1), día que coincidió con una fuerte precipitación. Mientras el menor valor se encontró en la tercera estación de Minca hacia el primer muestreo (M1MK3).

- **Fosfatos.**

Los fosfatos presentes en el agua sirven como nutrientes a las plantas y ayudan al crecimiento de algas, pero en concentraciones muy altas causa eutrofización del sistema. La concentración de fosfatos en este estudio osciló entre 0,067 mg/L a 0,093 mg/L (Figura 16). Como se observa en la figura, los mayores valores de este parámetro se agrupan en el sector de Minca, siendo más notorio en la última estación, lo que indica focos puntuales de vertimiento de aguas residuales domésticas.

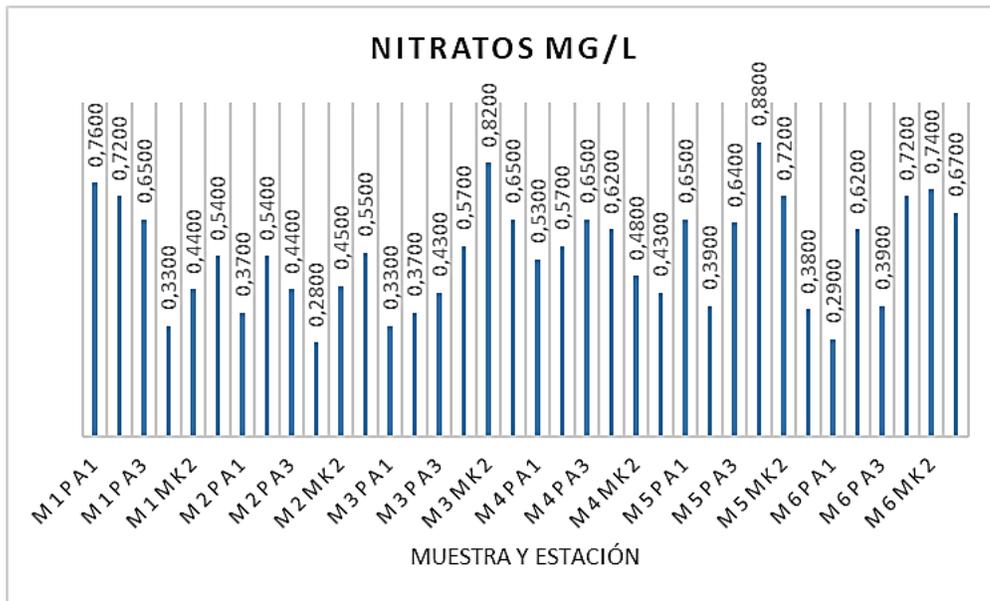


**Figura 16. Variación de los Fosfatos (mg/L) en los sitios de muestreo**

Los compuestos de fosfato encontrados en las aguas residuales y que son vertidos al cauce del río en el sector de Minca provienen principalmente de fertilizantes, excretas de humanos y animales, detergentes y productos de limpieza. A pesar de lo anterior, los valores encontrados se encuentran dentro del límite permisible para el agua tanto para consumo humano como para la calidad fisicoquímica del agua superficial.

- **Nitratos**

La concentración de nitratos es un indicador directo de contaminación orgánica, proviene de la fijación del nitrógeno orgánico de terrenos cultivados y ganaderías. En el área de estudio este tipo de perturbación no es muy frecuente, sobre todo en el sector de Pozo Azul, sin embargo, en Minca se observa un aumento en la concentración de nitratos sobre todo en los últimos muestreos (Figura 17).

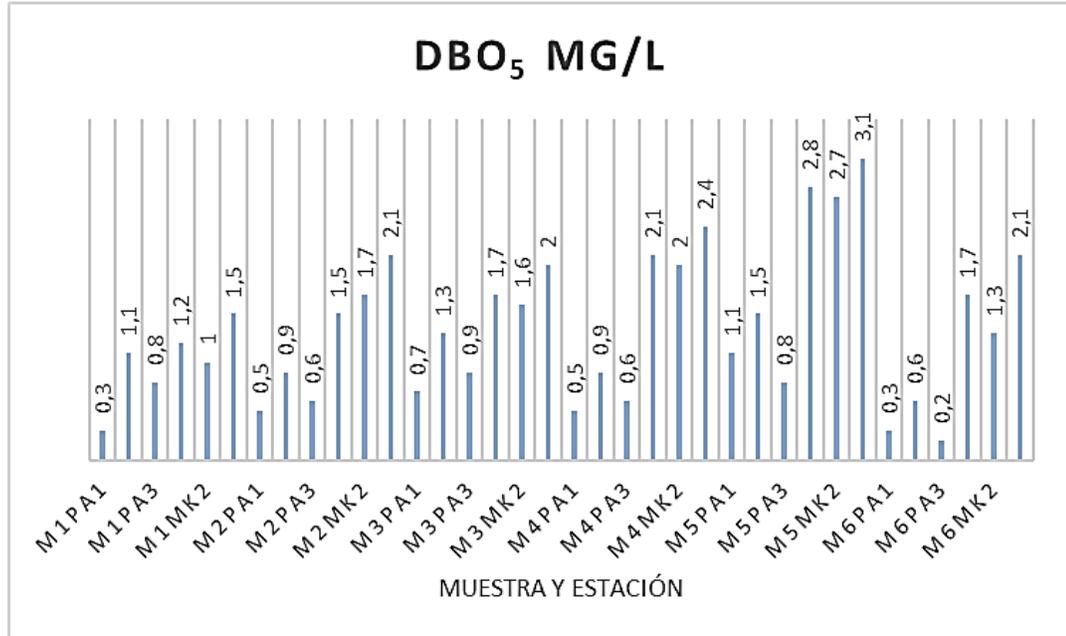


**Figura 17. Variación de los Nitratos (mg/L) presentes en los diferentes sitios de muestreo**

Los valores de concentración de nitratos registrados en este estudio oscilaron entre 0,28 mg/L y 0,88 mg/L en los muestreos M2MK1 y M5MK1 respectivamente. Con el aumento de las precipitaciones también se aumenta la concentración de esta variable, lo cual puede estar relacionado con un aumento de descarga de aguas residuales y mayor aporte de nutrientes provenientes de la cuenca, especialmente aguas abajo en el sector de Minca. No obstante, según lo establecido en la norma vigente los valores registrados se encuentran dentro del rango permitido para uso doméstico y calidad ecosistémica.

#### • Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>

Según Sawyer (1978) la DBO<sub>5</sub> es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica biodegradable y es definido como la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar, mediante bacterias aeróbicas, la materia orgánica presente hasta una forma inorgánica estable. La concentración de DBO<sub>5</sub> varió entre 0,2 mg/L y 3,1 mg/L (Figura 18), aumentado discretamente con el aumento de las precipitaciones locales que, como se ha mencionado anteriormente coadyuvan al aporte de materia orgánica biodegradable al cauce. En el sector de Minca se registraron los valores más altos y en Pozo Azul los más bajos para este parámetro.



**Figura 18. Variación de la DBO<sub>5</sub> (mg/L) en los sitios de muestreo**

De acuerdo con los valores medidos, la demanda bioquímica de oxígeno indica que en las estaciones de Minca se supera el valor máximo permitido para consumo humano (2 mg/L) por lo cual, según este parámetro la calidad del agua es no apta.

- **Sólidos Totales Disueltos.**

La variación de los sólidos disueltos no presentó grandes variaciones entre estaciones ni en los muestreos, sin embargo, hay unos datos puntuales donde aumenta con las lluvias que se presentaron durante el momento del muestreo, al haber más material de arrastre ingresando al cauce desde la cuenca. El valor menor registrado fue de 28 mg/L en la estación PA3M5, mientras que el más alto fue de 43 mg/L en la estación M5MK1 (Figura 19).

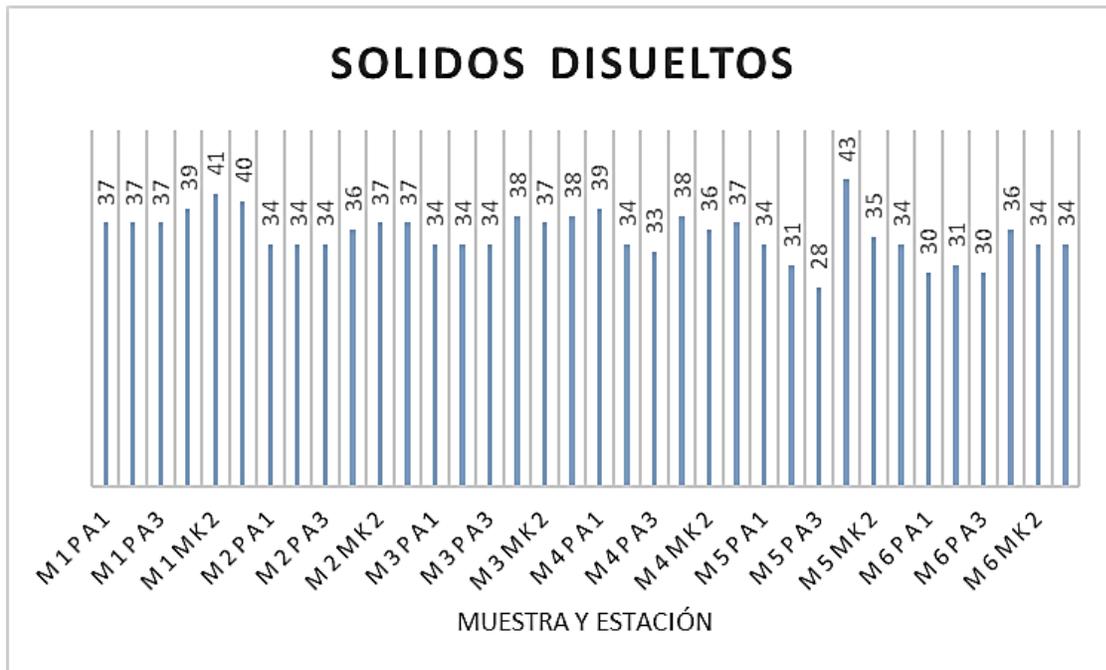
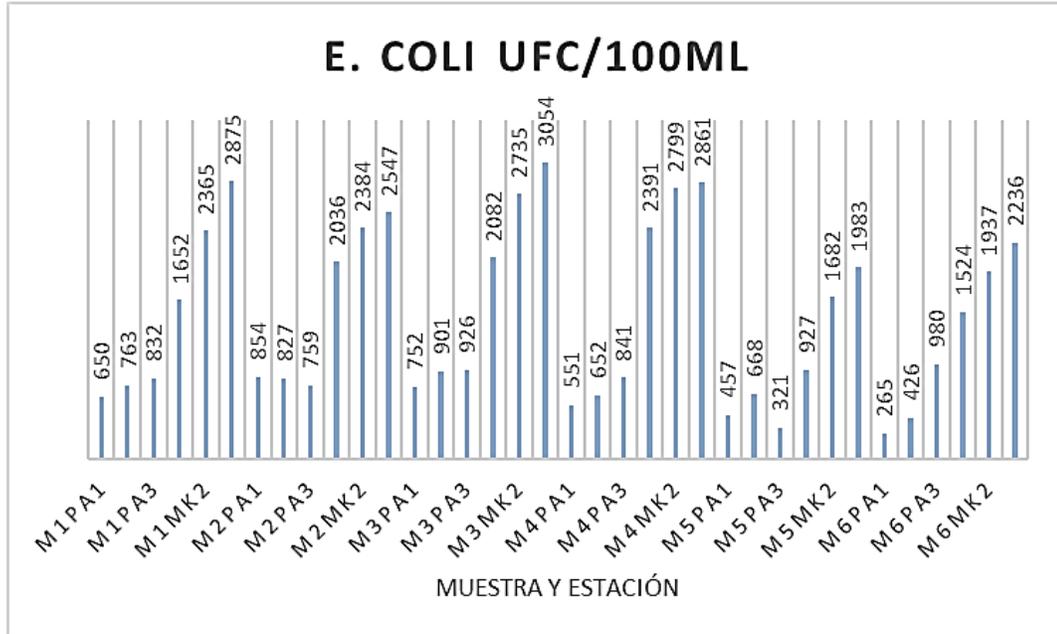


Figura 19. Variación de los sólidos totales disueltos (mg/L).

- ***Escherichia coli* UFC/100 mL**

Las cantidades de colonias encontradas de este microorganismo a lo largo de todo el tramo de estudio evidencian una contaminación por vertimientos de aguas residuales desde el punto más alto y que aumenta aguas abajo, lo que convierte el agua en no apta para el consumo humano. El menor valor se registró en la primera estación de Pozo Azul en el sexto muestreo con 265 UFC/100 mL, mientras que el más alto valor fue 3054 UFC/mL en la tercera estación de Minca hacia el tercer muestreo (Figura 20); con un valor promedio de 1458 UFC/mL en el área de estudio.



**Figura 20. Variación de *Escherichia coli* (UFC/100 mL) encontrada en los diferentes sitios de muestreo**

Como se aprecia en la Figura 20, la concentración de *E. coli* aumentó a lo largo del cauce y alcanzó su máxima concentración en el último punto de muestreo. El límite máximo permisible en el agua para consumo humano es de 0 UFC/100 ml.

- **Índice ICA-NSF**

En el sector de Pozo Azul, donde se ubicaron las tres primeras estaciones en orden altitudinal, se caracterizó por presentar un agua de categoría de calidad buena, de acuerdo al índice ICA-NSF. Valor promedio de 83 en las estaciones 1 y 2 y de 82 en la estación 3.

En el sector de Minca, donde se ubicaron las tres últimas estaciones en orden altitudinal, se caracterizó por presentar un agua de categoría de calidad buena, de acuerdo al índice ICA-NSF, pero con valores inferiores a los presentados en el sector de Pozo Azul, evidenciando el deterioro del agua. Valor promedio de 78 en la estación 4, de 77 en la estación 5 y de 73 en la estación 6.

En general de índice de calidad del agua evaluando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mostró un agua en estado ambiental óptimo para el desarrollo de actividades recreativas y la biota acuática. En otras evaluaciones (Guerrero *et al.*, 2003), (Márquez, 2014) relacionan la importancia de las descargas y vertimientos

sobre la calidad del agua en sitios puntuales que aguas abajo el sistema depura mediante procesos metabólicos.

(Romero *et al.*, 2018) sustentan que el agua de estas fuentes puede ser utilizada para fines agrícolas, pecuarios y recreativos mediante contacto primario y secundario, así como para preservación de fauna y flora y mantenimiento de ecosistemas asociados; además, son susceptibles de ser tratadas para obtención de agua potable. El agua cruda (agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización) del corregimiento Minca no cumple con las condiciones de color, turbiedad, concentración de nitritos y coliformes totales y fecales establecidas por la normatividad nacional vigente.

## 7.4 Estructura y Composición de la Comunidad de Macroinvertebrados.

La comunidad de macroinvertebrados en el área estudiada estuvo representada por un total de 10121 individuos, el sector con mayor riqueza fue Pozo Azul con el 71% del total, mientras que Minca solo fue representado con el 29% del total de macroinvertebrados colectado. Se identificaron un total de 29 familias distribuidas en 10 órdenes, los órdenes más abundantes fueron *Díptera* y *Trichoptera* con 29% y 24% respectivamente (Figura 21).

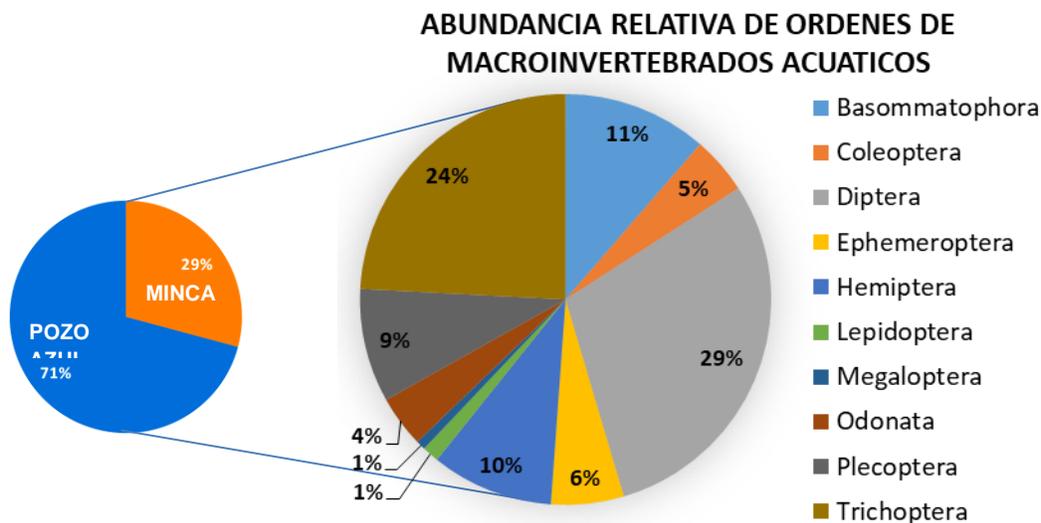
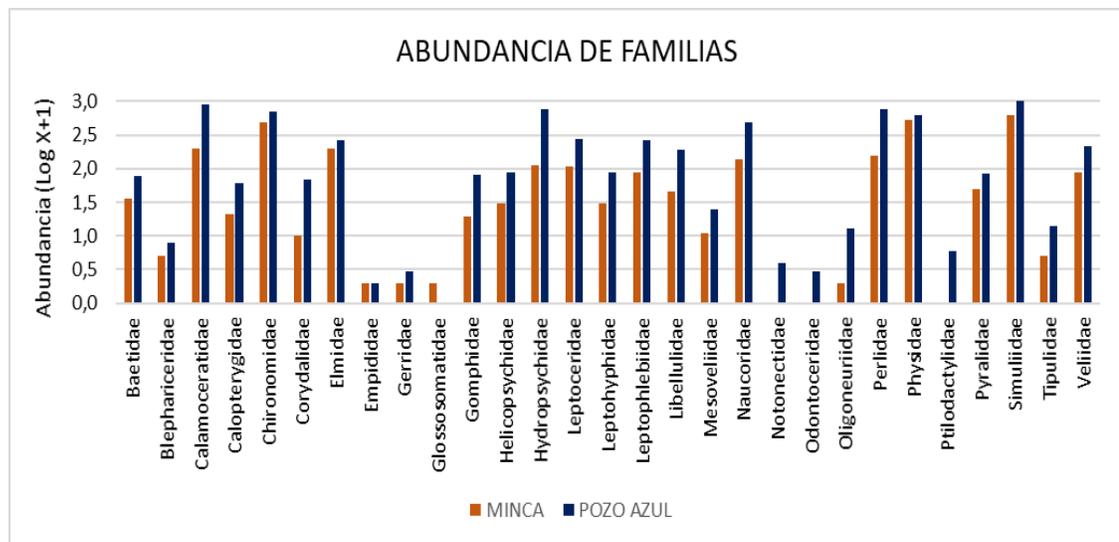


Figura 21. Composición de órdenes de la comunidad de macroinvertebrados.

En todas las muestras analizadas el número de individuos por familia fue siempre mayor en el sector de Pozo Azul que en Minca, de todas las familias registradas tres fueron encontradas únicamente en Pozo Azul (*Notonectidae*, *Odontoceridae* y *Ptilodactylidae*) mientras que *Glossosomatidae* fue reportada únicamente en el sector de Minca.

En la Figura 22 se compara la composición de familias en los dos sectores estudiados, los datos brutos de abundancia fueron transformados a escala logarítmica ( $\log X+1$ ) para disminuir la dispersión causada por las familias más abundantes y resaltar las raras. Las familias del orden Díptera (*Simuliidae* y *Chironomidae*), Basommatophora (*Physidae*) y Trichoptera (*Calamoceratidae*) fueron las más abundantes durante todos los muestreos en las diferentes estaciones.



**Figura 22. Abundancia global de familias de macroinvertebrados acuáticos.**

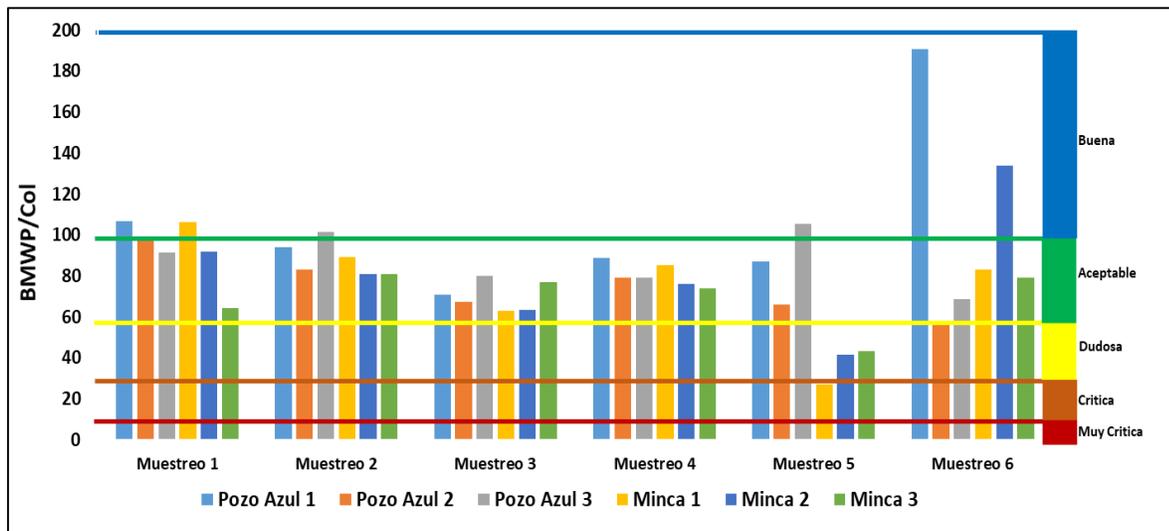
La riqueza y abundancia de familias encontradas en el sector de Pozo Azul es un reflejo que confirma la buena condición física y ecológica de los hábitats, son varios los factores que confluyen como la vegetación ribereña, la escasez de construcciones y vertimientos a lo largo de las estaciones y la alta disponibilidad de hábitats; son elementos que sin duda influyen positivamente en la colonización y refugio de los macroinvertebrados acuáticos e impactan directamente en la composición los microhábitats de su fauna asociada (Padilla y Tamaris, 2011) (Tamaris *et al.*, 2013).

Es muy notoria la presencia recurrente de familias de Efemerópteras, Plecópteras y Trichópteras que indican buena calidad del agua ya que sus adaptaciones morfológicas y fisiológicas hacen difícil que puedan sobrevivir en condiciones de aguas estancadas, sucias y con poco oxígeno (Rodríguez y Ospina, 2011).

La presencia de la mayoría de familias en todas las estaciones denota que los procesos de recolonización y adaptaciones morfofisiológicas de algunos organismos son dinámicos y responden a distintas presiones ambientales, a pesar de haberse encontrado aguas más contaminadas en Minca con la alta abundancia y recurrencia de taxas como Physidae que indican aguas muy contaminadas y estancadas, en estos sitios también se registraron las mismas familias que en las aguas más limpias de Pozo Azul, característica que está altamente influenciada por la gran disponibilidad de macro y microhábitats, corrientes rápidas, lentas, cascadas y pozas, los cuales convergen en más espacio y refugio para los organismos acuáticos (Eyes, 2012).

- **Evaluación Biológica de la Calidad del Agua (BMWP/Col)**

La evaluación biológica de la calidad del agua mediante la aplicación del índice BMWP/Col (Roldán, 2003) arroja una variabilidad alta que abarca desde 27 puntos (aguas en estado crítico de contaminación) en la estación Minca 1 para el quinto muestreo, hasta un puntaje de 191 (aguas de excelente calidad) en la estación Pozo Azul 1 hacia el sexto muestreo. En la Figura 23 se presentan los resultados del índice BMWP/Col para los seis puntos evaluados en el tramo medio del Río Gaira en la Sierra Nevada de Santa Marta.



**Figura 23. Comportamiento Por Muestréos y Estaciones del índice BMWP/Col en el Río Gaira.**

De las seis estaciones monitoreadas ninguna presentó estado muy crítico de contaminación, solo una (Minca 1, muestreo 5) presentó estado crítico; con calidad dudosa estuvieron las estaciones Pozo Azul 2 en el muestreo seis, Minca 2 y 3 en el quinto muestreo; en el rango de calidad aceptable de contaminación estuvieron concentradas la

mayoría de las estaciones con puntajes desde 63 (estación Minca 1, tercer muestreo) hasta 98 (estación Pozo Azul 2, primer muestreo). Siete muestras se registraron en la categoría de buena calidad del agua, de estas, dos en el sector de Minca y cuatro en Pozo Azul, denotando una vez más las mejores condiciones de esta parte de la cuenca que en su conjunto resultan en aguas más limpias y aptas tanto para consumo humano como para el establecimiento de los diferentes taxa que componen la estructura de macroinvertebrados acuáticos.

El resultado del análisis de índice BMWP/Col promediado por estaciones se presenta en la figura 24. Los valores obtenidos responden claramente a las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de la microcuenca, así como también se relacionan altamente con la presión antrópica ejercida por el turismo y las actividades de hostales restaurantes. Se encuentra que la primera estación de Pozo azul presenta el agua de mejor calidad (valor del índice de 106), posiblemente por ser la más alta y recibir menos bañistas. En la segunda estación de Pozo Azul se obtuvo el índice más bajo para este sector (valor del índice de 75), es importante en este punto el efecto negativo que causan los bañistas sobre la comunidad de macroinvertebrados ya que esta estación se caracteriza por recibir la mayor cantidad de bañistas del sector. En la última estación de Pozo Azul el estado la calidad del agua presenta evidencias de recuperación, ya que a pesar de llevar la carga de las estaciones anteriores la comunidad de macroinvertebrados tiende a recuperarse (valor del índice de 88). Aunque no registran muchos estudios de evaluación de la calidad del agua en este sector, algunos como Guerrero *et al.*, (2002) coinciden en una mejor riqueza de organismos en los sitios que según los resultados de SVAP de este estudio son los más conservados.

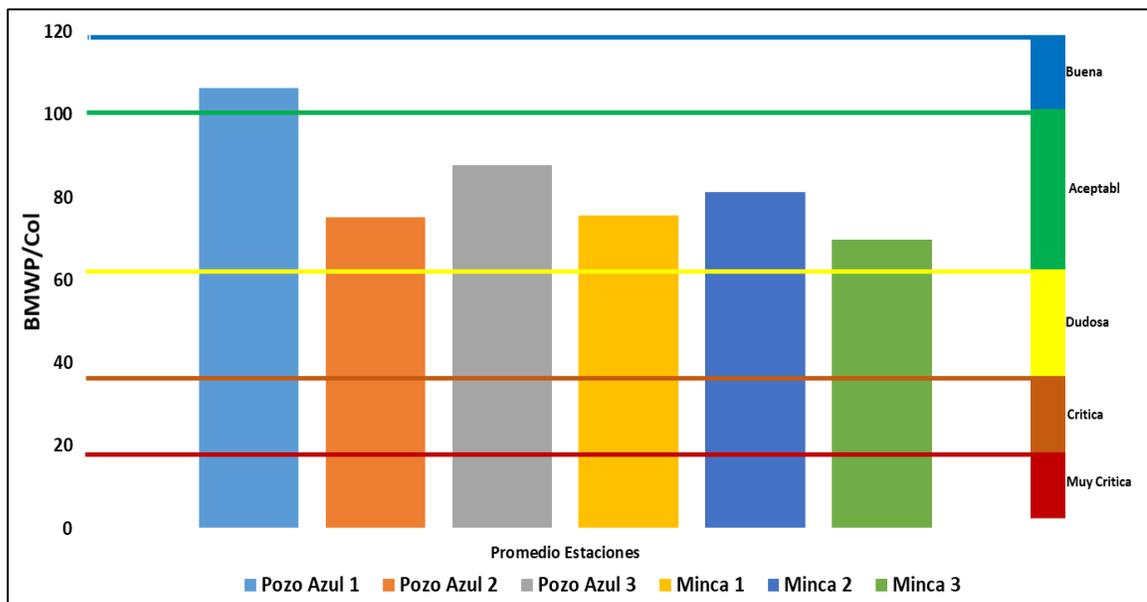


Figura 24. Comportamiento Por Estaciones del índice BMWP/Col en el Río Gaira.

En el sector de Minca se presenta un patrón contrario a Pozo Azul, la primera y última estación presentan los menores puntajes, mientras la segunda estación está un poco menos impactada (valor del índice de 81); características que se dan como consecuencia de la actividad que se desarrolla en cada punto en particular. En la primera estación se encontraron varios puntos de vertimiento de aguas residuales domiciliarias por ser este un sector con gran número de hostales, en la ribera y el cauce principal se evidencia el impacto causado por la deforestación, es muy evidente la aparición de colonias de algas filamentosas y lodo en las orillas (valor del índice de 76). Finalmente, en la tercera estación el bajo índice de calidad (valor del índice de 70) puede estar dado por los restaurantes que se encuentran a la orilla de la ribera, estos producen vertimiento de aguas residuales y varios de ellos han establecido las mesas y sillas dentro del cauce, provocando así una perturbación importante en la comunidad de macroinvertebrados.

### **Índice global de calidad)**

Para determinar la calidad global de las aguas superficiales en las microcuencas, se utilizó el índice global de calidad, construido por Rodríguez et al., 2018 que se integra por partes iguales de los índices de calidad físico-química (ICA-NSF), de calidad biológica (BMWP/Col) y de calidad de hábitat (SVAP).

Con el fin de obtener el índice global de calidad de agua en la escala de 0 a 1, para el cálculo se realizó el siguiente procedimiento:

- Se divide entre 100 el valor obtenido para el índice de calidad fisicoquímica y se divide, nuevamente, por 3.
- Se divide entre 123 el valor obtenido para el índice de calidad biológica y se divide, nuevamente, por 3.
- Se divide entre 10 el valor obtenido para el índice de calidad de hábitat y se divide, nuevamente, por 3.
- Finalmente se suman los valores resultantes de los 3 índices.

La siguiente ecuación ilustra la forma en que se obtiene el valor del índice global de calidad.

$$IGC = (ICA/300 + BMWP/369 + SVAP/30)$$

En la Tabla 8 se presentan las categorías del índice global de calidad, de acuerdo con los valores obtenidos.

**Tabla 8. Categorías del índice global de calidad**

ICA GLOBAL	CLASIFICACIÓN
0,90-1,0	Excelente
0,70-0,89	Buena
0,50-0,69	Media
0,30-0,49	Regular
0-0,29	Mala

Fuente: Rodríguez *et al.*, 2018

En la Tabla 9 se presentan los resultados del índice global de calidad para las 6 estaciones evaluadas.

**Tabla 9. Comportamiento del índice global de calidad por muestreos y estaciones en el río Gaira**

Estación\Muestreo	PA1	PA2	PA3	MK1	MK2	MK3
1	0,83	0,79	0,76	0,76	0,71	0,63
2	0,80	0,76	0,78	0,70	0,67	0,65
3	0,74	0,71	0,73	0,62	0,61	0,62
4	0,80	0,75	0,74	0,68	0,64	0,60
5	0,81	0,72	0,83	0,54	0,54	0,54
6	0,89	0,68	0,70	0,70	0,82	0,66
Promedio	0,81	0,73	0,76	0,67	0,66	0,62

De acuerdo a los resultados condensados en la Tabla 9 se presenta, en promedio, un deterioro en la calidad del agua, que va siendo gradual al pasar de la estación 1 (sector pozo azul), área menos intervenida con actividades antrópicas, en el cual el índice de calidad global fue de 0,81 correspondiente a una calidad de agua de categoría buena, hasta llegar a la estación 6 (sector de minca), área más intervenida con actividades antrópicas, en el cual el índice de calidad global es de 0,62 correspondiente a una calidad de agua de categoría media, equivalente, por lo tanto, a una pérdida de calidad del agua del 23,5%, en el transecto evaluado.

Lo anterior sugiere que el uso del recurso hídrico para fines recreativos y como sumidero de las aguas residuales domésticas provenientes tanto del sector del turismo como de los asentamientos humanos presentes en la zona, está generando un impacto negativo sobre la calidad del agua superficial, aceptando la hipótesis planteada “*la presencia de asentamientos humanos afecta negativamente la calidad del agua en el tramo medio del río Gaira*”.

La recuperación de la calidad del agua en el tramo medio del río Gaira debe incorporar el establecimiento de un modelo de gestión integral del recurso hídrico que involucre a la comunidad, al sector turístico y al gobierno nacional, mediante la capacitación y la sensibilización, de los diferentes actores involucrados, en torno a la protección de los recursos hídricos y a la aplicación de la normativa hídrica vigente para los diferentes usos del recurso hídrico en el sector.

## 8. Conclusiones y Recomendaciones

### 8.1 Conclusiones

En la Sierra Nevada de Santa Marta se mantiene, a pesar de las presiones antrópicas, del daño causado por el calentamiento global, un régimen de precipitaciones anuales que ayuda a mantener la estructura y funcionalidad de los cuerpos de agua, situación que favorece el desarrollo de actividades económicas y culturales en las poblaciones humanas que circundan los ecosistemas lóticos. A pesar de la variabilidad en estos regímenes, las comunidades biológicas encuentran las estrategias adaptativas para sobrevivir, esto es evidente al comparar los resultados con estudios anteriores que indican la no pérdida de riqueza de organismos.

Así mismo, el análisis visual de calidad del agua, arroja una perspectiva importante a cerca de las condiciones generales en el tramo evaluado, donde se evidencia el mejor estado ecológico de las tres estaciones en el sector Pozo Azul, que fueron catalogadas como buenas; mientras las tres de Minca se agruparon en una categoría inferior con una calidad del agua aceptable. La estación mejor conservada es la primera de Pozo Azul, esto como respuesta a las propias condiciones del lugar, mientras que la segunda de Minca recibe la mayoría de bañistas y turistas, así como las descargas de aguas residuales de restaurantes y hostales, lo que explica su menor índice de calidad.

La evaluación de la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos muestra otro aspecto de la microcuenca que no es posible mediante otros análisis, sin embargo, a pesar de ser más rigurosa y cuantitativa presenta una tendencia similar a la evaluación visual. Todas las estaciones fueron categorizadas como aguas de buena calidad a pesar de las diferencias claras entre ellas en cuanto al uso dado para actividades humanas. Se mantiene el sector de Pozo Azul con mejor calidad del agua que en Minca.

En el presente estudio se registró una riqueza de familias de macroinvertebrados muy importante que concuerda con otros monitoreos, así como de taxones muy raros que escasamente son registrados en otros estudios a pesar de conocerse su presencia en este ecosistema, tal es el caso de la familia Physidae y Leptoceridae, el primero un molusco

indicador de aguas estancadas y el segundo un efemeróptero indicador de aguas muy limpias y oxigenadas.

La evaluación de la calidad del agua mediante macroinvertebrados acuáticos usando el índice BMWP/Col se convierte en un valor agregado indispensable en estudios de este tipo, dado que permite dar una perspectiva desde otro ángulo de análisis, que al final se encuentra íntimamente relacionada con las otras metodologías de evaluación aplicadas.

De acuerdo a este índice, la estación con mejor calidad del agua es nuevamente el primer punto en Pozo Azul y el último se encuentra nuevamente en Minca con el menor puntaje. Con este índice las variaciones entre estaciones son más marcadas, sin embargo, todas fueron categorizadas en calidad aceptable y buena. Es relevante en este aspecto la asignación de la segunda estación de Pozo Azul en el mismo nivel y debajo que las de Minca, esto es un claro indicador de la sensibilidad del ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos a la presión causada por las actividades humanas ya que en esta estación de Pozo Azul es donde confluye la mayoría de bañistas del sector, mientras que en Minca es más afectado por los vertimientos de restaurantes y hostales.

Se presentó, en promedio, un deterioro en la calidad del agua, que va siendo gradual al pasar de la estación 1 (sector Pozo Azul), área menos intervenida con actividades antrópicas, en el cual el índice de calidad global fue de 0,81 correspondiente a una calidad de agua de categoría buena, hasta llegar a la estación 6 (sector de Minca), área más intervenida con actividades antrópicas, en el cual el índice de calidad global es de 0,62 correspondiente a una calidad de agua de categoría media, equivalente, por lo tanto, a una pérdida de calidad del agua del 23,5%, en el transecto evaluado.

Lo anterior sugiere que el uso del recurso hídrico para fines recreativos y como sumidero de las aguas residuales domésticas provenientes tanto del sector del turismo como de los asentamientos humanos presentes en la zona, está generando un impacto negativo sobre la calidad del agua superficial.

La recuperación de la calidad del agua en el tramo medio del río Gaira debe incorporar el establecimiento de un modelo de gestión integral del recurso hídrico que involucre a la

comunidad, al sector turístico y al gobierno nacional, mediante la capacitación y la sensibilización, de los diferentes actores involucrados, en torno a la protección de los recursos hídricos y a la aplicación de la normativa hídrica vigente para los diferentes usos del recurso hídrico en el sector.

## **8.2 Recomendaciones**

Para futuros trabajos encaminados a responder objetivos similares se recomienda extender las estaciones de muestreo a otras zonas de la cuenca, tanto más altas como bajas, dado que de acuerdo a la altitud y los microclimas se generan actividades humanas diferentes, cada una con impactos distintos sobre el ecosistema acuático.

Se recomienda también la inclusión de una evaluación de tipo socioeconómica, para así conocer más detalladamente el tipo de actividad y uso de los recursos que se maneja a lo largo del área de estudio, buscando así correlaciones más precisas entre la calidad del agua y las actividades desarrolladas en la cuenca.

## Bibliografía

- [1] Andrade-C., M. G. 2011. Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ambiente-política. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 35 (137): 491-507
- [2] Aristizábal H. 2002. *Los hemípteros de la película superficial del agua en Colombia. Parte 1: familia Gerridae.* Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Bogotá: Editora Guadalupe Ltda. 239p.
- [3] Barragán MF, Tamaris-Turizo CE, Rúa-García GA. 2016. Comunidades de insectos acuáticos de los tres flancos de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Biota Colombiana.* 17 (2): 47-61
- [4] Barros-Núñez EP, Granados-Martínez CE. 2016. Ephemeroptera asociados a ocho ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Biota Colombiana.* 17(1): 53 – 63
- [5] Caicedo Y Palacio (1998). Los macroinvertebrados bentónicos y la contaminación orgánica en la Quebrada la Mosca (Guarne, Antioquia, Colombia). *Actualidades biológica.* 20 (69): 61 – 73.
- [6] Córdoba, K.E., Casas, L., Mosquera-Murillo, Z., Asprilla, S. (2007). Composición y variación temporal del orden Ephemeroptera (Insecta) en los ríos Tutunendó y Catugadó, Quibdó (Chocó - Colombia). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 19: 34-41.
- [7] Castro M, Almeida J, Ferrer J, Díaz D. 2014. Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería solidaria.* 10 (17): 111- 124
- [8] Díaz-Martínez JA, Granada-Torres CA. 2018. Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá a lo largo del municipio de Villapinzón, Colombia. *Rev. Fac. Med.* 66 (1):45 – 52
- [9] Domínguez E, Molineri C, Pescador ML, Hubbard MD, Nieto C. 2006. *Ephemeroptera of South America.* En: Addis J, Arias JR, Rueda-Delgado G, Wantzen KM, editors. *Aquatic biodiversity of Latin America.* Vol. 2. Moscow-Sofia: Pensoft Publishers. 646p.

- [10] Espinal-Carreón T, Sedeño-Díaz JE, López-López E. 2013. Evaluación de la calidad del agua en la laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: Un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 29 (3): 147-163
- [11] Espinoza, N & Morales, F.2008. Boletín del centro de investigaciones biológicas. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Volumen 42, no. 3, 2008, 345–363 pp  
Extraído de <http://revistas.luz.edu.ve/index.php/bcib/article/view/3359/3239> Citado Enero 15 de 2018
- Eyes-Escalante, Melisa, Rodríguez-Barríos, Javier, & Gutiérrez-Moreno, Luis Carlos. (2012). Leaf Litter Decomposition and its Relation with Aquatic Macroinvertebrates of the Gaira River (Santa Marta - Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 17(1), 77-92.
- [12] Fernández H y Domínguez E. 2001. *Guía para la determinación de artrópodos bentónicos Sudamericanos*. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo. 282 p.
- [13] Fernández, N., Solano, F. (2005) Índices de Calidad de Agua e Índices de Contaminación. Universidad de Pamplona, Colombia, 310 p
- [14] Giacometti, J.C & Bersosa, F. 2006. Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. Boletín técnico 6, Sangolquí-Ecuador. Serie zoológica: 17-32 pp. Extraído de [http://www.espe.edu.ec/portal/files/E-RevSerZoologicaNo2/BolTec6SerZool\(2\)/GiamettiyBersosa\\_33.pdf](http://www.espe.edu.ec/portal/files/E-RevSerZoologicaNo2/BolTec6SerZool(2)/GiamettiyBersosa_33.pdf) citado Febrero 15 de 2018
- [15] González-Meléndez V, Caicedo-Quintero O, Aguirre-Ramírez N. 2013. Aplicación de los índices de calidad de agua NFS, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*. 16(1): 97 – 108
- [16] Guerrero-Bolaño F, Manjarres-Hernández A, Núñez-Padilla N. 2003. Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (Cuenca del Río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana*. 8 (2): 43 – 55
- [17] Gutiérrez JD, Riss W, Ospina R. 2004. Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. *Caldasía*. 26(1): 151 – 160

- 
- [18] Gutiérrez-Rojas Y, Velásquez-Mazarriego S, Carbonó de la Hoz E. 2010. Composición florística ribereña de la cuenca del río Gaira, Colombia. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*. 59-60: 26-31
- [19] Guzmán-Soto C, Tamaris-Turizo C. 2014. Hábitos alimentarios de individuos inmaduros de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en la parte media de un río tropical de montaña. *Revista de Biología Tropical*. 62 (2): 169 – 178
- [20] Hahn-vonHessberg CM, Ricardo-Toro D, Grajales-Quintero A, Duque-Quintero GM, Serna-Uribe L. 2009. Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, municipio de Palestina, Colombia. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*. 13(2): 899 – 105
- [21] Idárraga-García J, Posada Bo, Guzmán G. 2011. Geomorfología de la zona costera adyacente al piedemonte occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta entre los sectores de pozos Colorados y el río Córdoba, Caribe Colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 40 (1): 41 – 58
- [22] Kazi TG, Arain MB, Jamali MK, Jalbani N, Afridi HI, Sarfraz RA, Baig JA, Shah AQ. 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 72 (2): 301-309.
- [23] Lermontov A, Yokoyama L, Lermontov M, Soares-Machado MA. 2011. *A Fuzzy Water Quality Index for Watershed Quality Analysis and Management*. En Broniewicz E. 2011. *Environmental Management in Practice*: 387 – 410
- [24] López, E., Reinoso, G., Guevara, G. Y Villa, F. (2006). Estructura, distribución y relaciones con el índice de calidad de agua de la familia Tricóptera en la cuenca del Río Prado (Tolima, Colombia). VII seminario colombiano de limnología y I reunión internacional sobre ríos y humedales neotropicales. Resúmenes del VII seminario colombiano de limnología y I reunión internacional sobre ríos y humedales neotropicales. Asociación Colombiana de Limnología (Neolimnos), Tolima.
- [25] Lozano, Y. & E. Salas. (2006). Evaluación del impacto de la explotación minera sobre la calidad del agua en el Río Opogodó, Condoto. (Tesis de pregrado). Programa de Biología con énfasis en recursos naturales, facultad de ciencias básicas. Universidad Tecnológica del Chocó – Colombia. PP (68-69).

- [26] Márquez G. 1996. *Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental*. Santafé de Bogotá. 211p.
- [27] McCafferty W. 1981. *Aquatic Entomology. The fishermen's and ecologists' illustrated guide to insects and their relatives*. Boston: Jones and Bartlett Publishers. 448p.
- [28] Machado TA, Rincón J. 1989. *Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia*. Trabajo de pregrado. Medellín (Colombia). Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Antioquia. 324p.
- [29] Mafla, M. 2005. Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca, Costa Rica. Macroinvertebrados (BMWP - CR -*Biological Monitoring Working Party*) y Hábitat (SVAP -*Stream Visual Assessment Protocol*). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
- [30] Noriega OJ, Gutiérrez-Rojas Y, Rodríguez-Barrios J. 2011. Análisis de la vulnerabilidad y el riesgo a inundaciones en la cuenca baja del río Gaira, en el Distrito de Santa Marta. *Revista Prospectiva*. 9 (2): 93-102
- [31] Organización Colparques. *SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA*. Página web. Consulta en línea junio de 2018. URL: <http://www.colparques.net/SIERRA>
- [32] Osorio-Ávila FJ, Rodríguez-Barrios J, Montoya-Moreno Y. Sucesión de microalgas perifíticas en tributarios del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 20 (2):119 – 131
- [33] Ospina R, Riss W, Ruiz L. 2000. Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la sabana de Bogota II. Subfamilia Chironominae. *Caldasia*. 22(1):15-33
- [34] Posada JA, Roldán G. 2003. Clave Ilustrada de las larvas de Trichoptera en el Nor-Occidente de Colombia. *Caldasia*. 25 (1): 169- 192.
- [35] Ramírez, A., Restrepo, R. y Viña, G., 1997. "Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación", *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1 (3):135 - 153.
- [36] Ramírez, J. Y Roldán, G. (1989). Contribución al conocimiento limnológico y de los macroinvertebrados acuáticos de algunos ríos de la región del Urabá antioqueño.

Actualidades Biológicas, 18(66), 113-116. Recuperado de <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba1989v18n66art3.pdf>

- [37] Rodríguez-Barrios J, Ospina-Torres R, Turizo-Correa R. 2011. Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 59 (4) 1537 – 1552
- [38] Rodríguez V., N.; Quintero Y., L.V.; Castañeda, S.A. Evaluación de la calidad inicial del agua en la microcuenca “El Burro” del municipio del pital (Departamento del Huila). *Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación*. Cenicafé. 2013. 23p. Proyecto KfW.
- [39] Rodríguez V., N.; Quintero Y., L.V.; Gómez Z.; G. A.; Bohórquez Z.; V. L.; González D., C. M.; Osorio O., A. F.; De Miguel G., A.; Harmsen, J. Calidad del agua en microcuencas cafeteras. Cenicafé. 2018. 208p. Proyecto GIA.
- [40] Roldán G. 1988. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Fondo para la Protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis", Bogotá, Colombia. 217p.
- [41] Roldán, G. 2003. *La bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col*. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín. 170p.
- [42] Roldán-Pérez G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista Académica de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 40(155): 254 – 274
- Romero Borja, Isaac; Luna Fontalvo, Jorge Alberto; Ponce Obregón, Wilmer. Calidad sanitaria de las fuentes hídricas de la cuenca baja del río Manzanares, Santa Marta, Colombia. *Intropica*, [S.l.], p. 51-62, dic. 2011. ISSN 2389-7864.
- [43] Rúa-García G, Tamaris-Turizo C, Zuñiga MC. 2015. Composición y distribución de los ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (Insecta) en ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Revista de Ciencias*. 19 (2): 11 – 29
- [44] Statzner B, Gore JA, Resh VH. 1988. Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications. *Journal of the North American Benthological Society* 7 (4): 307 – 360

- [45] Tamaris-Turizo CE, Turizo-Correa R, Zuñiga MC. 2007. Distribución espacio-temporal y hábitos alimenticios de ninfas de *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae) en el Río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia). *Caldasia*. 29 (2): 375 – 385.
- [46] Tamaris-Turizo CE, Rodríguez-Barrios J. Transporte de materia orgánica a lo largo de un río tropical de montaña en la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *Acta Biológica Colombiana*. 20 (3):209 – 216
- [47] Tamaris-Turizo CE, Rodríguez-Barrios J, Ospina-Torres R. 2013. Deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo del río Gaira, vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Caldasia*. 35 (1): 149 – 163
- [48] Tomasi, G; Vedia, A; Salas, L; Gómez, P; Juárez, F; Lencina, G. 2010. Estudio Bacteriológico, Fisicoquímico y Aplicación del Índice BMWP' del Agua del Arroyo El Simbolar y Piscina del Balneario de Concepción, Dpto. Capayán. Catamarca. Argentina. Ciencia, Vol. 5, N° 16pp. Extraído de <http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v160/pdf/ciencia16-2.pdf> citado 23 febrero 2018.
- [49] Torres P, Hernán-Cruz C, Patiño PJ. 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 8 (15): 79 – 94.
- [50] UAESPNN (Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales). 1998. *El sistema de parques nacionales naturales de Colombia*. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia: 103-111
- [51] USDA; NRCS. Stream visual assessment protocol version 2. Colorado : USDA, 2012. 74 p.
- [52] Walteros, J; Paiba J. 2010. Estudio preliminar de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la reserva forestal torre cuatro. Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia natural. ISSN 0123 - 3068 bol.cient.mus.hist.nat. 14 (1): 137 – 149. Recuperado de [http://200.21.104.25/boletincientifico/downloads/Boletin14\(1\)\\_10.pdf](http://200.21.104.25/boletincientifico/downloads/Boletin14(1)_10.pdf) consultado 23 de febrero 2018.
- [53] Wen-Cheng L, Hwa-Lung Y, Chung-En Ch. 2011. Assessment of Water Quality in a Subtropical Alpine Lake Using Multivariate Statistical Techniques and Geostatistical Mapping: A Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 8: 1126 – 1140

- [54] Wiggins GB. 1996. *Larvae of the North American caddisfly genera (Trichoptera)*. Second edition. Toronto: University of Toronto Press. 457 p.