

**EFFECTO DE LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE ARRASTRE SOBRE LA
DINÁMICA HÍDRICA Y EL ENSAMBLAJE PERIFÉRICO
EL CASO DEL RIO ROBLES, EN EL MUNICIPIO DE TIMBÍO – CAUCA**

BLANCA LILIA BONILLA



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INSTITUTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADOS
POPAYÁN – CAUCA
2012**

**EFFECTO DE LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE ARRASTRE SOBRE LA
DINÁMICA HÍDRICA Y EL ENSAMBLAJE PERIFÉRICO.
EL CASO DEL RIO ROBLES, EN EL MUNICIPIO DE TIMBÍO - CAUCA**

BLANCA LILIA BONILLA

**Trabajo de Grado para optar al título de
Magister en Recursos Hidrobiológicos Continentales**

**Director
Mag. GERARDO I. NAUNDORF S.**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INSTITUTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADOS
POPAYÁN – CAUCA
2012**

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia expreso mis agradecimientos a:

DIOS TODOPODEROSO por darme la sabiduría y la perseverancia para alcanzar este triunfo.

A Darío Fernando, Juan Felipe y Bibiana Patricia Montoya Bonilla mis hijos, quienes con su cariño y comprensión me han impulsado a terminar este trabajo y me han brindado su orientación. Por ser mis pilares de apoyo e inspiración, por confiar y creer siempre en mí y enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos.

Al profesor Gerardo Ignacio Naundorf S. quien supo acompañarme, brindarme sus conocimientos para hacer realidad este documento y me impulso a continuar hasta el final. Por su ayuda, guía, paciencia, valiosas sugerencias y acertados aportes.

A los profesores Guillermo Vásquez Z., Hildier Zamora, Silvio Carvajal quienes me brindaron su amistad y dejaron huella de responsabilidad, conocimiento, profesionalismo y espíritu investigador durante mi estadía en la Universidad.

A la Universidad del Cauca en especial a la facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación y, el Instituto de Postgrados en Recursos Hidrobiológicos por haberme brindado el espacio y apoyo para hacer realidad este proyecto.

A aquel ser especial que me impulsa a continuar con mi formación profesional y ser siempre mejor; quien con su calidez, paciencia, invaluable ayuda y colaboración, me brindó la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica.

A mis compañeros de maestría y todos aquellos que, de una u otra forma, aportaron para la realización de este trabajo.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

Dedico este triunfo a DIOS POR LA VIDA Y LA SABIDURÍA, La Virgen Santísima y la corte de Ángeles por su compañía, pues no me dejaron desfallecer en el proceso de formación.

A mis tres hijos y sus familias, pilares de mi vida y fuentes de inspiración en este reto. A quien me acompaña en la academia.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO REFERENCIAL	18
1.1 MARCO TEÓRICO	18
1.1.1 Generalidades de la Cuenca	18
1.1.2 Material de arrastre	20
1.1.3 Las condiciones físico-químicas y biológicas	21
1.1.4 Los modelos dinámicos	26
1.2 ANTECEDENTES	27
1.2.1 En Colombia	29
2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	33
2.1 HIPÓTESIS	33
3. OBJETIVOS	34
3.1 OBJETIVO GENERAL	34
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
4. METODOLOGÍA	35
4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	35
4.1.1 La microcuenca del río Los Robles	36
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	42
4.3 TRATAMIENTO DE LOS DATOS	45
4.4 MODELO DE SIMULACIÓN	46
5. RESULTADOS	47
5.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	47
5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS	63
5.2.1 Resultados de macroinvertebrados por estación en los tres años	65

5.3 CARACTERIZACIÓN DEL PERÍFITON	79
5.3.1 Resultados de Perífiton por estación y por año	82
5.4 APLICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN	93
6. CONCLUSIONES	100
7. RECOMENDACIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	103

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mapa de localización del área de estudio	36
Figura 2. Recorrido de la zona de estudio	38
Figura 3. Puntos de muestreo	40
Figura 4. Flujograma del proceso de simulación	46
Figura 5. Clúster de similitud por estaciones, por año, para macroinvertebrados (1998)	76
Figura 6. Clúster de similitud por estaciones, por año, para macroinvertebrados (2004)	77
Figura 7. Clúster de similitud por estaciones, por año, para macroinvertebrados (2008)	77
Figura 8. Dimensión de las variaciones en la comunidad de macroinvertebrados en las estaciones	78
Figura 9. Distancia euclidiana para los macroinvertebrados, por estaciones y años	79
Figura 10. Dendrograma de Bray Curtis para la comunidad perifítica en el año 1998	89
Figura 11. Dendrograma de Bray Curtis para la comunidad perifítica en el año 2004	89
Figura 12. Dendrograma de Bray Curtis para la comunidad perifítica en el año 2008	90
Figura 13. Diagrama de NMDS para perífiton	91
Figura 14. Diagrama de distancia Euclidiana	92
Figura 15. Diagrama causal con base en Forrester, base para formulacion del modelo.	94
Figura 16. Representacion del estado del río a partir del proceso de simulacion con Evolución 4.0	95
Figura 17. Comportamiento del rio en el modelo bajo condiciones de conservación a partir del proceso de simulacion con Evolución 4.0	96
Figura 18. Comportamientos del rio Robles en la estación 1 bajo las condiciones actuales a partir del proceso de simulacion con Evolución 4.0	97
Figura 19. Fluctuaciones de modelo en la estación 2 bajo las condiciones actuales a partir del proceso de simulacion con Evolución 4.0	98

Figura 20. Comportamiento del río para la estación 3 a partir del proceso de simulación con Evolución 4.0

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y unidades de medida	22
Tabla 2. Caracterización fisicoquímica en la estación 1 durante los tres años	47
Tabla 3. Caracterización fisicoquímica en la estación 2 durante los tres años	48
Tabla 4. Caracterización fisicoquímica en la estación 3, durante los tres años	49
Tabla 5. ICOTRO de las tres estaciones, en los tres años	62
Tabla 6. Número de macroinvertebrados en la estación 1 durante los 3 años	66
Tabla 7. Número de macroinvertebrados de la estación 2, durante los tres años	69
Tabla 8. Número de macroinvertebrados en la estación 3 durante los tres años	71
Tabla 9. Perifiton por año en la estación 1 por género, familia y orden	83
Tabla 10. Promedio de perifiton en la estación 2 durante los 3 años	85
Tabla 11. Promedio de perifiton en la estación 3 durante los tres años	87
Tabla 12. Parámetros claves para el modelado	93

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Promedio de la temperatura ambiental en las 3 estaciones por año	50
Gráfica 2. Promedios de temperatura del agua en las 3 estaciones por año	51
Gráfica 3. Concentración promedio de O_2 mg/L	52
Gráfica 4. Porcentajes de saturación de oxígeno por estación	53
Gráfica 5. Promedio de concentración de CO_2 mg/L	53
Gráfica 6. Promedios de pH por estación.	54
Gráfica 7. Promedios de alcalinidad	55
Gráfica 8. Promedio de dureza por estaciones, por años	56
Gráfica 9. Promedio de turbidez por estación, por año	57
Gráfica 10. Promedio de conductividad por estación, por año	57
Gráfica 11. Promedio de sólidos totales por estación, por año	58
Gráfica 12. Promedio de NO_3 . Mg/L	59
Gráfica 13. Promedio de Si. mg/L	60
Gráfica 14. Promedio de PO_4 . mg/L	60
Gráfica 15. Promedio de caudal	61
Gráfica 16. Promedio de índice trófico	62
Gráfica 17. Número de géneros por estación y por año	64
Gráfica 18. Individuos por género por estación, por año	64
Gráfica 19. Índices de diversidad de Shanon por estaciones y años	65
Gráfica 20. Individuos por género durante los 3 años en la estación 1	68
Gráfica 21. Individuos por géneros presentes en la estación 2	71
Gráfica 22. Número de individuos por género en la estación 3 durante los tres años	73
Gráfica 23. Comportamiento de BMWP en las 3 estaciones, durante los 3 años	74
Gráfica 24. Índice EPT en 3 estaciones durante 3 años de muestreo	75
Gráfica 25. Géneros por estaciones en los 3 años	80
Gráfica 26. Número de individuos por estación	81
Gráfica 27. Índice de diversidad	81

Gráfica 28. Número de individuos por género en la estación 1	84
Gráfica 29. Número de individuos por género en los 3 años para la E3	86
Gráfica 30. Dominio de <i>Cocconeis</i> (2), <i>Spirulina</i> sp1, y <i>Closterium</i>	88

RESUMEN

El trabajo de evaluación de los efectos de la extracción de material de arrastre sobre la dinámica hídrica y el ensamblaje perifítico de la micro cuenca Los Robles en el Municipio de Timbío departamento del Cauca, comprendió un proceso de muestreo mensuales durante 3 años en fechas secuenciales, para los años 1998, 2004 y 2008, en tres estaciones similares durante el tiempo de estudio, La primera estación que para efectos del estudio se denomina Estación 1(E1) se buscó libre de explotación de material de arrastre y así estuvo por lo menos durante los 2 primeros años, la segunda estación o Estación 2 (E2) presenta un permanente proceso de extracción de materiales de arrastre (piedra, grava, arena) y la última estación o Estación 3 (E3) libre de extracción, pero base de otra actividad, la recreación. Los muestreos se realizaron de forma permanente mensualmente, bajo los mismos protocolos y con los mismos equipos de medición para 16 parámetros fisicoquímicos, también se efectuaron colectas de macro invertebrados y perifiton que fueron procesadas y determinadas en el laboratorio de la Universidad del Cauca, se Tabularon y analizaron los datos estadísticamente y se obtuvieron los siguientes resultados: En macro invertebrados durante los 3 años de muestreo, en las tres estaciones, se colectaron individuos, agrupados en 5 clases, 16 órdenes, 35 familias y 47 géneros. De las diferentes taxas colectadas, el 40% pertenece al grupo de indicadores denominados Ephemeropteros, Trichópteros, Plecóptera (EPT), organismos predominantes en agua de buena calidad. Los ordenes con mayor número de individuos fueron Ephemeropteros, Trichópteros, Dipteros, Coleopteros, Odonatos y Plecopteros. Para el estudio de perifiton se colectaron individuos, agrupados en 4 clases, 8 órdenes, 12 familias y 31 géneros. De las diferentes taxas colectadas el 45% pertenece al grupo de las diatomeas. Los géneros más abundantes son: *Melosira*, *Tabellaría*, *Cismarían*, *Flagelaría*, *Frustulia*, *Oscillatoria* y *Closterium*.

Analizados estadísticamente los resultados fisicoquímicos y biológicos por años y por estaciones se encontró que existen diferencias significativas entre estaciones y años de muestreo y que la extracción de material de arrastre y las condiciones de alto y bajo régimen pluviométrico desempeñan un papel importante en la dinámica de las comunidades y las condiciones ambientales de la cuenca

El índice de diversidad de los macro invertebrados y los índices de BMWP y ETP muestran el río como un área de diversidad media y en estado meso trófica con tendencia a eutrofización.

El índice de diversidad para perifiton y su índice de diatomea, muestra el río como un área de baja diversidad con estado meso trófico.

Las condiciones fisicoquímicas y en especial el índice ICOTRO indicador de estado trófico que basa su valor en la concentración de fósforo total, parámetro clave para la dinámica de las comunidades, confirman el estado meso trófico, y permite evidenciar en la E 2 su tendencia eutrófica.

Para hacer visibles los efectos y las relaciones se aplicó un modelo de simulación utilizando Evolución V 4.0 para visibilizar el comportamiento del río bajo condiciones de conservación, de incremento de los tensores, cómo se comporta en la actualidad y cuál será la tendencia bajo estas condiciones.

Lo anterior permite visualizar los modelos como herramientas de planificación e invita a su uso en pro de una toma de decisiones más acertadas para las cuencas del país.

Palabras clave: Macro invertebrados, perifiton, MAI, BMWP; EPT; diatomeas; modelo de simulación; Evolución V 4.0

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es un recurso de vida porque cumple funciones fundamentales de regulación y dinámica de la biosfera, y se caracteriza por la alta complejidad en su organización.

Los ecosistemas acuáticos continentales, ya sean lóticos o lénticos, presentan una dinámica tan compleja que imposibilitan realizar experimentos a escala real, lo que hace necesario generar análisis estadísticos que permitan la elaboración de proyecciones, sus interacciones a partir de información existente, la simulación de las reacciones que ocurren al interior del ecosistema y, la visión del ecosistema como un sistema natural, que garanticen proyecciones en tiempo y espacio, con el fin de conocer su calidad, su disponibilidad, su conservación o su restauración.

Todas las relaciones que se presentan en una cuenca son susceptibles de ser analizadas teniendo clara la dinámica, las variables, los parámetros y los tensores que interactúan en un espacio por un tiempo determinado. Las relaciones existentes se pueden llevar a expresiones matemáticas, que en la actualidad se manejan a través de herramientas computacionales y, representar de una forma lógica y cuantitativa la dinámica, permitiendo visualizar modificaciones de las mismas en el tiempo y el espacio, para proyectar el estado del recurso y tomar con ellas decisiones.

Las herramientas tecnológicas y los análisis estadísticos permiten integrar parámetros de calidad y cantidad y realizar análisis espacio-temporales que proyecten el futuro de los comportamientos del sistema, conocimiento indispensable para apoyar la toma de decisiones y para la administración de los recursos.

La necesidad de conocer y evaluar la dinámica de las fuentes hídricas para determinar su estado, uso y conservación, es clave en los procesos de gestión de las cuencas. Por ello, el presente trabajo busca aportar información de base sobre las condiciones hidrobiológicas de la micro-cuenca alta del río Los Robles, en el Municipio de Timbío departamento del Cauca.

El río Los Robles es una de las principales fuentes hídricas de los municipios de Sotará, Timbío y El Tambo; desde hace varios años viene siendo sometido a diferentes tensores, como son: el desvío de su caudal, la extracción de material de arrastre (tensor clave en esta investigación), el uso del recurso como elemento de recreación, como receptor de aguas residuales, como base de acueducto o fuente para producción (riegos, captaciones a estanques), explotación agropecuaria en las márgenes de su micro cuenca, sin que el estado o la comunidad generen acciones reales y tomen decisiones estratégicas que permitan la conservación, planificación y manejo sostenible del recurso, porque en la actualidad hay un

manejo inadecuado de la información existente, o por la falta de sistematización de la misma.

Una de las presiones más significativa es la extracción de material de arrastre para la construcción de obras civiles. Siendo ésta una actividad clave en la economía es necesario, por su importancia social y ecológica, el conocimiento técnico del río, que brinde información básica para su manejo.

La extracción de materiales para la construcción afecta notablemente las características hidrológicas, físico químicas y biológicas del agua. En este trabajo se realizó un análisis estadístico de las características de línea base, con el fin de hacer una proyección para tomar decisiones en su manejo frente al problema de la extracción. Se tomó como espacio de tiempo un período de diez años y, la reacción de la microcuenca ante el tensor de explotación de material de arrastre. La propuesta hace un aporte al conocimiento de la dinámica del río y su proyección, como estrategia de planificación y de información básica para el posterior manejo, o para la toma de decisiones sobre el recurso.

El estudio respondió a los siguientes interrogantes:

¿Cómo afecta la extracción de material de arrastre a la diversidad de la comunidad perifítica y a sus abundancias relativas, en función de espacio y tiempo?

¿Qué relación existe entre las condiciones biológicas y los cambios en las variables físico-químicas del agua, a través del tiempo (durante las épocas de muestreo) y el espacio (los sitios de estudio a lo largo del río)?

¿Existen diferencias en el comportamiento biológico y en las variables físico-químicas, entre las estaciones de muestreo y los tiempos de muestreo?

Se pretende obtener información pertinente para la toma de decisiones conducentes a emprender acciones de manejo y recuperación, para lo cual es necesario determinar el estado actual del cuerpo de agua y, establecer la variación estructural de las condiciones fisicoquímicas y, de las comunidades como bioindicadoras de las condiciones predominantes en la microcuenca media del río Los Robles, municipio de Timbío, departamento del Cauca.

El presente trabajo es un aporte al conocimiento de la dinámica de los ecosistemas lóticos. Para su ejecución se aplicó una herramienta informática que ayuda a los usuarios, beneficiarios y controladores de la microcuenca, a tomar decisiones y, hacer más sostenible el área, con lo que se contribuye al desarrollo de la región y del país.

El modelo de simulación que se presenta como resultado permite proyectar la cuenca a 50 años y definir procesos de conservación o deterioro ante la variación de algunos parámetros. En él se evidencia el estado actual de la cuenca y se presentan escenarios de conservación y deterioro según cambios en los parámetros considerados.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 MARCO TEÓRICO

El marco teórico del trabajo hace unas consideraciones generales sobre los conceptos de cuenca, material de arrastre, condiciones ambientales, biológicas y físico-químicas del río a través de sus parámetros, para terminar el capítulo con una referencia a los antecedentes de este tipo de estudios, tanto en el mundo como en Colombia.

1.1.1 Generalidades de la Cuenca. Se considera que la cuenca es la unidad de análisis hídrico sobre la superficie terrestre, subdividida a su vez en sub-cuencas y, éstas en micro-cuencas. Por tratarse de un estudio integrado, se adopta la teoría de sistemas, según la cual las sub-cuencas son subsistemas de la cuenca y, las micro cuencas son sub-sub-sistemas de ella.

El Decreto 2811/74, conocido como el Código Nacional de los Recursos Naturales, define la unidad de análisis hídrico, así:

La cuenca hidrográfica es un área físico-geográfica, debidamente delimitada, en donde las aguas superficiales y subterráneas vierten a una red natural, mediante uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente que confluyen a su vez en un curso mayor que desemboca o puede desembocar en un río principal en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (República de Colombia, Capítulo III. Cuencas. Sección I. Definición Facultad)

La cuenca es, entonces, la superficie de drenaje natural donde convergen las aguas que fluyen a través de valles y quebradas, formando de esta manera una red de drenajes o afluentes que alimentan a un desagüe principal, y forman un río.

Hoy se considera que las cuencas son áreas naturales que recolectan y almacenan el agua que se utiliza para propósitos múltiples, tales como el consumo humano y animal, para los sistemas de riego agrícola, para dotar de agua a las ciudades y, para producir la energía eléctrica que sirve como infraestructura para el desarrollo del país. Por eso, la preservación de las cuencas hidrográficas es un factor importante para el desarrollo integral de la vida.

El decreto 1729 de agosto de 2002 establece en su artículo 1 que:

Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (República de Colombia, 1974)

El artículo 2 establece la delimitación de la cuenca:

Por la línea de divorcio de las aguas. Se entiende por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas. Cuando los límites de las aguas subterráneas de una cuenca no coincidan con la línea divisoria de aguas, sus límites serán extendidos subterráneamente más allá de la línea superficial de divorcio hasta incluir la de los acuíferos subterráneos cuyas aguas confluyen hacia la cuenca deslindada. (República de Colombia, 1974)

En el artículo 3 se indica que el uso de los recursos naturales y demás elementos ambientales de la cuenca, se realizará con sujeción a los principios generales establecidos por el Decreto-ley 2811 de 1974, Ley 99 de 1993, sus normas reglamentarias y lo dispuesto en dicho decreto.

Desde otra perspectiva, el funcionamiento de una cuenca se basa en los principios del ciclo del agua, estrechamente relacionada con los suelos y la vegetación. Por eso, hablar de cuenca hidrográfica es hablar del comportamiento del agua.

Para entender la manera como se comporta una cuenca hidrográfica es conveniente considerarla como un sistema de la superficie terrestre, lo cual hace necesario comprender que:

- Existen las denominadas *entradas*, como: el agua, la radiación solar, los vientos, la temperatura ambiental, los aportes de biomasa, los aportes de sedimentos por escorrentía, los agroquímicos, la precipitación y, los aportes antrópicos positivos y negativos (limpiezas, vertimientos).
- Existen procesos externos e internos que interrelacionan los componentes en su interior, dándoles una estructura y una función, tales como: el subsuelo, el efecto de las áreas con cultivos, con la ganadería, con los bosques y las selvas, con los centros de población, con las agroindustrias, con los caminos y los puentes, con la extracción de materiales, con la conservación de las áreas naturales protegidas, entre otros.

Estos procesos, por lo tanto, son los que definen la dinámica interna de la cuenca, ya que son el resultado de las relaciones que, en el tiempo y en el espacio, se manifiestan como efectos en un área.

- Existen salidas, que pueden ser positivas o negativas. Salidas positivas son, por ejemplo, agua para varios fines (consumo humano, riego, generar electricidad), producción de alimentos (piscicultura, acuicultura), producción de madera y carbón, recreación, servicios ambientales, entre otros.

Las salidas negativas son, por ejemplo: aguas contaminadas que causan afecciones al hombre o a sus cultivos, cambios micro climáticos, inundaciones por

alteración de los escurrimientos, escasez de agua en la época seca y, daños a la infraestructura económica.

Los impactos positivos o negativos que se generan en las salidas de las cuencas se denominan externalidades; hay que identificarlos y cuantificarlos para poder dimensionar el nivel de funcionamiento de la cuenca.

Estudios como este permiten conocer la cuenca y con base en este conocimiento aplicar la Guía Técnico Científica para la elaboración de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas de Colombia (POCH) elaborada por el IDEAM, como una herramienta para responder al requerimiento del Decreto 1729 de 2002 que reglamenta dichos planes y los legitima como norma de superior jerarquía y determinante de los planes de ordenamiento territorial en consonancia con lo dispuesto en el Artículo 10 de la ley 388 de 1997.

1.1.2 Material de arrastre. El Artículo 11 del Código de Minas define como material de arrastre “[...] los materiales desintegrados en tamaño de arenas o gravas que se extraen de los lechos de los ríos, quebradas o vegas de inundación [...]” (República de Colombia, 2001)

Además se entiende por material de arrastre al producto de la erosión (lodos, arenas, grava y otros que se extraen de los lechos de los ríos), colectado y transportado por las corrientes de agua y depositado a lo largo de sus recorridos, el cual es considerado en la legislación colombiana como un bien de uso público, que puede ser aprovechado mediante técnicas artesanales o tecnificadas.

En Colombia, la actividad de extracción de material de arrastre está reglamentada mediante la siguiente normatividad: Decreto 1541 de 1978, Acuerdo 32 de 1985, Ley 99 de 1993, Decretos 2811 y 1753 de 1994, Decreto 848 de 1997 y, Resolución 256 de 1997; es regulada mediante licencias de extracción por las Corporaciones Autónomas Regionales. Pero, desafortunadamente, es un proceso sin mucha supervisión, que por ser realizado por personas que derivan de él su beneficio, está causando alteraciones en las condiciones ambientales, hidrológicas y biológicas que constituyen la dinámica de las fuentes hídricas, lo que hace necesaria su evaluación y valoración.

La Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), en su plan de acción de 2.009 presenta un inventario de la parte alta del Río Cauca sobre procesos de minería y extracción de material de arrastre e identifica 95 usuarios de los cuales el 10% se dedica a la explotación de piedra y grava, el 9.2 % a la extracción de diferentes tipos de arena(arena gruesa para pega y fina para repello), 9.8% se dedican a la explotación de arcillas, 8.2 % al barequeo de oro, el 5.1% al proceso de producción de carbón y el resto al manejo de minas de azufre, mármol y canteras.

Con respecto a la actividad extractiva sobre el área de estudio, se puede decir que los *Areneros* llevan allí más de treinta años realizando la extracción de material de arrastre de diferentes nominaciones y tienen según el mismo informe (CRC, 2009) un volumen de extracción anual promedio entre 1.750 y 2.300 m³.

Para la actividad de extracción de material de arrastre la CRC siguiendo la normatividad existente concede 2 tipos de permisos:

- Permisos comunes para explotaciones mecanizadas y de mayor densidad.
- Permisos especiales para los areneros que trabajan en parejas y de forma artesanal a los cuales les limitan la extracción a 150 m³ por pareja mes.

Para la extracción de materiales se utilizan implementos como la rola, la zaranda, la carreta, la pala, la bandeja y el cajón metrado.

Por su parte, la ley 685 de agosto 2001 –Código de Minas, en su artículo 11 define los materiales de construcción como los productos pétreos explotados en minas y canteras usados, generalmente, en la industria de la construcción como agregados en la fabricación de piezas de concreto, morteros, pavimentos, obras de tierra y otros productos similares. También, para los mismos efectos, son materiales de construcción, los materiales de arrastre tales como arenas, gravas y las piedras yacentes en el cauce y orillas de las corrientes de agua, vegas de inundación y otros terrenos aluviales. Los materiales antes mencionados, se denominan materiales de construcción aunque, una vez explotados, no se destinen a esta industria.

El otorgamiento, vigencia y ejercicio del derecho a explorar y explotar los materiales de construcción de qué trata este artículo, se regulan íntegramente por este Código y son de la competencia exclusiva de la autoridad minera.

1.1.3 Las condiciones físico-químicas y biológicas. Se considera que las condiciones ambientales, biológicas y físico-químicas están definidas por una serie de parámetros que determinan la calidad y uso del agua.

1.1.3.1 Parámetros físico-químicos. Los parámetros físico-químicos son claves en el conocimiento de la dinámica del sistema hídrico, porque son los que regulan la distribución, calidad y cantidad de las comunidades biológicas que habitan en el agua.

La Tabla 1 muestra los parámetros con las siguientes unidades de medida que se manejan para efecto del estudio.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y unidades de medida

Parámetros	Unidad
Temperatura ambiental	(°C)
Temperatura del agua	(°C)
Oxígeno disuelto	(mg/L)
Saturación de oxígeno	%
Gas carbónico disuelto	(mg/L)
pH	unidades de pH)
Sólidos totales	(mg/L)
Alcalinidad total	(mg CaCO ₃ /L)
Dureza total	(mg CaCO ₃ /L)
Sílice	(mg/L)
Nitratos	(mg/L)
Transparencia Secchi	Mt.
Fosfatos	(mg/L)
Conductividad	(µmhos/cm)
Turbiedad	(UJT)
Caudal	Lt/seg.

Fuente: propia del estudio

Los parámetros se analizaron por lo siguiente:

La temperatura como regulador de los procesos biológicos, teniendo en cuenta que el agua es un acumulador de energía y calor y, que de la estabilidad térmica depende la supervivencia de las especies y las reacciones de las sustancias químicas que están presentes en el área.

El oxígeno y el dióxido de carbono son gases importantes en el conocimiento de la dinámica y en la caracterización del sistema, ya que el primero es el resultado de los procesos productivos naturales, el segundo, resultante de los procesos de respiración y descomposición orgánica.

La turbidez, que define el grado de opacidad producida en el agua por la materia suspendida, es la que determina la limitación tanto en la transparencia, como en la productividad. Además, afecta en forma inversamente proporcional la penetración de los rayos solares, de manera que a mayor turbidez hay menor penetración de los rayos solares.

Los sólidos se entienden para este tipo de análisis como los diferentes residuos tanto minerales como orgánicos de tipo soluble o insoluble que están presentes en el agua y cuya presencia pueden originarse por procesos naturales o antropogénicos. Ellos agrupan los iones presentes y las sales y su importancia

está dada porque permiten relacionar la dinámica de productividad del ecosistema con las condiciones del entorno y en especial con los orígenes edáficos de la fuente. Los sólidos disueltos guardan una estrecha relación con la conductividad, la alcalinidad y la dureza. (Ramírez 1998).

La conductividad es una variable importante al estudiar los ecosistemas acuáticos, dado que a partir de ella se puede obtener información sobre el metabolismo de las comunidades inmersas en el ecosistema; las variaciones de conductividad permiten definir la productividad primaria, la respiración y los procesos de descomposición, lo cual afecta directamente la diversidad de especies en el hábitat. Este parámetro guarda una estrecha relación con los sólidos disueltos.

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos, debido a la influencia de bicarbonatos, silicatos, fosfatos e iones orgánicos y sus concentraciones dependen directamente de la presencia y concentración estas sales. (Ramírez 1998).

1.1.3.2 Parámetros biológicos. Pinilla (1998), en su documento de indicadores biológicos dice: Todo organismo es indicador de las condiciones del medio donde se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia depende de la capacidad de adaptación a los distintos factores ambientales en un tiempo y espacio determinado.

1.1.3.3 Perífiton. En los ecosistemas acuáticos el término perífiton incluye el conjunto de seres vivos asociados a diferentes sustratos, tales como tallos, hojas, raíces, piedras o sedimentos. El perífiton es según Wetzel (1983) una comunidad de gran diversidad y riqueza de especies, conformada generalmente por microorganismos, tales como las bacterias, los hongos, las algas, los protozoos y micro invertebrados (nematodos, anélidos, crustáceos, etc.), pero, entre ellos las algas son los organismos dominantes y determinantes de los ciclos energéticos.

La composición de esta comunidad está influida notablemente por factores como la calidad fisicoquímica del agua (turbiedad, temperatura, pH, gases disueltos, nutrientes inorgánicos, estado trófico del agua, minerales presentes, etc.), factores climáticos y de la red de drenaje (temperatura medio-ambiental, vientos, lluvias, aguas de escorrentía, etc.), así como por el tipo y calidad del sustrato sobre el cual se asienta la comunidad. Los materiales lisos y con pocas posibilidades de aportes de nutrientes son desfavorables para el desarrollo del perífiton. Por el contrario, los materiales rugosos que aportan nutrientes (truncos, hojas, rocas sedimentarias) se caracterizan por presentar perífiton.

El perífiton constituye un componente fundamental de los ecosistemas acuáticos, porque cumple funciones biológicas fundamentales para su funcionamiento.

Wetzel (1983), Moira Da Silva (1979) y Roldán (1992) resaltan las siguientes funciones:

- La producción de una gran cantidad de metabólicos e intermediarios metabólicos para el desarrollo de organismos
- La contribución hasta con un 70-80% de la productividad primaria de los ecosistemas. En el caso de los ríos, donde no hay comunidad fitoplanctónica por definición y, los macrófitos acuáticos se reducen a la zona riverense, pueden llegar a ser responsables del 100% de la producción primaria.
- La generación de un centro para el reciclaje de la materia orgánica, especialmente en aguas enriquecidas por aportes de nutrientes (nitrógenos, fósforo), tal como ocurre con la contaminación de las aguas por residuos orgánicos domésticos.
- La formación de numerosos micro-hábitat que sirven de sitios de abrigo para una gran variedad de seres vivos.
- Además, constituyen una valiosa fuente nutricional para variadas especies, entre las que se destacan insectos (Plecópteros, Efemerópteros, Trichópteros y Dípteros), peces (*Prochilodus reticulata*-bocachico, y *Panaque nigrolinea*-cucha) y, algunos anfibios (ranas). Por su rápida y característica respuesta a las variaciones de las condiciones ambientales, ya sean de origen natural o artificial, se les ha usado como bioindicadores en la evaluación rápida de los ríos.

1.1.3.4 Macro invertebrados acuáticos. El término macro invertebrados se asocia a otra serie de organismos que están presentes en los cuerpos de agua y que han seguido un proceso evolutivo que les permite, según sus índices de tolerancia, de supervivencia y de adaptación, hacer presencia en determinadas condiciones ambientales y sobrevivir a las diferentes alteraciones de la misma.

Los macroinvertebrados acuáticos se definen como aquellos organismos que se pueden ver a simple vista; es decir, todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0.5 mm de longitud y que pueden ser retenidos por redes de tamaño entre 200µm. Este grupo incluye taxones como: Moluscos, Crustáceos (Anfípodos, Isópodos y Decápodos), Turbelarios, Oligoquetos, Hirudíneos y, fundamentalmente, insectos entre los cuales se encuentran Coleópteros, Hemípteros, Efemerópteros, Plecópteros, Odonatos, Dípteros, Neurópteros y Trichópteros. (Roldan, 1999)

Estos organismos viven sobre el fondo de lagos y ríos, enterrados en el fondo, sobre rocas y troncos sumergidos, adheridos a la vegetación flotante o enraizada; algunos nadan libremente dentro del agua o sobre la superficie. (Roldán, 1992).

En la ecología de los ríos, la comunidad de macro invertebrados bentónicos es de principal importancia para entender la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas, como eslabón fundamental de la cadena trófica, sirviendo de alimento a los peces, así como a las aves y anfibios asociados al medio acuático; como indicadores biológicos de la calidad del agua y, como componentes del sistema acuático aportando riquezas y diversidad.

Además, esta comunidad también provee una importante herramienta para monitoreos y programas de manejo, al emplearse como bioindicadores de condiciones ambientales, debido a que las variaciones de las condiciones de la cuenca se reflejan en la composición y estructura de estas comunidades.

La dinámica de la comunidad, o la sucesión ecológica, permite manejar las comunidades enteras, más que las especies individualmente, así como sus hábitats. Es desde esta perspectiva que se pueden observar, monitorear y manejar las relaciones y las interdependencias que permiten el crecimiento y estabilidad de un ecosistema.

Así como el ciclo del agua, el ciclo de los minerales, los flujos de energía y, la condición del sustrato, son críticos. En ambientes frágiles donde la humedad es estacional e intermitente, la sucesión no puede avanzar sin haber cruzado las diferentes etapas que le permiten, en primera instancia, estabilizar micro hábitats que posteriormente definen un hábitat más complejo que pueda mantener una comunidad completa y compleja.

Los macro invertebrados son ampliamente conocidos en zonas templadas investigadores como: Usinger (1956), Hynes (1972), Pennak (1978) y Mac Cafferty se han encargado de su difusión. En los trópicos el conocimiento de esta comunidad ha ido creciendo en los últimos años destacándose los trabajos de Hulbert (1981), Houge y Bedoya (1989), Illies (1963, 1964, 1969) y Niesser (1970). En Colombia ha sido Roldán (1983, 1988, 1992, 1999) uno de los mayores investigadores del tema junto a Pinilla (1998), Zúñiga (1995), Machado (1981) y Zamora (1992, 1998, 2001, 2005), quienes más aportan al conocimiento de la dinámica de estos organismos y sus usos en especial en los procesos de bioindicación.

El resultado de la literatura reportada por Hellawell (1986) revela que las algas y los macro invertebrados son los dos grupos de organismos más recomendados al evaluar la calidad del agua. En la práctica los más usados son los macro invertebrados (Hawkes, 1979). Los macro invertebrados bénticos ofrecen muchas ventajas en biomonitoreo, con la utilización de especies populares, ya que

primero: estos son intrínsecos en la biología de animales, ellos son ubicados y ellos pueden ser afectados por eventuales perturbaciones en muchos diferentes tipos de sistemas acuáticos y otros tipos de sistemas en presencia de agua.

Las respuestas de las comunidades acuáticas a las perturbaciones ambientales son útiles para evaluar el impacto de los distintos tipos de contaminación, residuos municipales, agrícolas, industriales e impactos de otros usos del suelo sobre los cursos de aguas superficiales.

1.1.4 Los modelos dinámicos. Jeffers (1991), en su documento sobre modelos en ecología, define el modelo como *una expresión formal de las relaciones del sistema real a través de expresiones matemáticas*. Bajo esta expresión los modelos son claves en las investigaciones científicas porque permiten estudiar las múltiples interrelaciones de los seres vivos en su entorno, teniendo en cuenta que ellas son dinámicas y varían en el tiempo y espacio, haciendo muy difícil su manejo en el mundo real y haciendo necesaria su representación física y matemática.

1.1.4.1 El modelo matemático. Es uno de los tipos de modelos científicos, y se basa en expresar a partir de instrumentos de la teoría matemática, declaraciones, relaciones, proposiciones sustantivas de hechos o de contenidos simbólicos: están implicadas variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad. Se podría decir también que es una traducción de la realidad física para poder aplicar los instrumentos y técnicas de las teorías matemáticas para estudiar el comportamiento de sistemas complejos, y posteriormente hacer el camino inverso para traducir los resultados numéricos a la realidad física.

1.1.4.2 Modelo sistémico. Es el producto del análisis matemático y surge operativamente de un conjunto de partes interrelacionadas y se realizan basados en la teoría de la integración matemática y biológica, y la interpretación de las relaciones fisicoquímicas, Biológicas, fluviales y espacio temporales. Según Aracil (1996), en su documento introducción a la dinámica de sistemas, “la dinámica de sistemas no es más que una metodología a partir de la cual se maneja en tiempo y espacio un sistema real a partir de la información que se tiene”. (27)

Para llegar a él lo primero que se hace es un modelo conceptual con el cual se reproduce mediante fórmulas y algoritmos matemáticos complejos, los procesos físicos que se producen en la naturaleza, a partir del reconocimiento de las relaciones que existen entre los diferentes parámetros y variables en nuestro caso,

una vez reconocido el sistema cuenca e identificados variables y parámetros de dependencia e influencia directa se procede a construir la fórmula.

Este modelo se conoce como modelo causal donde se interpretan las relaciones y redes y se da origen al Modelo de Forrester. Con el cual a través de representaciones matemáticas se refleja el comportamiento del sistema.

Forrester (1996), es considerado desde hace 50 años como *el padre de la dinámica de sistemas*, él propone el uso de los computadores para simular sistemas reales con base en el conocimiento de las variables y las relaciones del sistema. Su libro *Dinámica industrial* de impreso en 1961 con versión española de ateneo es clave al iniciarse en los procesos de simulación.

1.1.4.3 Modelo hidrológico. Los modelos hidrológicos son representaciones simplificadas de los sistemas hidrológicos reales, a partir del cual se puede estudiar la relación “causa-efecto” de una cuenca a través de datos de entrada y salida, con los cuales se logra un mejor entendimiento de los procesos físicos e hidrológicos que tienen lugar dentro de la cuenca.

Además, permiten simular y predecir el comportamiento hidrológico de los procesos físicos en la cuenca. Trelles, Salgado, y otros entre 2004 y 2008 presentaron 2 modelos para la cuenca del río Balsas en México utilizando powersim 2005 en plataforma de hydrotel llevando la información de Excel siendo claves en los procesos de planificación y análisis costo beneficio del sistema.

Generalmente, los modelos hidrológicos se basan sobre los sistemas existentes y difieren en términos de su manejo y la magnitud de los componentes que integran el proceso hidrológico.

1.2 ANTECEDENTES

Las discusiones sobre la importancia, identificación, cuantificación y cualificación de las comunidades periféricas se iniciaron con Kowalczewskien en 1965. Diez años más tarde se continuaron con Ruttner, quien en 1975 recogió las inquietudes de varios limnólogos americanos y definió la comunidad periférica como “[...] los organismos adheridos a la vegetación o el sustrato en un ecosistema acuático [...]”, definición que se adopta en este estudio. (p. 295).

Verneaux (1973), citado en Persson (1978), estableció una relación entre los indicadores periféricos y la red hidrográfica; en su estudio definió métodos de muestreo y mapeo que permitieron deducir la calidad biológica del agua.

Gessner, en 1995, reveló los primeros estudios sobre perífiton en la cabecera del río Orinoco; en él concluyó que la temperatura no es una limitante para la mayoría de estas especies y, aportó metodologías que se consideran claves para este tipo de estudios.

De otra parte, Kiligeman, et al, en 1990, realizaron un estudio sobre los efectos del transporte de nutrientes al hábitat acuático de un río con lecho de grava, determinaron en el estudio que la movilización de materiales afecta los hábitats bentónicos, las condiciones hidráulicas de la corriente y la cantidad y calidad de los organismos, en los distintos puntos de muestreo.

Anom (1992), en su análisis sobre sedimentos y hábitat acuáticos en sistemas fluviales, estableció relaciones entre los tipos de sedimentos y los organismos, y justificó la necesidad de estos estudios previos a los planes de manejo y conservación de las fuentes de agua.

Chutter (1995), analizó el papel que tienen las comunidades acuáticas en los planes de manejo sostenible de las fuentes; invitó a la realización de biomonitores permanentes que permitan reconocer la calidad del agua y el papel que representan las comunidades acuáticas en los procesos productivos, económicos, ecológicos y sociales; además de la autodepuración de las mismas, sugirió la combinación de metodologías fisicoquímicas, biológicas, matemáticas y sociales para evaluar una corriente y diseñar su manejo.

Graterol y Lara (2004), realizaron un estudio en el río Guacará (Venezuela), obteniendo resultados que evidencian la presencia de organismos indicadores de calidad y su variación. Él analiza como los individuos de las órdenes Ephemeropteros, Plecóptera y Trichópteros, tienden a disminuir su abundancia y riqueza de especies desde el norte hacia el sur, por efecto de la perturbación antrópica.

Paredes, Iannacone & Alvarino (2005), en Perú, emplearon el índice biótico BMWP para valorar al Río Rímac. La clasificación de las aguas a lo largo de su trayecto permitió establecer rangos de calidades, desde buena hasta aguas muy contaminadas; los resultados fueron corroborados con análisis fisicoquímicos, entre ellos la demanda bioquímica de oxígeno, indicando efectos de perturbación evidentes en el ecosistema acuático.

Pizarro, Soto, Arias y Jordán (2005), realizaron la aplicación de dos Modelos de Simulación Integral Hidrológica para la estimación de caudales medios mensuales, en dos cuencas de Chile central. Los Modelos de Simulación Integral de Cuenca poseen la facultad de estimar series de caudales a partir de datos meteorológicos. Resulta de gran utilidad contar con modelos ajustados, que permiten completar series históricas de caudales y generar series en cuencas que no poseen datos, constituyéndose en una importante herramienta de la planificación de faenas

forestales, ya que permiten el diseño de obras hidráulicas asociadas a la evacuación de agua, como puentes, alcantarillas y canales de evacuación.

Otaegui (1986), realizó un estudio fisicoquímico de la cuenca del río Deba con el propósito de conocer los aportes contaminantes, tanto de origen urbano como industrial, y las concentraciones de diversos parámetros de calidad de aguas en varios puntos de toma de muestra a lo largo del cauce. Se emplearon modelos matemáticos para explicar el comportamiento de algunos de los parámetros y se avanzó en la formulación de procesos de planificación.

Oropeza, Mejía, Sáenz & Torres (1998), formularon un modelo hidrológico para determinar con eficiencia y precisión los componentes del ciclo hidrológico en una cuenca, y estimar eficientemente el comportamiento y la magnitud (abundancia y carencia) del agua en los fenómenos de frecuencia rara. La consideración y el uso de los modelos hidrológicos es primordial para apreciar, simular y predecir los daños causados por las inundaciones, para resolver problemas prácticos de inventarios, para planear, diseñar, manejar (administrar) y para la toma de decisiones de los recursos hidráulicos en una cuenca, región o país.

Martínez & Estévez (2005), realizaron la integración de un modelo para la gestión sostenible de la laguna del mar menor y su cuenca de drenaje en Murcia, España. El modelo parte del análisis de la relación entre aportación de nutrientes a la cuenca y factores de uso de suelo (cultivos, transporte, urbanismo); el modelo bioquímico genera escenarios de proyección que permiten avanzar hacia una gestión más sostenible del mar menor.

1.2.1 En Colombia. En Colombia se han realizado varios estudios sobre el tema, la mayoría hechos por las Universidades de Antioquia, Nacional, Valle, Quindío, Tolima, Javeriana y la del Cauca, entre otras. En ellos se realizó investigación relacionada con la dinámica y taxonomía de las comunidades periticas, profundizando en el mejoramiento de los bioindicadores y, encontrar diferencias y similitudes entre parámetros ambientales, fisicoquímicos, biológicos e hidráulicos, entre fuentes de agua, estaciones de muestreos, épocas de muestreo y condiciones geomorfométricas de las fuentes de agua.

Angulo et al. (2003), evaluaron la eficiencia del sistema de lagunas de estabilización sobre el río Guatapurí, receptor de los vertimientos, en Tarullal (Departamento del Cesar), utilizando los macro invertebrados acuáticos como organismos que reflejan el estado de las aguas; calcularon el índice BMWP en ocho estaciones de muestreo. Los análisis permitieron determinar la presencia de insectos indicadores de aguas de mala calidad y algunos vectores de importancia sanitaria, con lo cual verificaron la ineficiencia del sistema de estabilización.

Cruz & Andrade (2005), realizaron la valoración de las aguas de la Quebrada El Caraño (Municipio de Quibdó), teniendo como base el bentos y, variables físicas y químicas. Mediante el cálculo del índice BMWP, se logró catalogar la cuenca alta como aguas moderadamente contaminadas y la cuenca baja como fuertemente contaminadas. En contraposición, los resultados físicos y químicos denotaron las localidades como sistemas de aguas semi contaminadas, según las normas técnicas de calidad colombiana.

Collazos (2005), realizó un estudio de evaluación de calidad de la quebrada la Perdiz, en Florencia, Caquetá; reportó que, de acuerdo a sus características físicas y químicas, la calidad del agua es mesotrófica; además, el estudio enfatizado en la fauna de Trichópteros permitió hallar siete géneros pertenecientes a seis familias, cuya abundancia y riqueza disminuyeron a medida que el cuerpo de agua atraviesa la ciudad de Florencia.

Serrato-Hurtado (2008), realizó un análisis de información secundaria, en el cual incluía estudios de calidad de agua, relacionando procesos físicos, químicos, microbiológicos y macro invertebrados, en 75 ríos y 16 lagunas de la Cuenca Andino - Amazónica Colombiana (Departamentos de Caquetá, Putumayo y Cauca). Ella comparó, mediante dos métodos tradicionales, el uso de los macro invertebrados para fines de indicación biológica, como son el EPT (Ephemeropteros, Plecóptera y Trichópteros) y el BMWP (Biological Monitoring Working Party) a los cuales les realizó un análisis minucioso de sus bondades y debilidades para su uso en estas áreas geográficas

Por su parte en el Cauca el grupo de investigaciones en recursos hidrobiológicos continentales ha realizados varios trabajos asociados al uso de los macro invertebrados y el perífiton como indicadores de calidad de agua.

Zamora (1992) estudió los macro invertebrados dulceacuícolas en los diferentes pisos altitudinales en el departamento del Cauca; manifestó que la mayor diversidad de macro invertebrados se encuentran en la zona de vida de bosque pre montano (BPM), entre (1000 y 2000 Mt. sobre el nivel del mar), en áreas húmedas y muy húmedas; le sigue en importancia la diversidad encontradas en áreas basales, es decir en zonas entre los 0 y 1000 Mt. , confirmando que la menor diversidad se presenta en las zonas de bosque Motano (bM), con altitudes superiores a los 3000 Mt., correspondientes a áreas fría y paramunas.

Zamora (1993), realiza estudios sobre los niveles de alteración de las comunidades de macro invertebrados acuáticos del río Molino por efecto de la contaminación antrópica y natural. En este estudio concluyó que el río Molino de su nacimiento hasta la entrada de la ciudad conserva en un 60% las características de un cuerpo de agua de calidad, pero que ante los tenses que se presentan explotación de materiales, vertimiento de aguas residuales, depósito

de basuras, el río pierde significativamente su calidad, por lo que propone un plan de mejoramiento y restauración de la cuenca.

Navarrete, Naundorf & Paz (1993) realizan un estudio limnológico del río Piedras con el fin de evaluar ambientalmente la cuenca. En este estudio se evidencia que los parámetros fisicoquímicos no presentan diferencias significativas y, están en rangos normales; por su parte, los índices de diversidad asociados a perífiton y macro invertebrados determinan una diversidad media; además, la evaluación ambiental realizada evidencia el deterioro de la fuente debido a presiones antrópicas.

Zamora (2005), realiza estudios que le permiten adaptar el índice del BMWP y realiza una evaluación biológica a la calidad de agua en varios ecosistemas hídricos de la región y, la publicación de estos resultados le generó el reconocimiento como investigador que adapta estos índices para Colombia.

Longo y Zamora (2007), realizan un estudio sobre la composición y estructura de los macro invertebrados acuáticos y la determinación de las características fisicoquímicas a un ciclo de un río intermitente en el departamento del Cauca; en este trabajo analizan 2 épocas de lluvia y sequía en el área de influencia de la quebrada Potrerillo, analizan registros históricos venereológicos y estructuras de comunidades acuáticas (macro invertebrados acuáticos epicontinentales) MAE, aplican BMWP/col y definen que la quebrada es un sistema meso-trófico donde el oxígeno y la temperatura se confirman como factores limitantes del desarrollo y crecimiento de los MAE.

Sandoval y Zamora (2010), realizan un análisis de la estructura de comunidades de los macro invertebrados y caracterización de la calidad del agua, a partir de métodos de bioindicación, en la zona aledaña al área de transvase del río Ovejas. El estudio duró un año, contempló análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de macro invertebrados y determinó que el factor que influye en la dinámica de los bioindicadores es la frecuencia e intensidad de las lluvias.

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales –CEPIS- (1972), aplicó el modelo SIMOX2 en el río Medellín, en una longitud de 98.9 Km., desde el sitio la primavera hasta Gabino.

La oficina de Cooperación Técnica Internacional de Holanda -C.T.I. (1990 y 1992) aplicó para la CAR (Bogotá) y C de Medellín un modelo de simulación que se conoce como CODOS 3 (Convective – Dissolved – Oxygen – Transport – Simulación).

La Universidad Nacional, (1992), realizó en los ríos Cauca y Bogotá la aplicación de un modelo llamado CALA con el fin de evaluar la calidad de estos ríos a partir

de los siguientes parámetros: caudal, PH, temperatura, cloruro, cromo total, DBO₂, boro, NTK y NO₃.

Giraldo y Lozano (2000), en la Universidad de Quindío desarrollaron un modelo de simulación de la calidad de agua del río Quindío, teniendo en cuenta condiciones fisicoquímicas y distribución espacio temporal del fitoplancton.

Correa y Díaz (2005), en la Universidad Javeriana aplicaron el modelo THOMAS para el balance hídrico de los ríos de la ciudad de Medellín, y la herramienta computacional HIDROSIG-JAVA, Esta herramienta fue desarrollada por la Universidad de Medellín y permite el análisis de las diferentes variables hidrobiológicas, fisicoquímicas y microbiológicas. Además, cuenta con una base de datos sobre las cuencas del país, lo cual permite mapificar, comparar y generar procesos topográficos y de calidad hidrobiológica de las cuencas.

Holguín, & Rojas (2006), implementaron un modelo dinámico para el estudio de la calidad del agua del río Cauca, empleando la propuesta MIKEL II.

La Corporación Autónoma regional del Valle del Cauca CVC en convenio con el Instituto de Investigaciones CINARA de Univalle y EMCALI, entre (1992 y 1998) realizan trabajos de modelación del Río Cauca y utilizan el modelo unidimensional QUAL2 y QUAL2E con el fin de simular el comportamiento de las cargas contaminantes que recibe el río y definir los impactos de diferentes opciones de remoción de la carga vertida; estos estudios generaron imágenes de comportamientos claves para definir manejo y mapificar puntos críticos del río.

La Universidad del Valle - Univalle y la CVC, (2001) en convenio se realiza el proyecto PMC, utilizando MIKELII con el fin de simular las características hidrodinámicas, morfológicas y fisicoquímicas de la calidad del agua del río Cauca en el tramo Salvajina-La Virginia; el proyecto permitió identificar parámetros claves para presentar un modelo calibrado y verificado de la dinámica del río.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo afecta el proceso de extracción de material de arrastre a la composición y estructura de las comunidades de macro invertebrados y micro algas, en la micro cuenca alta del río Los Robles, municipios de Timbío y Sotaró en el departamento del Cauca?

2.1 HIPÓTESIS

La extracción de materiales de arrastre produce cambios significativos en las características fisicoquímicas y biológicas del río Los Robles.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Valorar los efectos que produce la extracción de materiales para la construcción en el río Los Robles, Municipio de Timbío, Departamento del Cauca, sobre la dinámica hidrológica, físico química y biológica.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características físicas, químicas y biológicas del río Los Robles en su parte Alta.
- Caracterizar el ensamblaje entre algas perifíticas y macro invertebrados en tres sitios del micro cuenca alta del río Robles.
- Identificar las relaciones de los factores físico-químicos con la estructura de las comunidades existentes en la zona de estudio, durante las épocas observadas.
- Evaluar el comportamiento del río a mediante el uso de una herramienta de simulación que permita evidenciar el comportamiento del río en el tiempo ante el tensor.

4. METODOLOGÍA

En el presente trabajo investigativo se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo de una serie de datos, obtenidos por medio de muestreos periódicos que permitieron la observación histórico-descriptiva en la fuente de agua del río Los Robles, Departamento del Cauca, durante 3 espacios de tiempo. En el trabajo se compararon, en función de espacio y tiempo, parámetros, variables y relaciones, a través de pruebas de correlación estadística.

4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se realizó en los municipios de Sotará y Timbío, en el departamento del Cauca, siendo el área de mayor influencia la perteneciente al municipio de Timbío. Éste limita al norte con el Municipio de Popayán, en la parte media de la microcuenca del río Los Robles. El Municipio de Timbío, se localiza entre los 1.200 y 1.900 m.s.n.m a los 2°20' de latitud norte y a 2°35' de longitud oeste, respecto al meridiano de Bogotá (UMATA, 1994); situado al sur-occidente de Colombia y en la parte centro-oriental del Cauca, sobre la vertiente de la cordillera central (Ver Figura 1). Perteneció al macizo andino sur-Colombiano dentro del cinturón cafetero de Colombia y hace parte del altiplano de Popayán (UMATA, 1994); tiene una superficie de 20.502,9 hectáreas, es decir, 205.0 kilómetros cuadrados, aproximadamente. Presenta una topografía desde ligeramente plana a fuertemente ondulada.

El comportamiento pluviométrico del Municipio se caracteriza por ser bimodal, con una temporada de lluvias entre septiembre y diciembre y, una segunda temporada entre enero y junio; y, dos temporadas secas, la primera a fines de diciembre y comienzos de enero, y la segunda entre julio y agosto. Se encuentra entre la provincia húmeda y per húmeda, con una precipitación promedio anual de 2.027,35 mm³ y un promedio de 195,7 días de lluvia por año, equivalente al 54% del tiempo. (UMATA, 1994)

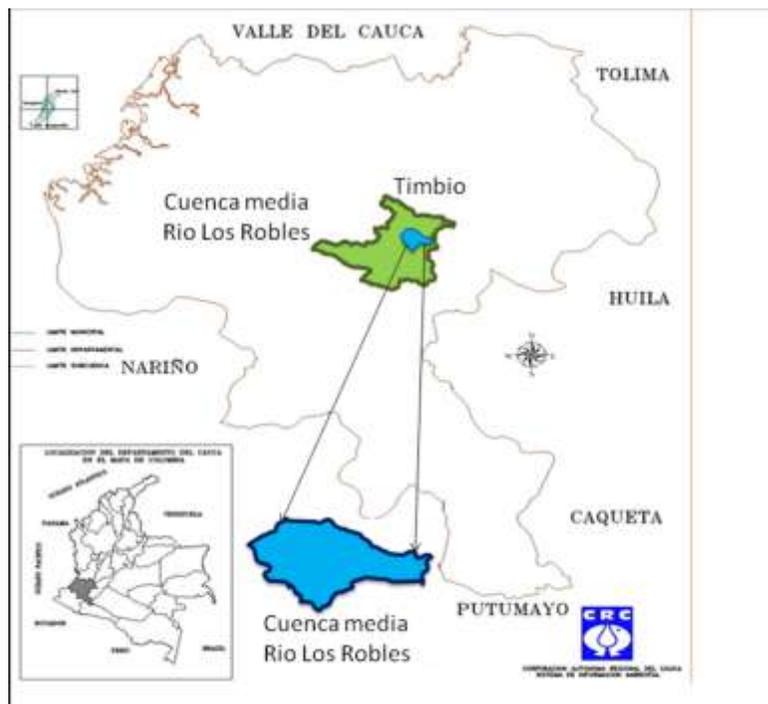
En cuanto a los cultivos agrícolas, se encuentran los permanentes y anuales, zonas de pastoreo y de corte, áreas de agroforestería, áreas en rastrojo y sin uso agropecuario. En la parte pecuaria, se observan la explotación de especies menores para la subsistencia. (UMATA, 1994; citado por Cifuentes y Córdoba, 2002). Es, por lo tanto, utilizado para una producción variada en la que poco existen los monocultivos, con un sistema de explotación del suelo que puede considerarse tradicional, en el que la tecnología de agroquímicos se aplica sólo a algunos cultivos, como el café.

El Municipio de Timbío, según la clasificación de Holdridge, se encuentra dentro de la zona de vida Bosque Húmedo Pre-montano (bhPM); y, de acuerdo con la

clasificación propuesta por Cuatrecasas, pertenece a la formación vegetal Selva sub-andina. (Rangel, 1997)

El sistema hídrico de Timbío pertenece a dos cuencas importantes: La del Río Cauca, porque fluyen los ríos Hondo, Los Robles y Guayabal, y al Río Patía, fluyen los ríos Piedras, Quilcacé y Timbío. (UMATA, 1994)

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio



Fuente: Corporación para la Reconstrucción y Fomento del Cauca –CRC–, (2000)

4.1.1 La microcuenca del río Los Robles. Según el POT del municipio de Timbío (1999), el río Los Robles nace en el cerro La Catana, ubicado en la cordillera Central, en el municipio de Sotará, en una cota de 3.000 m.s.n.m y después de hacer un recorrido de oriente a occidente sobre la unidad de colinas del altiplano de Popayán, desemboca al río Hondo en el municipio de Tambo, y el río Hondo a su vez tributa sus aguas al Cauca. Este río tiene atractivo turístico por sus balnearios naturales a los cuales se accede por la vía Panamericana, vereda Los Robles situada a 7 kms de Popayán.

Según el diagnóstico integral de Municipio de Sotará realizado por la Alcaldía Municipal en el (2008), la Micro cuenca Río Los Robles en el municipio de Sotará, se localizada al norte del municipio con una extensión de 89,8968 Km², su cauce principal tiene una longitud de 21,7631 Km. desde su nacimiento en la cota 2.800

hasta su desembocadura en el río Hondo, en su recorrido predomina el clima frío húmedo y templado húmedo. Dentro de la sub cuenca del Río Los Robles se encuentran las veredas Chiribío, Poblacéña, El Crucero, El Higuierón, Trilladero y Sachacoco 1 en el Municipio de Sotará. De ellas las veredas de Chiribío, Poblacéña y Sachacoco 1 hicieron parte de este estudio.

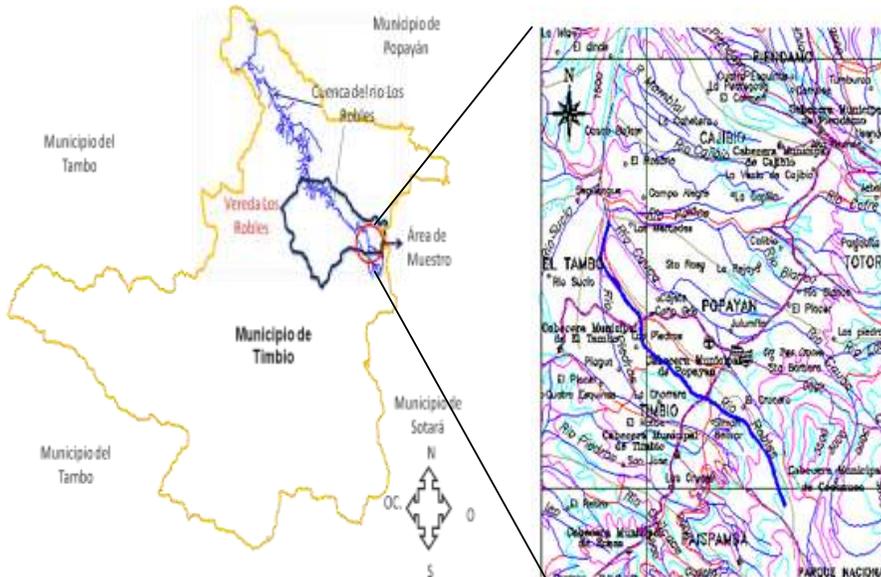
Por su parte Anaya realizó en el 2009 una monografía del municipio de Timbío donde reporta que la Micro cuenca Río Los Robles en el municipio tiene una extensión de 150.4 km², recorre las veredas Los Robles y Sachacoco 2.

El área total de la micro cuenca del río Los Robles es de 302 kms², de los cuales el área de estudio comprende 88.4 km², es decir, el 29.8% de la micro cuenca en las veredas Sachacoco 1 de Sotará y Sachacoco 2 de Timbío, Poblacéña de Sotará y Robles de Timbío, el área de trabajo involucra en un 80% al municipio de Timbío y en un 20% al municipio de Sotará

La forma de la micro cuenca es ovalada, presenta geoformas que van desde zonas planas, con pequeñas colinas, hasta colinas agrestes; predominan las unidades de paisaje con matriz de pastizal y bosque secundario, árboles y matorrales aislados y, parches de cultivos tradicionales.

El mapa de la micro cuenca, elaborado por la CRC en el año 2000, dice que la micro cuenca está situada en un sector volcánico cuya actividad ha venido decreciendo, se caracteriza por presentar suelos de origen volcánico, con pendientes suaves y cortas, dando lugar a un paisaje en forma de colinas, con suelos medianamente fértiles, susceptibles a la erosión y, por su origen, con tendencia a la acidez, lo que implica el uso de insumos para reducirla. (Ver Figura 2)

Figura 2. Recorrido de la zona de estudio



Fuente: Propia del estudio, “Caracterización hidrodinámica de la Sub cuenca media del Río Robles”, 2001

Castillo (1999), define el área real de estudio y dice que esta corresponde a 88.8 kms², que el perímetro es de 442,2 km y la longitud de la corriente principal es 33.742 Mts. con una tendencia alargada.

Como se dijo anteriormente, el micro cuenca recibe diversos tensores en el área de estudio, en ella predominan los cultivos agropecuarios, el vertimiento de aguas residuales, pero, la actividad que se considera de mayor impacto es la extracción de material de arrastre para la construcción.

Del POT del municipio de Timbo (2008) se deduce que el área de estudio se ubica en una zona de bmh-MB, donde predominan especies como: robles (*Quercus humboldtii*), yarumos (*Cecropia sp*), cucharo (*Clusia multiflora*), el mortiño (*Clidemia sp*), nacedero (*Trichantera gigantea*) y arrayán (*Myrcia popayanenses*, entre otras

Según el Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos [IDEAM] (1994), en el municipio de Timbío se presentan tributarios de dos importantes cuencas del país: la del río Cauca, al cual le aportan agua los ríos Robles, Hondo y Guayabal y, la del río Patía, al que le aportan agua los ríos Piedras, Quilcacé y Timbío.

El mismo documento plantea que la zona presenta un comportamiento pluviométrico bimodal, con épocas de lluvia y sequía, una precipitación promedio anual de 2027 mm³.

Los datos del estudio se colectaron en un área comprendida entre las cotas 1750 m.s.n.m. y 2050 m.s.n.m., con 3 estaciones de muestreo para conocer la dinámica del sistema y, para hacer un comparativo de su comportamiento en los últimos diez años.

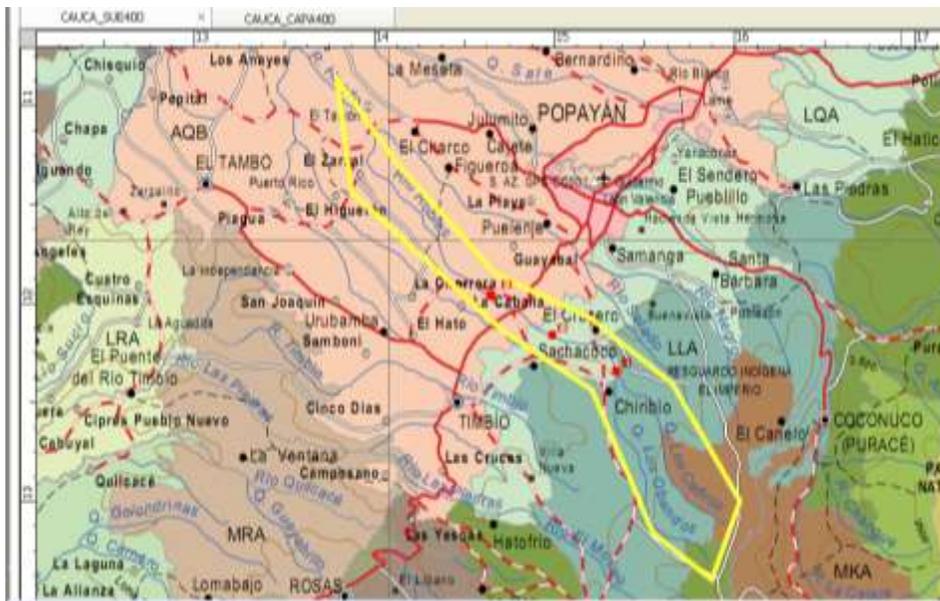
Las estaciones de muestreo se definieron:

Estación 1. E1 en la cercanía a la inspección de Chiribío, aproximadamente a los 2.050 m.s.n.m., zona protegida, cercana al nacimiento del río, donde los habitantes realizan labores agropecuarias y explotación de material de arrastre artesanal, en bajos volúmenes. El sitio de muestreo se ubicó antes de las zonas de extracción, el área según Holdridge (1978), pertenece a bhMB, está rodeado de pastos y cultivos de pan coger; mineralógicamente la zona según Orrego (1993), presenta contenidos de sílice y aluminio.

Estación 2. E2 en la cercanía a la vereda Poblaceña, aproximadamente a 1.900 m.s.n.m., zona con población campesina conformada por familias que basan su sustento en la extracción de material de arrastre y en cultivos de pan coger, el área según Holdridge (1978) pertenece a bh-MB, está rodeado de pastos y cultivos de pan coger; mineralógicamente la zona según Orrego (1993), presente contenidos esquistos, cuarzos y cuarcitas.

Estación 3. E3 en la vereda Los Robles, situada a 1750 m.s.n.m., zona donde no hay extracción de material, procesos productivos agropecuarios y uso de la fuente para recreación en piscinas naturales, mineralógicamente la zona según Orrego (1993), presenta cenizas volcánicas, minerales de sílice.

Figura 3. Puntos de muestreo



Fuente IGAC, 2009. Mapas del Cauca- Cuenca Rio Robles

Fotografía 1. Estación 1



Fuente: propia del estudio

La fotografía 1 representa la zona alta; es evidente la cobertura vegetal, la velocidad y la pendiente que se presenta en esta zona, considerada en el estudio como área con baja intervención antrópica.

Fotografía 2. Estación 2



Fuente: propia del estudio

La fotografía 2 representa la zona media; es evidente la forma de producción y la transformación del área, sometida en el punto no sólo al proceso de tensión por acciones antrópicas, sino también a la explotación de material de arrastre.

Fotografía 3. Estación 3



Fuente: propia del estudio

La fotografía 3 representa la zona baja o de recuperación, después de los procesos de tensión; la zona es dedicada a la recreación, se aprovecha la piscina natural que aquí se muestra.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para el trabajo investigativo se hizo un reconocimiento previo del área de la microcuenca, tanto por observación directa, como en mapas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en escala 1:25.000, con el propósito de formar una idea general y, elegir los sitios adecuados para la recolección de los datos necesarios.

Terminado el reconocimiento general se escogieron tres puntos de la microcuenca que se consideraron apropiados como estaciones de muestreo, tomando como criterio la presencia del principal tensor.

Se realizaron muestreos secuenciales en los años 1998, 2004 y 2008 para verificar el comportamiento del sistema hídrico.

En el año 1998 se hicieron diez (10) muestreos en los tres puntos seleccionados; en el 2004 se realizaron diez (10) muestreos; y, en el año 2008 se realizaron ocho (8) muestreos, durante los muestreos se manejaron siempre las mismas condiciones, tratando de revisar siempre las mismas variables y los mismos parámetros, utilizando los mismos equipos, y puntos de muestreo con el fin de poder observar las variaciones. Así, se pudo determinar la existencia de diferencias en la composición taxonómica y en su diversidad, al comparar tanto los sitios, como los años mencionados, con lo que se obtuvo una visión espacial y temporal de la microcuenca.

Los parámetros fisicoquímicos se determinaron con base en los métodos estándar colorimétricos y potenciométricos. (American Public Health Association [APHA], 1.992) Para efectos del presente estudio se consideraron el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, la turbidez, la conductividad, los sólidos disueltos y suspendidos, la dureza, el nitrógeno, el fósforo, el pH, la temperatura, la demanda bioquímica de oxígeno, el sílice y, la alcalinidad.

Los análisis fisicoquímicos revisaron : Temperatura, oxígeno, pH, nitritos, nitratos, fosfatos y, dureza, se realizaron en campo utilizando equipos aquaMerk y, los análisis de turbidez, sílice y, alcalinidad, se determinaron en los laboratorios de la Universidad del Cauca, previa refrigeración de las muestras y, se utilizaron para ello el espectrofotómetro Merck SQ18 y el colorímetro DR/700 Hach. La conductividad se midió con una conductímetro YSI y para el caudal se utilizó el molinete electrónico marca AOTT-C2.

Con base en el contenido de fósforo total, se estableció el Índice de Contaminación Trófica -ICOTRO, relacionado por Ramírez y Viña (1999), el cual es cualitativo y se interpreta de la siguiente manera:

Si es menor que 0.01 se considera Oligotrófica; si está entre 0.01 y 0.02 se considera Mesotrófica; si está entre 0.02 y 1.0 se considera eutrófica; y, si es mayor que 1.0 se la considera hipertrófica.

Con respecto al análisis de perífiton, la colecta de la comunidad perifítica se hizo mediante raspado del sustrato, aproximadamente 1 cm² en 20 puntos al azar, en 50 m a lo largo de la ribera del río, raspando piedras, troncos, sedimentos, con base en la recomendación del método EPA (1999). El material obtenido se suspendió en 100 ml de agua, se preservó en solución Transeau más conocida como 6:3:1 es decir 6 partes de agua, 3 de alcohol etílico y 1 de formalina y se transportó al laboratorio de UNICAUCA, donde posteriormente se identificaron y cuantificaron los organismos.

Para la identificación taxonómica del material biológico colectado se utilizaron las guías de Roldan (1987), Guzmán (1993), Picudo (1970), Cox (1996), Guiry & Guiry, (2011) y el Algae Base World-wide Electronic Publication, of National University of Ireland, Galway.

Para la cuantificación se utilizó el método de transectos APHA (1992), y volumen de 100 µL.

La colecta de los macro invertebrados se realizó utilizando la metodología propuesta por Roldán (2003). Se dispuso una red de pantalla en contra de la corriente y, a su vez, se removió el fondo para capturar los macro invertebrados presentes, cubriendo un área de 6 Mts², aproximadamente. Seguidamente, se procedió a procesar el material recolectado sobre un cedazo para lavar el exceso de lodo. También, se colectaron organismos adheridos a piedras, ramas, hojas.

Los individuos capturados se preservaron en recipientes plásticos, con alcohol etílico al 70%, adicionado con glicerina. Cada muestra fue rotulada con los sitios de muestreo y, se transportaron cuidadosamente a los laboratorios de Hidrobiología de la Universidad del Cauca. La identificación del material biológico se realizó con la ayuda de un estereoscopio y la utilización de diversas claves. (Roldan, 2003; Fernández – Domínguez eds., 2001; y, Roldán, 1996)

Para evaluar la calidad de agua se utilizó el índice BMWP/Col, aplicándolo por año para los sitios de muestreos, siguiendo la guía de Roldán (2003), modificado por Álvarez (2005), y, las clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP. (Zamora, 2005) La abundancia se tomó como el número total de individuos capturados por familia y por puntos de muestreo.

Como complemento del análisis de calidad de agua se realizó un análisis de sensibilidad y tolerancia de las especies, mediante el cálculo del índice biótico EPT (Ephemeropteros, Plecóptera y Trichópteros) Crawford & Lenat (1989),

Plafkinet *al.*(1989), Eaton & Lenat (1991), que se escogió para su aplicación por la confiabilidad y facilidad en su uso, la estabilidad al referenciar sitios y, su efectividad en monitoreos de calidad de agua, denotando diferencias marcadas en ecosistemas que presentan diferentes rangos de perturbación. El cálculo de este índice se basa en el porcentaje del número de individuos de EPT (Ephemeropteros, Plecóptera y Trichópteros) en estado inmaduro, sobre el número total de familias de macroinvertebrados $EPT/Total\ familias \times 100$, razón por la cual ha sido aceptado e implementado como herramienta económica y confiable en la valoración de calidad de las aguas. (Kleine & Trivinho-Strixino, 2005)

Con esta aplicación que básicamente trata de contabilizar el número total de individuos de los órdenes Ephemeropteros, Plecóptera, Trichópteros, y dividirlos con el número total de individuos capturados de manera que se obtiene un promedio (Carrera & Fierro, 2001; citado por Heyer, Ventura, Arroyo, Martínez y Herrera, s.f.)

La clasificación se interpreta como se muestra a continuación: 1 entre 75-100%, Muy Buena; 2 entre 50-74%, Buena; 3 entre 25-49%, Regular; 4 entre 0-24%, Mala. (Carrera y Hierro, 2001)

Para el análisis y discusión de la información colectada durante los tres años de muestreo, se elaboraron tablas por variable (físicoquímica, macroinvertebrados, perifiton), se realizaron análisis descriptivos que llevaron a establecer los cambios en el espacio y en el tiempo, con estas bases se establecieron los análisis correlacionales en la parte biótica y abiótica. El manejo de la información y su análisis se hizo con programas computacionales, como STATISTICA v8.0, BioDiversity Pro, PRIMER v 6.1.13, PAST v 1.993.

Para el análisis de los datos se utilizó estadística no paramétrica, que se consideró más apropiada para datos dispersos, ya que ésta permite determinar la variación en los parámetros biológicos en cada una de las zonas, en cada uno de los años de muestreo y, además, establecer el tipo de interacción que pueda existir entre los factores espacio y tiempo.

La diversidad entre hábitat se consideró como el grado de reemplazamiento de especies o cambio biótico, a través de gradientes ambientales (Whittaker, 1995). Estas proporciones tienen la ventaja de evaluarse con base en índices o coeficientes de similitud, disimilitud o distancia entre las muestras. Para ello se parte de datos cualitativos (presencia o ausencia de especies) o, cuantitativos (abundancia proporcional de cada especie medida como número de individuos, biomasa densidad, cobertura, etc.), o bien, con índices de diversidad beta propiamente dichos. (Moreno, 2001)

Los índices de similitud / disimilitud son aquellos que expresan el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas. Por eso, son una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de especies entre dos muestras. (Magurran, 1988) Sin embargo, a partir de un valor de similitud (s) se puede calcular fácilmente la disimilitud (d) entre las muestras: $d = 1 - s$. (Magurran, 1988) Estos índices pueden obtenerse con base en datos cualitativos o cuantitativos directamente, o a través de métodos de ordenación o clasificación de las comunidades. (Moreno, 2001)

El coeficiente de Bray Curtis (h) es, también, una expresión cuantitativa que relaciona la abundancia de las especies. Para la elaboración del dendrograma de similitud se utilizó el método de agrupamiento promedio UPGMA (Unweighted pair-group method arithmetic averages), siguiendo los lineamientos de Krebs (1989).

4.3 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos se organizaron en tablas por punto y año de muestreo. Para determinar si existen diferencias estadísticas entre los puntos de muestreo, las épocas del año y, los años de muestreo realizados, se aplicó la prueba t de Student, que también permite interpretar su confiabilidad y, se obtuvieron los índices de diversidad, con base en los cuales se caracterizó la comunidad periférica, en calidad y cantidad, especialmente se basó en el índice de Shannon-Weaver. (Krebs, 1989)

Para identificar si hay diferencias significativas entre los puntos de muestreo, se aplicó un test no paramétrico de Kruskal – Wallis y, posteriormente, la prueba de Tukey entre pares de zonas.

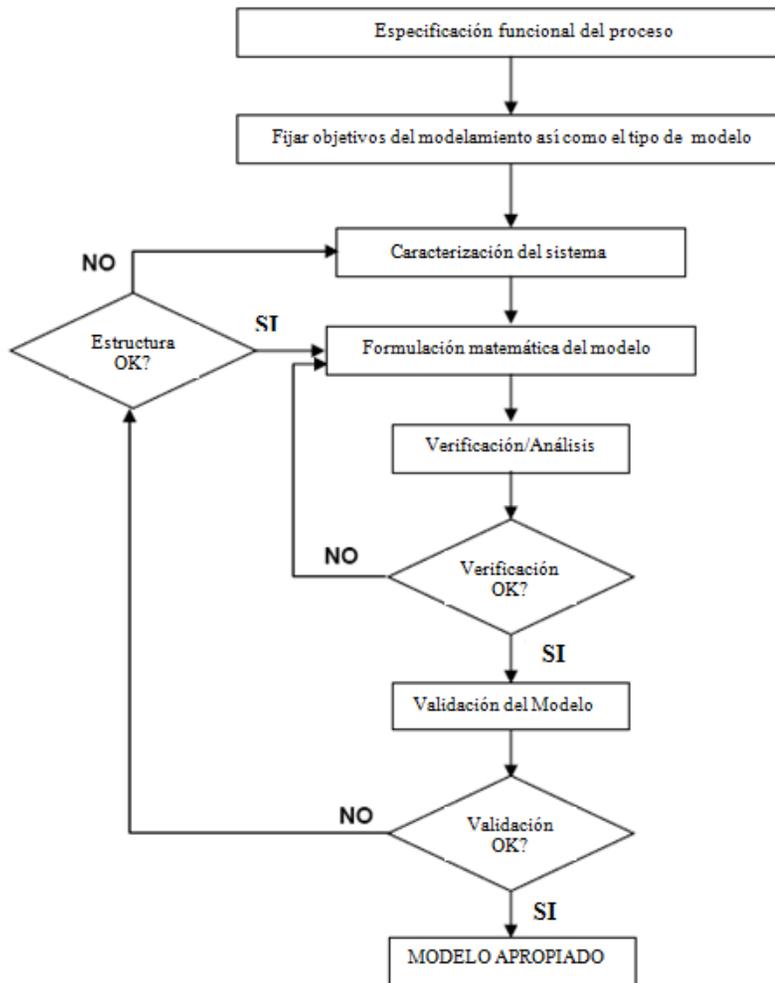
Para identificar si hay diferencias significativas en densidad, riqueza, diversidad de Shannon y, dominancia de Simpson, considerando la varianza de todo el estudio, se aplicó la estadística paramétrica o no paramétrica, según corresponda con la distribución de los datos y la homogeneidad de sus varianzas.

Para evidenciar si es posible distinguir las estaciones y los años en función de alguna o algunas de las variables físico-químicas y biológicas, se utilizaron correlaciones con base en el coeficiente de Spearman o Pearson, dependiendo de su distribución, como se había mencionado antes. Así mismo, para determinar si existe relación en los sitios de muestreo, entre las variables físicas y químicas y biológicas, medidas del agua, medidas en el Rio Robles durante el tiempo de muestreo, se realizó este mismo tipo de análisis.

4.4 MODELO DE SIMULACIÓN

Con la información obtenida para los diversos parámetros, se aplicó el modelo de simulación Evolution V4 el cual fue desarrollado por un grupo de investigadores de la Universidad industrial de Santander, para ecosistemas acuáticos. El modelo se basa en la filosofía de orientación hacia un objeto (Ferreira, 1995) y comprende en términos generales el siguiente algoritmo:

Figura 4. Flujograma del proceso de simulación



Fuente: propia del estudio

5. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos, primero en forma particular y, al final, en un cuadro general a manera de síntesis, que ayuda a formar una visión global del estudio realizado.

Los datos que se presentan como resumen en cada uno de las variables fisicoquímicas y biológicas corresponden a los promedios de los meses de muestreo por año y por estación.

5.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los resultados para estos parámetros, obtenidos en los diferentes muestreos realizados durante los 3 años, se muestran a continuación en tablas donde se consignaron los resultados recogidos por estación y por mes de muestreo, durante 10 meses en el año 1998, 10 meses en el año 2004 y, 8 meses en el año 2008.

Las tablas de la 2 a la 4 muestran el comportamiento promedio de los parámetros fisicoquímicos durante los tres años, en las tres estaciones de muestreo. Las tablas con los datos recogidos por muestreo se entregan en los anexos, a continuación se muestran los promedios con los cuales se construyen figuras que muestran los comportamientos por sitio y por año, correlaciones y modelo.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica en la estación 1 durante los tres años

Parámetros	Años		
	1998	2004	2008
Temperatura ambiente ° c	19,70	20,45	18,63
Temperatura agua ° c	16,60	17,41	16,27
Oxígeno disuelto (mg/l)	7,00	7,65	9,58
% Saturación	82,20	79,25	94,22
Dióxido de carbono (mg/l)	4,36	6,11	2,65
Ph (unidades)	7,28	6,84	6,85
Alcalinidad mg CaCO ₃ /l	120,60	121,00	94,10
Dureza	41,54	16,00	27,72
Turbidez (NTU)	3,29	5,25	3,95
Conductividad (89,02	91,53	94,62
Sólidos totales (mg/l)	65,65	54,20	81,75
Nitratos (mg/l)	27,48	23,30	20,85

Tabla 2 (Continuación)

Parámetros	Años		
	1998	2004	2008
Sílice (mg/l)	8,90	8,13	6,42
Transparencia sechi (mts)	0,39	0,30	0,34
Fosfatos (mg/l)	0,02	0,02	0,02
Caudal (lt/seg)	3,09	3,06	2,92

Fuente: propia del estudio

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica en la estación 2 durante los tres años

Parámetros	Años		
	1998	2004	2008
Temperatura ambiente ° c	21,03	21,05	22,47
Temperatura agua ° c	20,51	20,44	19,87
Oxígeno disuelto mg/l	6,34	8,53	6,02
% Saturación	77,00	89,34	62,30
Dióxido de carbono(mg/l)	5,19	4,40	7,73
Unidades pH (unidades)	7,10	7,15	6,21
Alcalinidad mg CaCO ₃ /l	120,56	118,29	96,75
Dureza	37,13	42,04	34,60
Turbidez (NTU)	4,72	5,96	5,42
Conductividad	97,30	112,56	108,02
Solidos totales (mg/l)	70,98	71,48	90,27
Nitratos (mg/l)	30,76	26,64	24,68
Sílice (mg/l)	11,31	14,90	18,18
Transparencia	0,40	0,28	0,45
Fosfatos (mg/l)	0,02	0,03	0,02
Caudal(lt/seg)	4,35	3,86	4,07

Fuente: propia del estudio

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica en la estación 3, durante los tres años

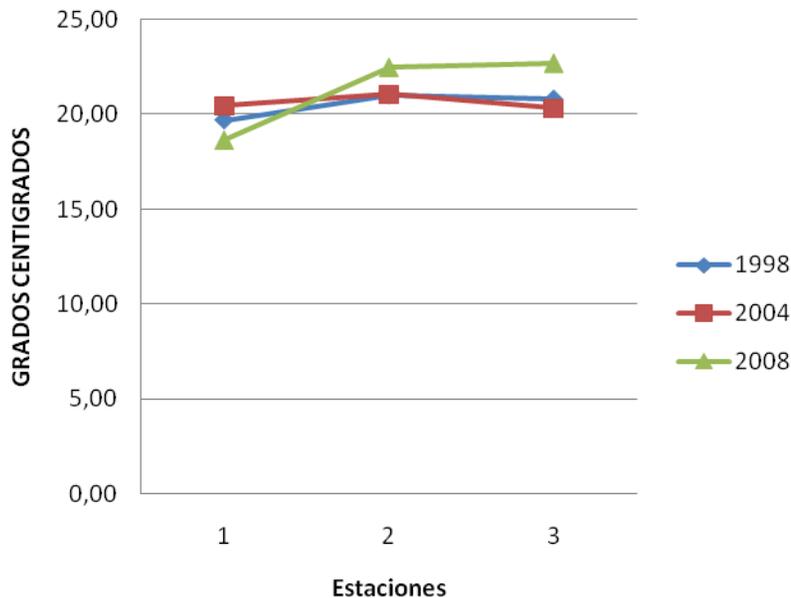
Parámetros	Años		
	1998	2004	2008
Temperatura ambiente ° c	20,80	20,34	22,70
Temperatura agua ° c	21,65	21,30	21,45
Oxígeno disuelto ho mg	7,42	7,70	5,93
% Saturación	86,70	85,63	62,68
Dióxido de carbono	4,12	3,99	4,08
Unidades pH	7,22	7,30	6,23
Alcalinidad	112,23	118,20	77,95
Dureza	42,20	37,78	39,80
Turbidez	5,89	4,33	7,38
Conductividad	88,89	84,44	94,37
Solidos totales (mg/l)	42,12	49,34	50,15
Nitratos (mg/l)	30,94	27,30	27,93
Transparencia sechi	0,29	0,33	0,30
Sílice (mg/l)	9,93	8,94	9,08
Fosfatos (mg/l)	0,02	0,02	0,01
Caudal (lt/seg)	3,78	3,99	3,23

Fuente: propia del estudio

Los resultados fisicoquímicos obtenidos del muestreo mensual y anual para cada una de las estaciones se agruparon luego por parámetro, por estación y año para facilitar su análisis y discusión, con lo cual se generaron las siguientes gráficas.

La Gráfica 1 muestra el comportamiento de los promedios anuales de la temperatura ambiente en las tres estaciones, durante los tres años.

Gráfica 1. Promedio de la temperatura ambiental en las 3 estaciones por año



Fuente: propia del estudio

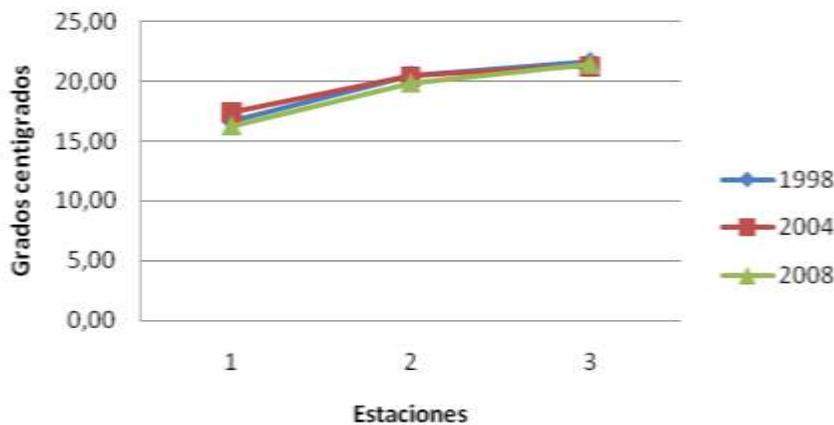
Los valores de temperatura promedio oscilaron entre 18.63° el más bajo y 22.70° el más alto, la estación 1 presentó temperaturas entre 18.63° y 20.45°; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 21.03° y 22.47°; y, en la estación tres los valores encontrados fueron 20.34° y 22.70°. El análisis estadístico de ANOVA y la Gráfica 1 permite evidenciar que no se presentó diferencia significativa en las estaciones de muestreo, ni en los años de muestreo.

Con respecto al comportamiento mensual durante cada año, la temperatura ambiente tampoco presenta diferencia significativa, ni se evidencian cambios drásticos durante el año por estaciones de muestreo. Es importante recordar que las horas de muestreo oscilaron para la estación 1 entre las 7 y 9 AM, la estación 2 entre las 10 y 12M y la estación 3 los muestreos se realizaron entre las 13 y 14 horas.

La estación 3 presenta temperaturas más altas pues además de localizarse a una altitud menor presenta una mayor irradiación debido a la escasa vegetación arbórea.

La Gráfica 2 muestra el comportamiento de la Temperatura del agua durante los 3 años en las 3 estaciones.

Gráfica 2. Promedios de temperatura del agua en las 3 estaciones por año



Fuente: propia del estudio

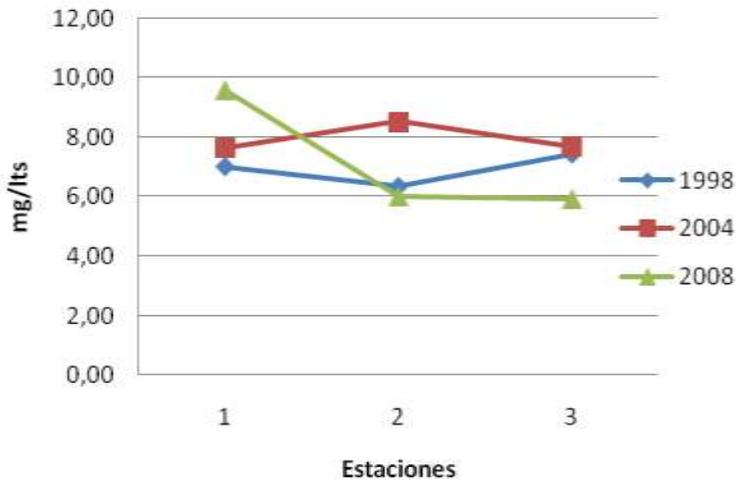
Los valores de temperatura promedio en el agua oscilaron entre 16.27°C el más bajo y 21.45°C el más alto; la estación 1 presentó temperaturas de 16.27°C y 17.41°, por su parte la estación 2 los valores fluctuaron entre 19.87°C y 20.51°C, y en la estación tres los valores encontrados fueron 21.30°C y 21.65°. El análisis estadístico ANOVA y la Gráfica 2 permiten evidenciar que no se presentó diferencia significativa en las estaciones, ni en los años de muestreo.

La estación 1 siempre presentó la más baja temperatura debido a que, además de localizarse a una mayor altura sobre el nivel del mar, se presenta una mayor cobertura arbórea y, usualmente, los muestreos se realizaron en las primeras horas de la mañana (8:00 a.m.).

Al comparar los valores de la temperatura del ambiente con la temperatura del agua se presentó una correlación positiva.

La Gráfica 3 muestra el comportamiento de la concentración de Oxígeno en las tres estaciones, durante los tres años.

Gráfica 3. Concentración promedio de O₂ mg/L



Fuente: propia del estudio

Los valores de concentración de oxígeno (O₂) promedio oscilaron entre 7.00 mg/L y 9.58 mg/L; la estación 1 presentó concentraciones promedio de 7.00 mg/L y 9.58 mg/L; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 6.02 mg/L y 8.53, mg/L y, en la estación 3 los valores encontrados fueron 5.93 mg/L y 7.70 mg/L.

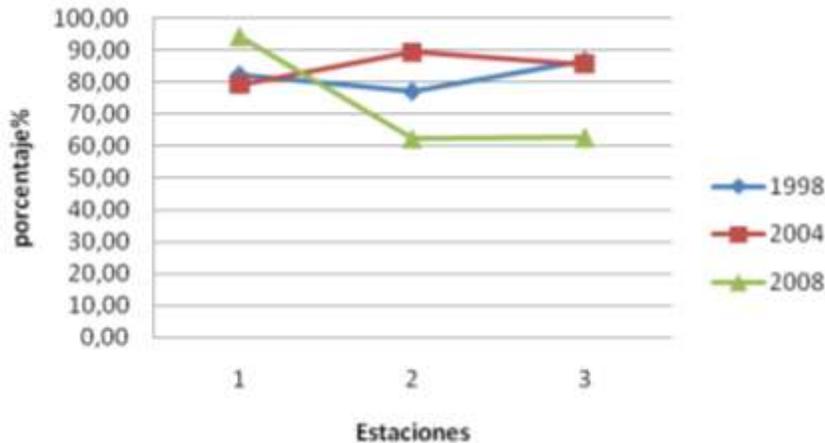
La estación 1 presentó promedios mensuales más altos, pero no existe diferencia significativa entre las concentraciones de oxígeno, ni por meses de muestreo, ni por años.

La estación 2 presenta los valores más bajos de concentración de oxígeno y esto podría estar relacionado con las actividades antrópicas asociadas al área, como explotación de material de arrastre, escorrentía de zonas de cultivo, vertimientos de aguas residuales domésticas, lavado de vehículos y recreación. Las diferencias observadas por año de muestreo y entre los años no son estadísticamente significativas.

La estación 3 mostró una mayor disminución en el contenido de oxígeno que las estaciones 2 y 3. Las variaciones observadas en cada año de muestreo no fueron estadísticamente significativas; pero las diferencias observadas entre los años 1998 y 2004 si presentan diferencias significativas. Entre los años 2004 y 2008 no se observan diferencias significativas para este parámetro.

La Gráfica 4 presenta el comportamiento de los niveles de saturación de oxígeno durante los tres años, en las tres estaciones.

Gráfica 4. Porcentajes de saturación de oxígeno por estación

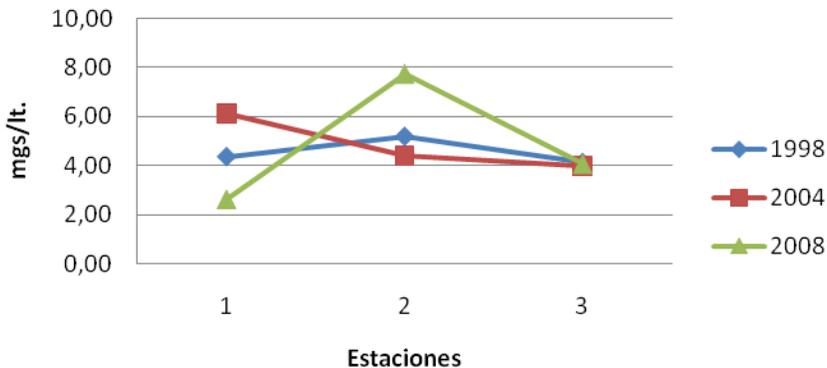


Fuente: propia del estudio

Los valores de saturación de oxígeno promedio oscilaron entre 62.30% el más bajo y, 94.22% el más alto; la estación 1 presentó concentraciones promedio de 79.25% y 94.22 %; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 62.30% y 89.34%; y, en la estación tres los valores encontrados fueron 62.68 % y 86.70%. El comportamiento de este parámetro fue concordante con los comportamientos de las concentraciones de oxígeno disuelto, dado que para el cálculo de este parámetro se utilizaron las concentraciones de oxígeno ajustadas para la altitud y temperatura en cada estación y año de muestreo.

La Gráfica 5 ilustra los promedios de concentración del dióxido de carbono en las tres estaciones, durante los tres años de muestreo.

Gráfica 5. Promedio de concentración de CO₂ mg/L



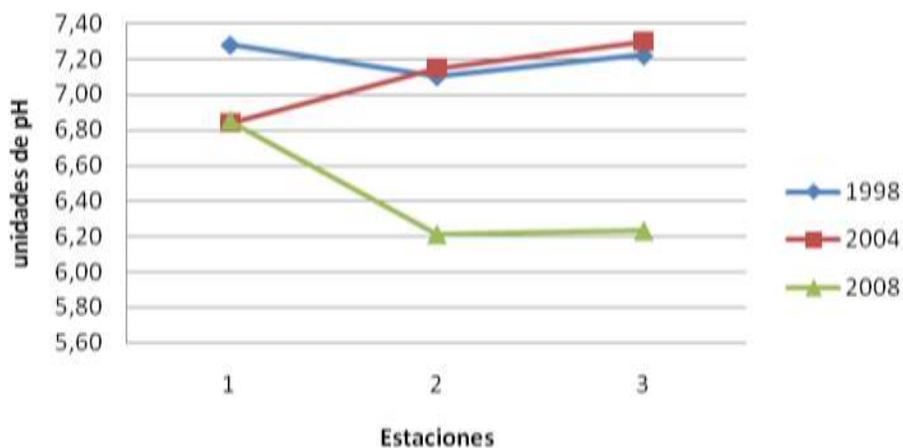
Fuente: propia del estudio

Los valores de concentración del dióxido de carbono (CO₂) oscilaron entre 2.65 mg/L el más bajo y, 7.73 mg/L el más alto; la estación 1 presentó concentraciones promedio de 2.65 mg/L y 6.11 mg/L; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 4.40 mg/L y 7.73 mg/L; y, en la estación 3 los valores encontrados fueron 3.99 mg/L y 7.22 mg/L. El análisis estadístico permite evidenciar que no se presentó diferencia significativa en las estaciones 1 y 2 de muestreo, pero sí entre estas y la 3.

Al comparar la concentración del dióxido de carbono con la concentración de oxígeno, según los análisis de correlación, se presentó una correlación negativa, pues a medida que aumentó el dióxido de carbono disminuyó el oxígeno, particularmente para la estación 3.

La Gráfica 6 muestra el comportamiento de las unidades de pH por estación, durante los tres años en las 3 estaciones de muestreo.

Gráfica 6. Promedios de pH por estación.



Fuente: propia del estudio

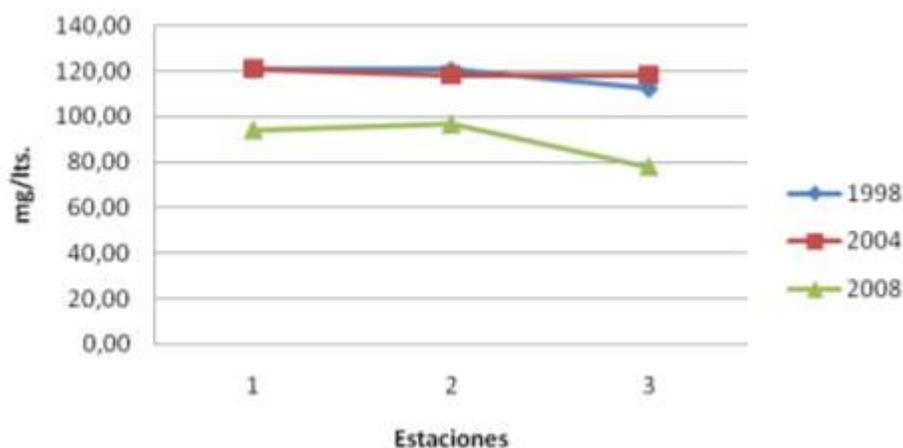
Los valores de unidades de pH promedio oscilaron entre 6.21 y, 7.28; la estación 1 presentó promedios de 6.84 y 7.28, por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 6.21 y 7.10; y, en la estación tres los valores encontrados fueron 6.23 y 7.22. El pH para los años 1998 y 2004 presenta características de un sistema neutro alcalino lo cual está en función con valores de alcalinidad, permitiendo que se presente un sistema buffer. Diferente es el comportamiento de año 2008 que muestra una tendencia hacia la acidez, descendiendo de una tendencia neutra 6.8 a 6.2. El análisis estadístico permite evidenciar que se

presentaron diferencias estadísticamente significativas para la estación 3 en los años 2004 y 2008.

A pesar de las variaciones presentadas, los valores de pH se mantienen en los niveles normales de variación para zonas tropicales, las cuales según Roldán (1992), están entre 6:00 y 9:00.

La Gráfica 7 resalta las variaciones de la alcalinidad entre años y estaciones de muestreo.

Gráfica 7. Promedios de alcalinidad



Fuente: propia del estudio

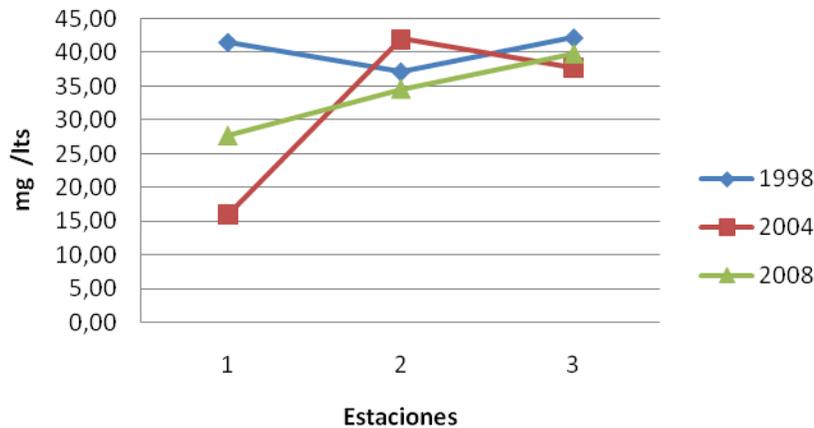
Los valores de alcalinidad promedio oscilaron entre 77.95 mgCaCO₂/l el más bajo y, 121.00 mgCaCO₂/l el más alto; la estación 1 presentó promedios de 94.10 mgCaCO₂/l y 121.00 mgCaCO₂/l; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 96.75 mgCaCO₂/l y 120.56 mgCaCO₂/l; y, en la estación 3 los valores encontrados fueron 77.95 mgCaCO₂/l y 112.23 mgCaCO₂/l.

El análisis estadístico indica que no se presentaron diferencias significativas en cada año de muestreo y para cada estación en los años 1998 y 2004, pero las diferencias observadas para el año 2008 al comparar las estaciones son estadísticamente significativas.

La alcalinidad y el pH presentaron una correlación positiva (a menor pH, menor alcalinidad).

La Gráfica 8 muestra la concentración de la dureza total entre estaciones y años de muestreo.

Gráfica 8. Promedio de dureza por estaciones, por años



Fuente: propia del estudio

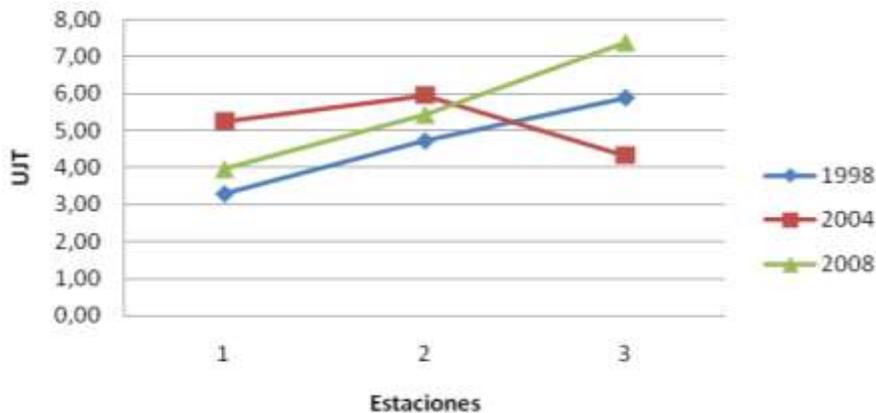
Los valores de dureza promedio oscilaron entre 16.00 mg/L y, 42.20 mg/L la estación 1 presentó promedios de 16.00 mg/L y 41.54 mg/L; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 34.60 mg/L y 42.04 mg/L y, en la estación tres los valores encontrados fueron 37.78 mg/L y 42.20 mg/L. El análisis estadístico ANOVA permite evidenciar que no se presentó diferencia significativa entre las estaciones 2 y 3 durante los tres años de muestreo, pero se muestran diferencias con la estación 1.

La estación 1 presentó para los años 2004 y 2008 los valores más bajos de dureza total con respecto a las estaciones 2 y 3; esta situación puede explicarse en la baja intervención antrópica en el sector y se relaciona con la naturaleza geoquímica del sustrato; caso contrario, las estaciones 2 y 3 presentan una constante influencia antrópica, tanto por la explotación de material como por la recreación y vertimientos.

Roldán (1992), dice que aguas con valores superiores a 25mg/L son de alta productividad y, ese es nuestro caso en las tres estaciones de muestreo, durante los 3 años, con excepción de la estación 1 durante 1998. En general se dice que el agua asociada a las estaciones de muestreo es semidura.

La Gráfica 9 presenta el comportamiento de la turbidez en las tres estaciones, durante los 3 años.

Gráfica 9. Promedio de turbidez por estación, por año

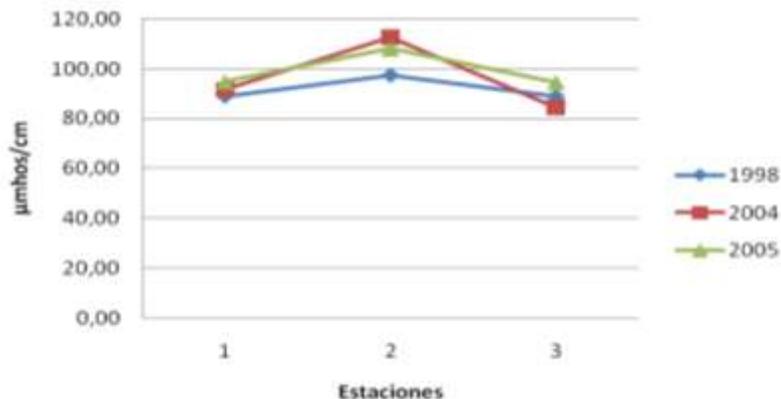


Fuente: propia del estudio

Los valores de turbidez promedio oscilaron entre 3.29 Unidades de turbidez de Jackson (UJT), el más bajo y, 7.38 UJT el más alto; la estación 1 presentó promedios de 3.29 UJT y 5.25 UJT; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 4.72 UJT y 5.96 UJT; y, en la estación 3 los valores encontrados fueron 4.33 UJT y 7.38 UJT. El análisis estadístico indica que a pesar de las variaciones observadas, con un incremento hacia las estaciones 2 y 3, no existen diferencias estadísticamente significativas con excepción del año 2004, factor que se atribuye a la sequía observada en la zona para ese año de muestreo.

La Gráfica 10 muestra el comportamiento de la conductividad durante los tres años, en las tres estaciones de muestreo.

Gráfica 10. Promedio de conductividad por estación, por año

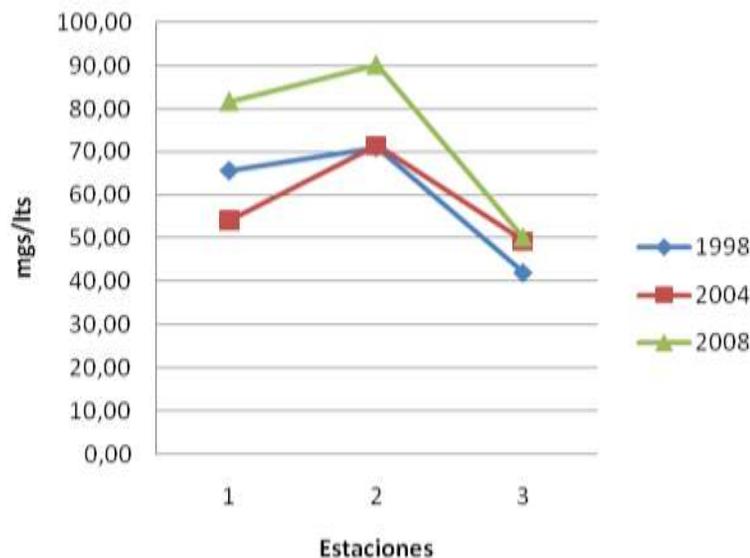


Fuente: propia del estudio

Los valores de conductividad promedio oscilaron entre 88.89 $\mu\text{mhos/cm}$ el más bajo y, 112.56 $\mu\text{mhos/cm}$ el más alto. La estación 1 presentó promedios de 89.02 $\mu\text{mhos/cm}$ y 94.62 $\mu\text{mhos/cm}$.; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 97.30 $\mu\text{mhos/cm}$ y 112.56 $\mu\text{mhos/cm}$.; y, en la estación 3 los valores encontrados fueron 84.44 $\mu\text{mhos/cm}$ y 94.37 $\mu\text{mhos/cm}$. El análisis estadístico ANOVA indica que no se presentó diferencia significativa ni entre años de muestreo, ni entre estaciones.

La Gráfica 11 compara el comportamiento de los sólidos totales durante los 3 años, en las tres estaciones.

Gráfica 11. Promedio de sólidos totales por estación, por año



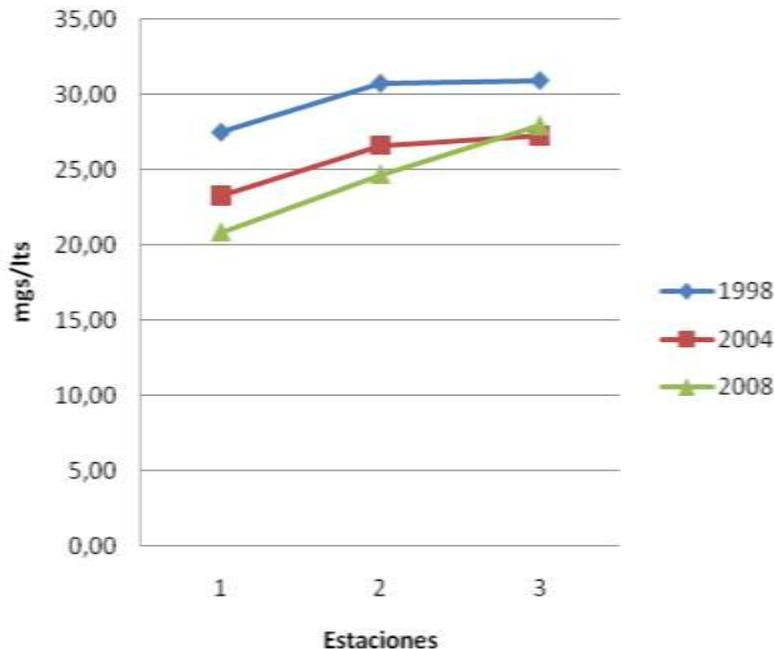
Fuente: propia del estudio

Los valores de sólidos totales promedio oscilaron entre 42.12 mg/L más bajo y, 90.27 mg/L el más alto; la estación 1 presentó promedios de 54.20 mg/L y 81.75 mg/L.; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 70.98 mg/L y 90.27 mg/L; y, en la estación 3 los valores encontrados fueron 42.12 mg/L y 50.15 mg/L. El análisis estadístico nos indica que no existen variaciones significativas para cada estación en cada año de muestreo, pero las variaciones observadas entre las estaciones 2 y 3 si son significativas desde el punto de vista estadístico. Se observó incluso una disminución de los sólidos totales hacia la estación 3 presumiblemente por la remoción de los materiales en la estación 2.

El incremento observado para la estación 2 es concordante con las actividades de extracción de materiales.

La Gráfica 12 muestra la variación en la concentración de los nitratos durante los tres años, en las tres estaciones.

Gráfica 12. Promedio de NO₃. Mg/L



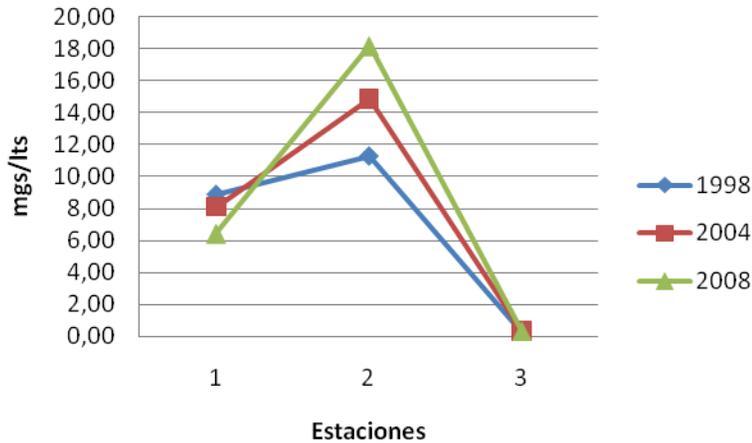
Fuente: propia del estudio

Los valores de nitrato en promedio oscilaron entre 20.85 mg/L y 30.94 mg/L; la estación 1 presentó promedios de 20.85 mg/L y 27.48 mg/L; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 24.68 mg/L y 30.76 mg/L.; y, en la estación tres los valores encontrados fueron 27.30 mg/L y 30.94 mg/L. El análisis estadístico indica que no existen diferencias significativas en cada de muestreo, pero si existen comparando las estaciones entre sí en los años de muestreo. Como se representa en la figura anterior, los nitratos aumentaron para las estaciones 2 y 3, concordante con las actividades antrópicas observadas para las áreas aledañas a estas estaciones.

Los rangos de nitratos encontrados ente 20 y 30 mg/L evidencian que son aguas con niveles de eutrofización que deben ser manejados para evitar que lleguen a la toxicidad.

La Gráfica 13 reporta el comportamiento de sílice durante los tres años de muestreo, y las tres estaciones.

Gráfica 13. Promedio de Si. mg/L

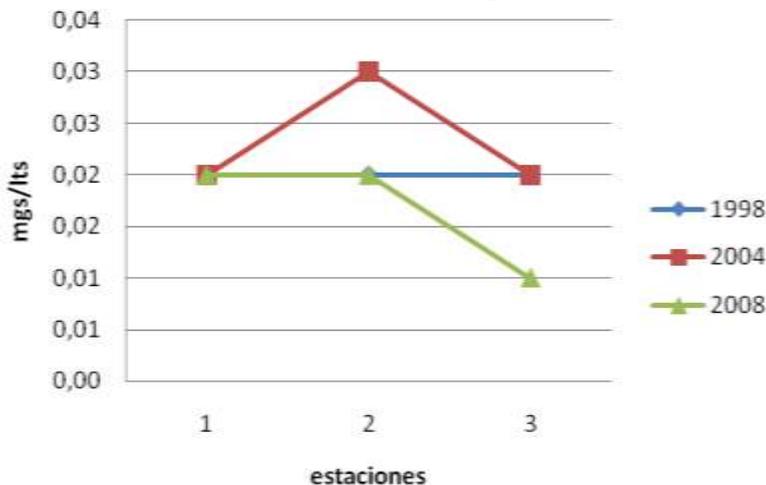


Fuente: propia del estudio

Los valores de sílice en promedio oscilaron entre 0.29 mg/L el más bajo y, 18.18 mg/ el más alto. La estación 1 presentó promedios de 6.42 mg/L y 8.90 mg/L; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 11.31 mg/L y 18.18 mg/L; y, en la estación tres los valores encontrados fueron 0.29 mg/L y 0.33 mg/L. El análisis estadístico indica que la estación 2, la cual muestra incrementos en la concentración de este parámetro concordante con la actividad extractiva, presenta diferencias significativas con relación a las otras dos estaciones

La Gráfica 14 aclara el comportamiento de los fosfatos lo largo de los tres años y en las tres estaciones de muestreo.

Gráfica 14. Promedio de PO₄. mg/L



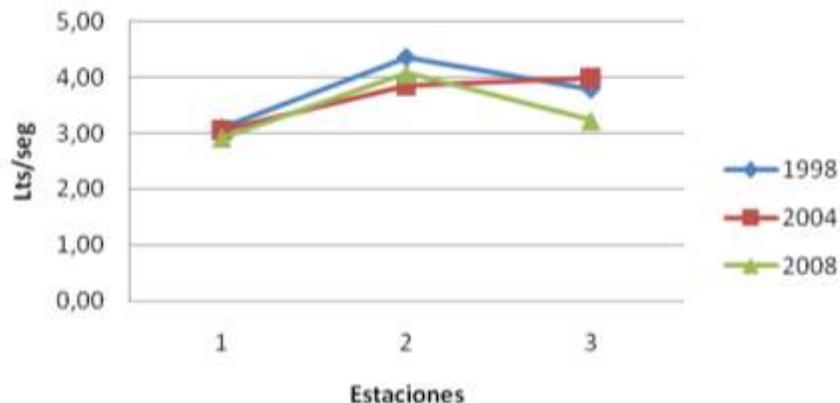
Fuente: propia del estudio

Los valores de fosfatos en promedio oscilaron entre 0.01 mg/L y 0.03 mg/L. La estación 1 presentó los mismos valores a lo largo del estudio; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 0.02 mg/L y 0.03 mg/L y en la estación 3 los valores encontrados fueron 0.01 mg/L y 0.02 mg/L. Se observa un incremento importante de los fosfatos entre las estaciones 1 y 2 para el año de 2004, explicable en la liberación de este ion por efecto de las actividades extractivas y al hecho de que las lluvias fueron escasas, lo que favorece la concentración de este nutriente. Estas variaciones son estadísticamente significativas. Para los años 1998 y 2004, la concentración del nutriente permaneció similar para las estaciones 1 y 3. Pero para el año 2008 se observa una notable reducción de los fosfatos, con variaciones estadísticamente significativas. Se propone que las intensas lluvias en la zona para ese año de muestreo, pueden haber ocasionado dilución del ion.

Según Vásquez (1998), la concentración normal de los fosfatos (PO_4) en las aguas tropicales es muy baja, y está entre 0.001mg/L y 0.002mg/L. Los valores presentados entre 0.001mg/L y 0.03mg/L, aunque están por encima de estos rangos, están muy por debajo de otros registros en los ríos del país, donde ríos con alta densidad de intervención antrópica han llegado a reportar 2.0 mg/L.

La Gráfica 15 muestra el comportamiento del caudal durante los tres años, para las tres estaciones.

Gráfica 15. Promedio de caudal



Fuente: propia del estudio

Los valores de caudal, en promedio oscilaron entre 2.92 Lt/seg el más bajo y, 4.35 Lt/seg el más alto; la estación 1 presentó promedios de 2.92 Lt/seg y 3.09 Lt/seg; por su parte, en la estación 2 los valores fluctuaron entre 3.86 Lt/seg y 4.35 Lt/seg; y, en la estación 3 los valores encontrados fueron 3.23 Lt/seg y 3.99 Lt/seg. El

análisis estadístico permite evidenciar que no se presentó diferencia significativa para este parámetro.

Además de los análisis estadísticos anteriores, se realizó el índice ICOTRO para definir la calidad trófica de las estaciones de muestreo.

La Tabla. 5 presenta los valores del índice de estado trófico ICOTRO para el área de estudio.

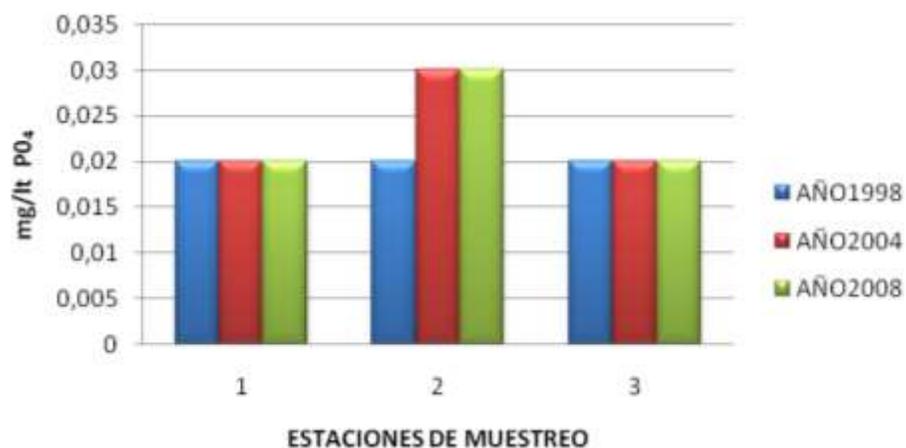
Tabla 5. ICOTRO de las tres estaciones, en los tres años

Índice ICOTRO			
Estación	1998	2004	2008
1	0,02	0,02	0,02
2	0,02	0,03	0,02
3	0,02	0,03	0,01
Tipo	Meso	Eutro	Oligo

Fuente: propia del estudio

La Gráfica 16 muestra las variaciones del Índice ICOTRO en las 3 estaciones y durante los 3 años.

Gráfica 16. Promedio de índice trófico



Fuente: propia del estudio

Con base en los resultados obtenidos, las estaciones 1 y 3 corresponden a áreas Oligotróficas, con un índice de 0,02 para los tres años de la muestra. La estación 2 se califica como Eutrófica, ya que el índice pasa de 0,02 en 1998, a 0,03 en el 2004 y 2008.

En general la observación de los gráficos y los análisis estadísticos llevan a concluir que se presentaron variaciones significativas en 9 de los 15 parámetros analizados, lo cual se evidencia para unos casos entre estaciones y para otros entre años de muestreo.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS

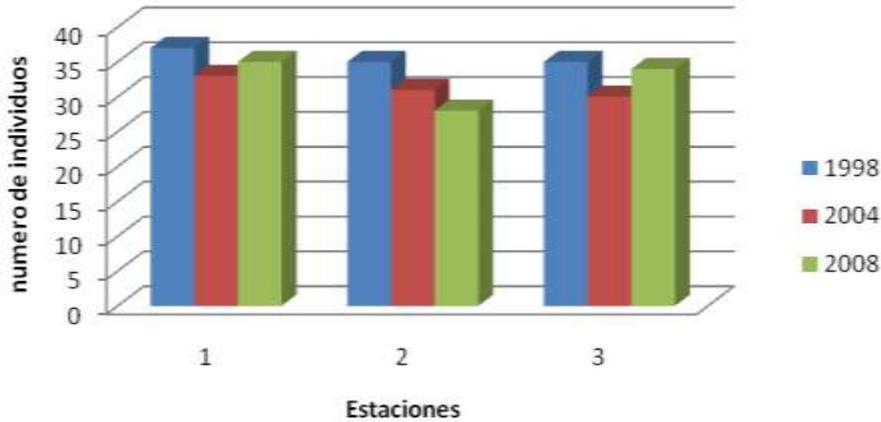
Los resultados obtenidos en los diferentes muestreos realizados durante los 3 años, se muestran a continuación, en tablas en las que se presenta un listado de clases, ordenes, familias y géneros de macro invertebrados colectados en cada una de las estaciones y, por mes de muestreo, durante 10 meses en el año 1998, 10 meses en el año 2004 y, 8 meses en el año 2008.

Las tablas de la 6 a la 8 presentan los promedios de los datos de los macroinvertebrados encontrados en las tres estaciones, durante los años 1998, 2004 y 2008. Es importante recordar que para cada uno de los géneros se estableció un código con el cual se siguen trabajando los procesos estadísticos y, será el que en adelante identifique los individuos encontrados en cada zona, por año.

Durante los 3 años de muestreo, en las tres estaciones, la comunidad de macroinvertebrados colecta fue de 16.615 individuos, agrupados en 5 clases, 16 órdenes, 35 familias y 47 géneros. De los individuos colectados, el 40% pertenece a taxas de Ephemeropteros, Trichópteros, Plecóptera (EPT), consideradas indicadoras de agua de buena calidad. Los ordenes con mayor número de individuos fueron Ephemeropteros, Trichópteros, Dípteros, Coleopteros, Odonatos y Plecopteros.

A continuación se presenta la Gráfica 17 donde se evidencia la representación de géneros para cada estación, durante los tres años.

Gráfica 17. Número de géneros por estación y por año

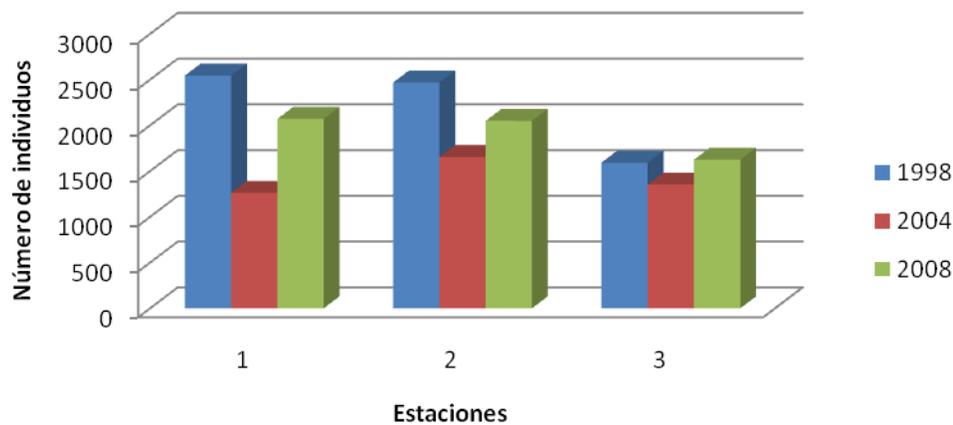


Fuente: propia del estudio

El reporte de géneros muestreados establece para la estación 1, durante los tres años, el siguiente reporte: 37,33,35 por año; para la estación 2: 35, 31,28; y, para la estación 3: 35,30,34. En las estaciones por año se muestra una diferencia en el número y el tipo de géneros que hacían presencia en cada estación, dependiendo de las condiciones. Más adelante se entrega el reporte estadístico de cada caso por estación.

La Gráfica 18 representa el número de individuos por género, en cada estación, por año de muestreo.

Gráfica 18. Individuos por género por estación, por año

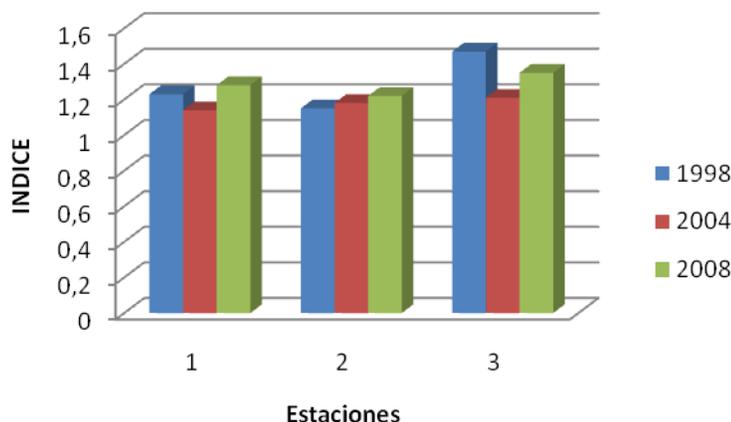


Fuente: propia del estudio

La variación del número de individuos por estación y por año se refleja luego en las pruebas estadísticas de Kruscall Wallis. Es notorio ver como el primer año de muestreo (1998) presenta un comportamiento casi uniforme porque mantiene siempre el mayor número de individuos, mientras que la estación 2 presenta una marcada variación del número y tipo de individuos presentes.

Para cerrar el análisis general de los macroinvertebrados se presenta la Gráfica 19 del índice de diversidad encontrado para las 3 estaciones, durante los tres años.

Gráfica 19. Índices de diversidad de Shanon por estaciones y años



Fuente: propia del estudio

En general, las tres estaciones de muestreo presentan índices medianamente bajos de diversidad; como se observa en la gráfica ninguna de las estaciones en los 3 años supera el 1,35 de índice; también es evidente que ningún caso está por debajo de 1,10; los índices más bajos están, para las tres estaciones, en el año 2004 y, el más alto está para la estación 3 en el último año de muestreo.

El índice de diversidad se mantiene en rangos similares con excepción de la estación 3 en el año 1998.

5.2.1 Resultados de macroinvertebrados por estación en los tres años. A partir del estudio de sus estructuras de comunidades, los ecosistemas acuáticos permiten detectar los cambios que generan los factores ambientales y socioeconómicos sobre la composición de dichos organismos. Los macroinvertebrados son considerados los organismos con mayor ventaja en los procesos de bioindicación, por las características que tienen de fácil

reconocimiento, colecta, conservación, y el alto índice de adaptación y tolerancia que muchos de ellos presentan.

La estación uno presenta la siguiente dinámica a partir de los promedios de numero de individuos encontrados, el cual se muestra en la Tabla. 6.

Tabla 6. Número de macroinvertebrados en la estación 1 durante los 3 años

Orden	Familia	Genero	Cód.	Ni 98	Ni 04	Ni 08	T.I.G	T.I.O
Hirudina	Macrobdellidae	<i>Macrobdella</i>	1	141	0	6	147	147
Oligochaeta	Tubificidae	<i>Tubifex</i>	2	0	12	5	17	17
Cladocera	Asellidae	<i>Es.sin sp1</i>	3	0	12	3	15	15
Coleóptera	Elmidae	<i>Cyloepus</i>	4	112	3	21	136	388
	Hidrophilidae	<i>Hidrophilus</i>	5	87	0	0	87	
	Psephenidae	<i>Psephenops</i>	6	92	0	73	165	
Díptera	Blepharoceridae	<i>Limonicola</i>	7	122	35	86	243	1128
	Chironomidae	<i>Chironomus</i>	8	2	119	65	186	
	Rhagionidae	<i>Atherix</i>	9	26	0	8	34	
	Simulidae	<i>Simulium</i>	10	137	45	98	280	
	Tablaanidae	<i>Tablaanus</i>	11	84	141	75	300	
	Tipulidae	<i>Tipula</i>	12	0	56	29	85	
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>	13	11	6	95	112	1454
		<i>Baetodes</i>	14	54	117	200	371	
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	15	226	342	174	742	
	Olegoneuridae	<i>Lachiania</i>	16	3	12	86	101	
	Tricorythidae	<i>Leptohyphes</i>	17	56	9	63	128	
Hemiptera	Gerridae	<i>Sin sp1</i>	18	0	5	0	5	29
	Naucoridae	<i>Cryphocrico</i>	19	0	12	0	12	
		<i>Heleocoris</i>	20	0	0	12	12	
Lepidoptera	Pyralidae	<i>Parapoynx</i>	21	3	45	0	48	48
Megaloptera – neuróptera	Corydalidae	<i>Corydalis</i>	22	103	65	98	266	266
Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	23	91	15	266	372	730
	Gomphidae	<i>Phyllocycla</i>	24	17	0	0	17	
	Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>	25	78	12	108	198	
		<i>Macrothemis</i>	26	57	23	63	143	
Plecóptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	27	142	48	134	324	324

Tabla 6 (Continuación)

Orden	Familia	Genero	Cód.	Ni 98	Ni 04	Ni 08	T.I.G	T.I.O
Trichoptera	Glyssosomatidae	<i>Mortoniella</i>	28	20	4	27	51	1278
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	29	2	8	59	69	
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	30	76	9	0	85	
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	31	585	26	148	759	
		<i>Smicridea</i>	32	96	52	48	196	
	Leptoceridae	<i>Triplectides</i>	33	2	2	0	4	
	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	34	99	0	15	114	
Gasterópoda	Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i>	35	4	18	0	22	28
	Physidae	<i>Physa</i>	36	1	4	1	6	
Tricladida	Planaridae	<i>Dugesia</i>	37	15	4	5	24	24
			<i>Total individuos</i>	2544	1261	2071	5876	5876
			Index					
			Shannon h' log base 10,	1,23	1,14	1,28		

Fuente: propia del estudio

El ecosistema acuático objeto de estudio presenta un conjunto de organismos que, por su dinámica euri o esteno soportan o migran ante los cambios que se presentan y, por lo cual son considerados como organismos bioindicadores de la calidad del sistema.

En la estación 1 se colectaron, durante los 3 años, 5.876 individuos agrupados en 5 clases, 14 órdenes, 28 familias y 37 géneros. De ellos la clase más abundante fue la insecta con un 95.7% y, los órdenes más abundantes fueron Dipteros, Ephemeropteros y Trichopteros. Recuperando los códigos de identificación asignados a los géneros es evidente el dominio del género identificado con el número 31, el cual corresponde a 585 individuos del género *Leptonema* (Trichópteros), encontrados en el año 1998; seguido de los 342 *Thraulodes* (Ephemeropteros) que dominaron en el año 2004; y, 266 individuos de *Hetaerina* (Odonatos) que dominaron en el año 2008, lo cual, partiendo de los valores como bioindicadores que los géneros tienen en el índice BMWP, permite decir que ésta es una estación con aguas oligotróficas, de buena calidad.

La estación 1 presenta el 2.8% de su población en géneros como: *Chironomus*, *Tabanus*, *Physas*, *Tubifex*, organismos indicadores de aguas poli saprofitas según Márquez y Guillot (1988); pero este número no es representativo frente al dominio de géneros como: *Psephenops*, *Simulium*, *Thraulodes*, *Leptonema*, *Hetaerina*, y *Anacroneuria*, que representan el 41% de la población y, son organismos indicadores de aguas limpias. Esta estructura básica de comunidades

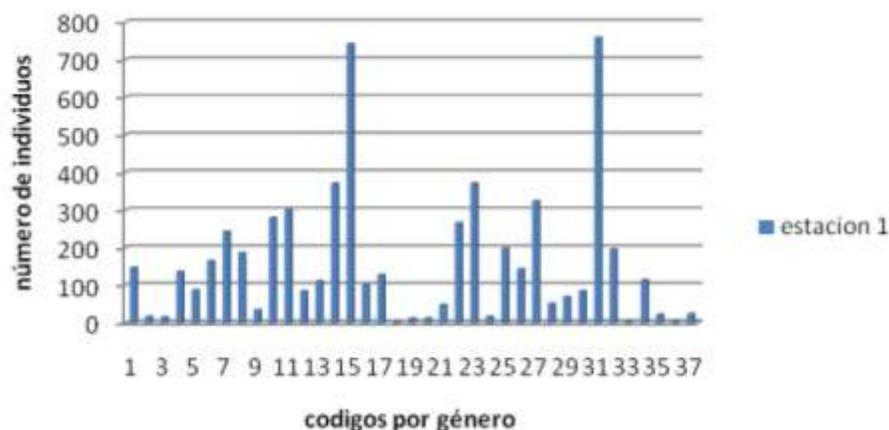
observada, frente a la fisicoquímica de la misma estación confirma que ella es un área Oligo con tendencia meso trófica, de poca intervención antrópica.

En la estación 1 el mayor número de individuos se presentó en 1998 con 2.544, y el más bajo fue 2004 con 1.261 individuos, concordando con la época de sequía y permitiendo el dominio de la familia como *Chiromonidae*.

Con respecto a la diversidad de Shanon, la estación presenta para 1998 un índice de 1,23, para el 2004 de 1,14 y, para el 2008 de 1,28, correspondientes a sistemas de mediana diversidad. El índice más bajo y el menor número de individuos se presenta durante el 2004, época de mayor sequía, siendo esta una de las razones para el registro presentado.

A continuación se presenta la Figura. 25 de la abundancia por géneros que se reporta para la estación 1, durante los tres años.

Gráfica 20. Individuos por género durante los 3 años en la estación 1



Fuente: propia del estudio

La Gráfica 20 anterior permite evidenciar el marcado dominio de los géneros, *Thraulodes* (15) y *Leptonema*(31).

A continuación se describen los resultados de la estación 2 para los tres años.

La Tabla 7 presenta el comportamiento promedio de los macroinvertebrados en la estación 2, durante los tres años.

Tabla 7. Número de macroinvertebrados de la estación 2, durante los tres años

Orden	Familia	Genero	Cód.	Ni98	Ni 04	Ni 08	T.I.G	T.I.O
Hirudina	Macrobdellidae	<i>Macrobdella</i>	1	123	0	103	226	226
Oligochaeta	Tubificidae	<i>Tubifex</i>	2	0	28	5	33	33
Coleóptera	Elmidae	<i>Cylloepus</i>	4	0	17	12	29	1037
	Hidrophilidae	<i>Hidrophilus</i>	5	0	0	392	392	
	Psephenidae	<i>Psephenops</i>	6	542	0	74	616	
Díptera	Blepharoceridae	<i>Limonicola</i>	7	16	3	45	64	1177
		Chironomidae	<i>Chironomus</i>	8	48	78	38	
	<i>Eristalis</i>		38	24	0	2	26	
	Rhagionidae	<i>Atherix</i>	9	12	21	6	39	
	Simullidae	<i>Simulium</i>	10	234	15	146	395	
	Tablaanidae	<i>Tablaanus</i>	11	39	157	75	271	
	Tipulidae	<i>Tipula</i>	12	22	112	84	218	
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>	13	96	25	57	178	1781
		<i>Baetodes</i>	14	133	239	64	436	
		<i>Camelobaetidius</i>	39	0	5	0	5	
		<i>Moribaetis</i>	40	156	18	94	268	
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	15	187	120	125	432	
	Oligoneuridae	<i>Lachiania</i>	16	88	76	0	164	
	Leptohiphidae	<i>Tricorythodes</i>	41	167	48	83	298	
Trichoptera	Hidropsychidae	<i>Smicridea</i>	32	0	8	0	8	799
		<i>Leptonema</i>	31	245	325	221	791	
Lepidóptera	Pyralidae	<i>Parapoynx</i>	21	0	4	0	4	4
Megalóptera – neuróptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>	22	68	48	27	143	143
Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	23	0	0	121	121	346
	Libellulidae	<i>Erythemis</i>	42	0	83	0	83	
		<i>Macrothemis</i>	26	46	0	70	116	
	Gomphidae	<i>Phyllogompho</i>	43	0	26	0	26	
Plecóptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	27	103	71	93	267	267
Trichoptera	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	29	87	13	0	100	310
	Glossomatidae	<i>Mortoniella</i>	28	0	33	35	68	
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	30	0	4	0	4	
	Leptoceridae	<i>Triplectides</i>	33	0	65	73	138	

Tabla 7 (Continuación)

Orden	Familia	Genero	Cód.	Ni98	Ni 04	Ni 08	T.I.G	T.I.O
Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>	37	32	12	4	48	48
		Total individuos		2468	1654	2049	6171	6171
			Index					
		Shannon Hmax Log Base 10,		1,15	1,18	1,22		

Fuente: propia del estudio

En la estación 2 se colectaron, durante los 3 años, 6.171 individuos, agrupados en 5 clases, 14 ordenes 25 familias y 33 géneros. La clase más representativa fue insecta con un 93.7%, con dominó del género *Psephenops* con 542 individuos, durante el año 1998; *Leptonema* con 325 individuos en el 2004; e, *Hidrophilus* con 392 individuos en el año 2008. Teniendo en cuenta los valores de indicación en el índice BMWP, podría decirse que las aguas presentan tendencia oligomesotrófica pero, debido al constante tensor a que son sometidas, se identifican en concordancia con las fisicoquímica y la estructura de comunidades presentes como meso tróficas.

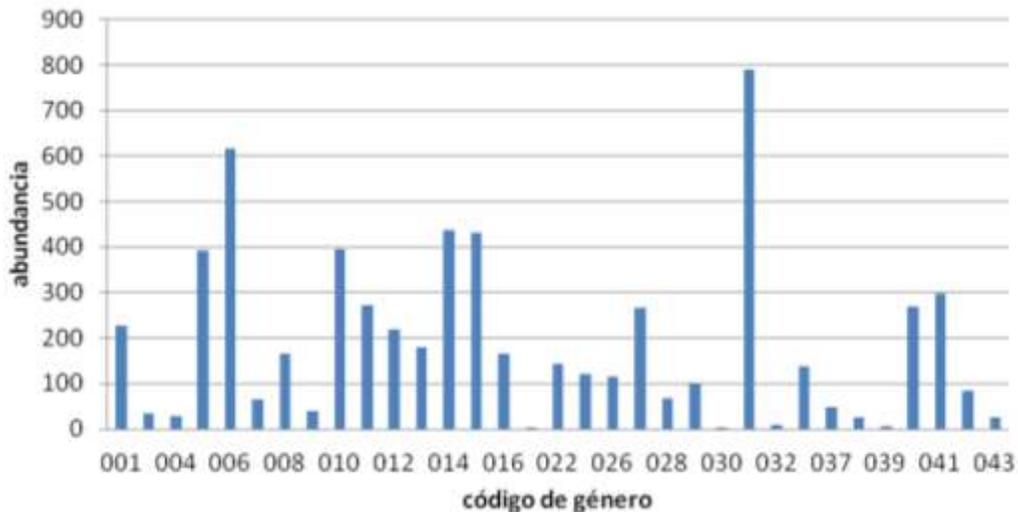
En las estaciones no se presenta diferencia significativa anual entre los meses de muestreo pero, por acumulación del número de individuos muestreados durante los tres años, la Gráfica 21 de la estructura de comunidades permiten evidenciar la dominancia de algunos géneros.

Con respecto a la diversidad de Shanon, la estación presenta para 1998 un índice de 1,15; para el 2004 de 1,18; y, para el 2008 de 1,22, conservando la tendencia de un ecosistema con diversidad media. Además, esta estación presenta un comportamiento similar a la estación 1, ya que el índice más bajo en biodiversidad y, el menor número de individuos, se presentó durante el 2004, época de mayor sequía, siendo esta una de las razones para el registro presentado, además de ser esta la estación con mayor tensión por la actividad antrópica que presenta en el entorno.

En la estación 2 el mayor número de individuos se presenta en el año 1998, al iniciar el estudio con 2.468 individuos; el menor número se presenta en el año 2004 con 1.654 individuos y, luego, es evidente la recuperación del ecosistema porque el número de individuos se incrementa en el año 2008 a 2.049.

La Gráfica 21, que se presenta a continuación, muestra la abundancia de generos y la dominancia de algunos de ellos, durante los tres años de muestreo para la estación.

Gráfica 21. Individuos por géneros presentes en la estación 2



Fuente: propia del estudio

La Figura. anterior permite evidenciar el dominio del género *Leptonema* (31), seguido por *Psephenops*(6), *Thraelodus*(15) y *Simulium*(10).

Para finalizar el reporte de los resultados de las estaciones durante los tres años, se presenta la Tabla. 8 con el resumen de los individuos encontrados en la estación 3.

Tabla 8. Número de macroinvertebrados en la estación 3 durante los tres años

Orden	Familia	Genero	Cód.	Ni 98	Ni 04	Ni 08	T.I.G	T.I.O
Hirudina	Macrobdeleidae	<i>Macrobdele</i>	1	10	54	24	88	88
Oligochaeta	Tubificidae	<i>Tubifex</i>	2	0	28	5	33	33
Basomatophora	Physidae	<i>Physa</i>	36	1	2	0	3	3
Coleóptera	Elmidae	<i>Cylloepus</i>	4	0	18	12	30	280
	Hidrophilidae	<i>Hidrophilus</i>	5	0	35	121	156	
	Psephenidae	<i>Psephenops</i>	6	33	6	55	94	
Diptera	Blepharoceridae	<i>Limnocola</i>	7	34	0	103	137	963
	Chironomidae	<i>Chironomus</i>	8	18	136	58	212	
	Rhagionidae	<i>Atherix</i>	9	4	8	21	33	
	Tipulidae	<i>Tipula</i>	12	66	123	49	238	
	Simuliidae	<i>Simulium</i>	10	123	8	96	227	
	Tablaanidae	<i>Tablaanus</i>	11	23	48	45	116	

Tabla 8 (Continuación)

Orden	Familia	Genero	Cód.	Ni 98	Ni 04	Ni 08	T.I.G	T.I.O
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>	13	45	0	0	45	1261
		<i>Baetodes</i>	14	94	58	91	243	
		<i>Callibaetis</i>	44	16	18	19	53	
		<i>Camelobaetidius</i>	39	0	3	0	3	
		<i>Moribaetis</i>	40	3	21	0	24	
	Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	17	145	0	73	218	
	Leptophlebiidae	<i>Terpides</i>	46	33	12	0	45	
		<i>Thraulodes</i>	15	167	247	105	519	
	Oligoneuriidae	<i>Lachlania</i>	16	17	0	80	97	
Leptohyphidae	<i>Tricorythodes</i>	41	0	14	0	14		
Hemiptera	Naucoridae	<i>Heleocoris</i>	20	23	17	0	40	210
	Gerridae	<i>Sin sp1</i>	18	125	2	9	136	
	Naucoridae	<i>Cryphocrico</i>	19	7	0	27	34	
Lepidoptera	Pyralidae	<i>Parapoynx</i>	21	16	2	5	23	23
Megaloptera – neuróptera	Corydalidae	<i>Corydalis</i>	22	0	234	65	299	299
Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	23	6	0	57	63	278
		<i>Macrothemis</i>	26	112	0	31	143	
	Libellulidae	<i>Erythemis</i>	42	0	5	67	72	
Plecóptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	27	0	32	0	32	32
Díptera	Muscidae	<i>Limnophora</i>	46	16	3	0	19	29
	Tipulidae	<i>Limonia</i>	45	4	6	0	10	
Trichoptera	Glossosomatidae	<i>Mortiniella</i>	28	12	16	35	63	1069
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	29	1	27	97	125	
	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	34	246	65	0	311	
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	30	172	12	0	184	
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	31	0	6	84	90	
		<i>Smicridea</i>	32	20	38	167	225	
	Leptoceridae	<i>Triplectides</i>	33	0	48	23	71	
				1592	1352	1624	4568	4568
Total individuos			Index					
Shannon h' log base 10,				1,47	1,21	1,35		

Fuente: propia del estudio

En la estación 3 se colectaron 4.568 individuos de macroinvertebrados, agrupados en 32 Ordenes y 40 géneros, durante los 3 años de muestreo. Se evidencia el dominio del genero *Polycentropus* con 246 individuos durante el año 1998; por su

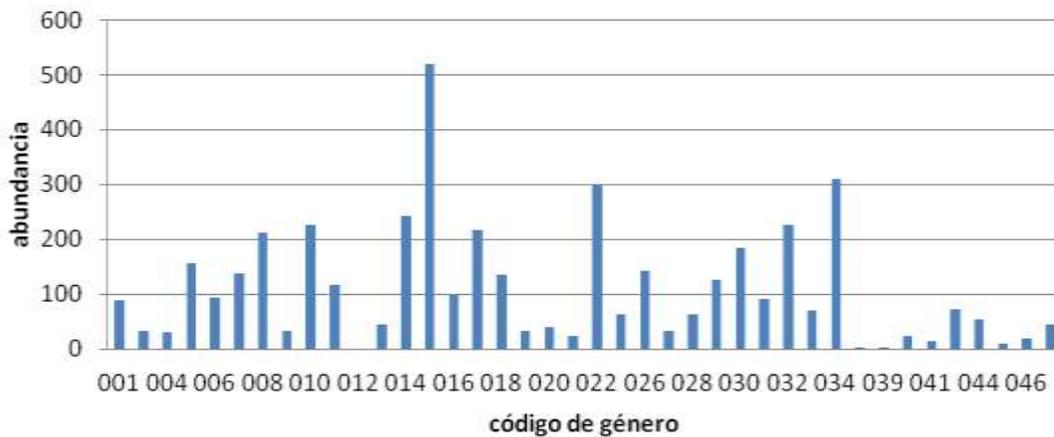
parte, en el 2004 dominan *Thraulodes* con 247 individuos y *Corydalis* con 234 individuos; mientras que en 2008 el género más representativo es *Smicridea* con 167 individuos. El tipo de individuos y su número evidencia la recuperación del cuerpo de agua.

Los índices de diversidad de la estación 3 son de 1,47 en 1998, 1,21 en 2004 y, 1,36 en 2008, que aunque son bajos, es importante resaltar que son mayores que en las estaciones anteriores sobre todo para el año 98.

En la estación 3 el mayor número de individuos se presenta en el año 2008 evidenciando la recuperación del sistema hídrico, con 1.624 individuos; le sigue en su orden el año 1.998 con 1.592 individuos y, se mantiene el índice de diversidad y de individuos más bajos en el 2004.

La Gráfica 22 compara la abundancia de generos en la estación 3 durante los tres años y evidencia el dominio del género *Thraelodus* sobre el sistema acuático.

Gráfica 22. Número de individuos por género en la estación 3 durante los tres años

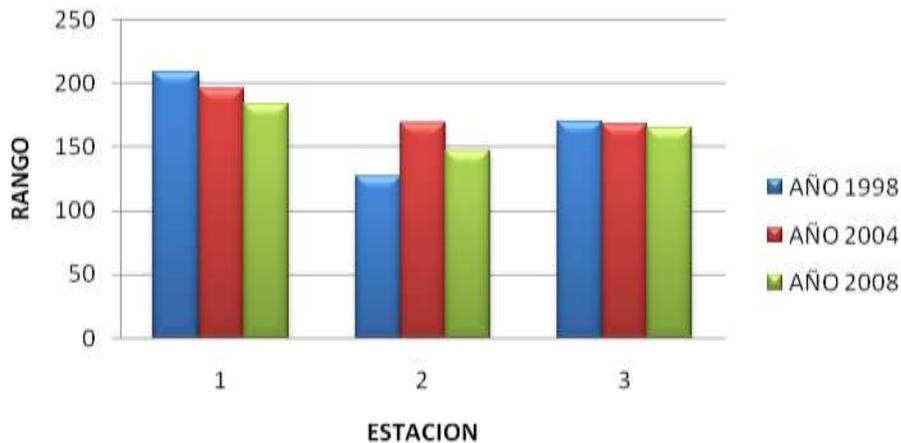


Fuente: propia del estudio

El género *Thraelodus*, que dominó ampliamente las tres estaciones y estuvo siempre presente en los reportes de muestreo, es según Roldán (2003), un macroinvertebrado de 0.6 a 0.10 mm con agallas bifurcadas, vive debajo de las rocas, indicador de aguas limpias BMWP/col 9, aunque Marquez y Guillot (1999), lo ubican en aguas mesotróficas.

Además de los índices de abundancia y diversidad, se realizó el cálculo de índice BMWP, el cual arrojó los resultados que se observan en la Gráfica 23.

Gráfica 23. Comportamiento de BMWP en las 3 estaciones, durante los 3 años



Fuente: propia del estudio

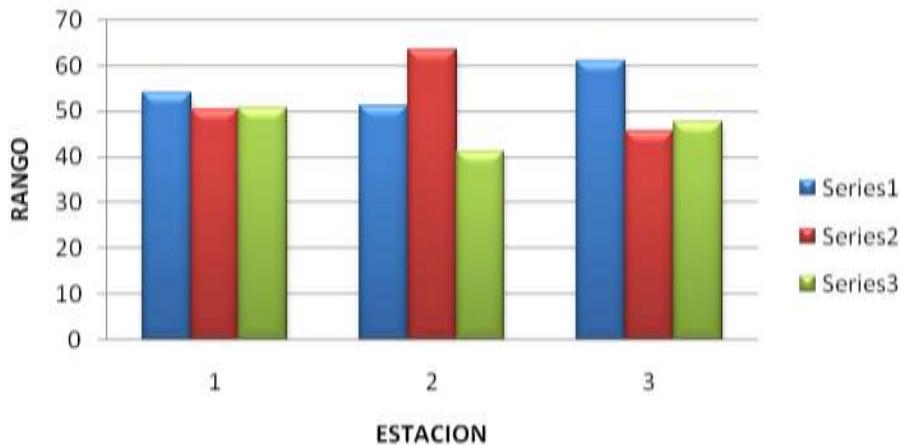
La Gráfica 23 muestra el comportamiento del BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System), que es “[...] un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macro invertebrados como bioindicadores. [...] El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica.” (Roldán, 2003: 29). Este índice fue adaptado para Colombia por Zamora (2004), que es la propuesta que se utilizó para este estudio.

Según lo anterior, las aguas del área de estudio se categorizan en la clase II, para cada una de las estaciones, durante los 3 años, que se considera baja contaminación. Este análisis demuestra, también, que la estación 2 es la que ofrece mayor variabilidad en sus condiciones.

El análisis de BMWP presenta, en su mayoría, rangos superiores a los 150 puntos, lo que permite caracterizar el cuerpo de agua, en este punto, como meso trófico y, las otras estaciones como oligo tróficas.

Otro análisis realizado fue el índice EPT, que se basa en la utilización de 3 grupos de macro invertebrados que son indicadores de la calidad de agua, debido a su sensibilidad a la contaminación. La Gráfica 24 ilustra el comportamiento del índice ETP.

Gráfica 24. Índice EPT en 3 estaciones durante 3 años de muestreo



Fuente: propia del estudio

Se aprecia que las estaciones quedan incluidas en el grupo 2 de la clasificación, entre el 50 y el 75 %, que significa que en la estación 1 el agua es de buena calidad. La mayor variabilidad ocurre en las estaciones 2 y 3 en los años 2004 y 2008, siendo la estación 2 la de mayor variabilidad.

Se observa un aumento en la estación 2 para el año de 2008, además de mostrar las diferencias más marcadas entre los años estudiados. Esto se explica porque en el año 2004 la CRC estableció controles a los procesos de extracción de material de arrastre, pero no fueron permanentes, marcándose esta disminución.

Igualmente, se observa deterioro en las condiciones para la estación 3 durante los años 2004 y 2008. Lo anterior lleva a concluir que el proceso de extracción de materiales y la utilización del río para actividades recreativas ocasionan impactos sinérgicos, complicando la situación de deterioro ambiental del ecosistema.

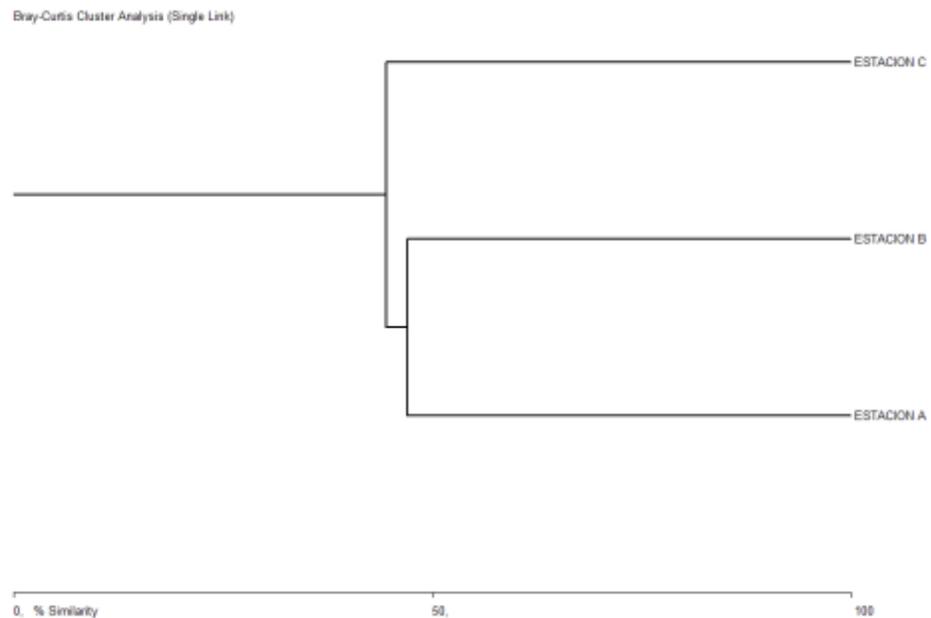
Los análisis estadísticos realizados nos indican:

1. Durante el año 1998 la estación 1 no presentó diferencias significativas entre los meses de muestreo.
2. Al comparar el comportamiento de la estación 1 durante los 3 años de muestreo, se evidencia la diferencia significativa entre el número de géneros e individuos que ella presenta.
3. Al realizar la comparación entre la estación 1 y las otras dos se encuentran diferencias significativas para este año, con las estaciones 2 y 3, tanto en número de individuos como en géneros.

4. La estación 1, para los años 2004 y 2008, presenta un comportamiento similar. Es decir no hay diferencia significativa entre los meses de muestreo, pero sí entre estaciones y entre años de muestreo.
5. Las estaciones 2 y 3 presentan comportamientos similares, sin cambios significativos entre meses de muestreo pero sí entre años y estaciones.

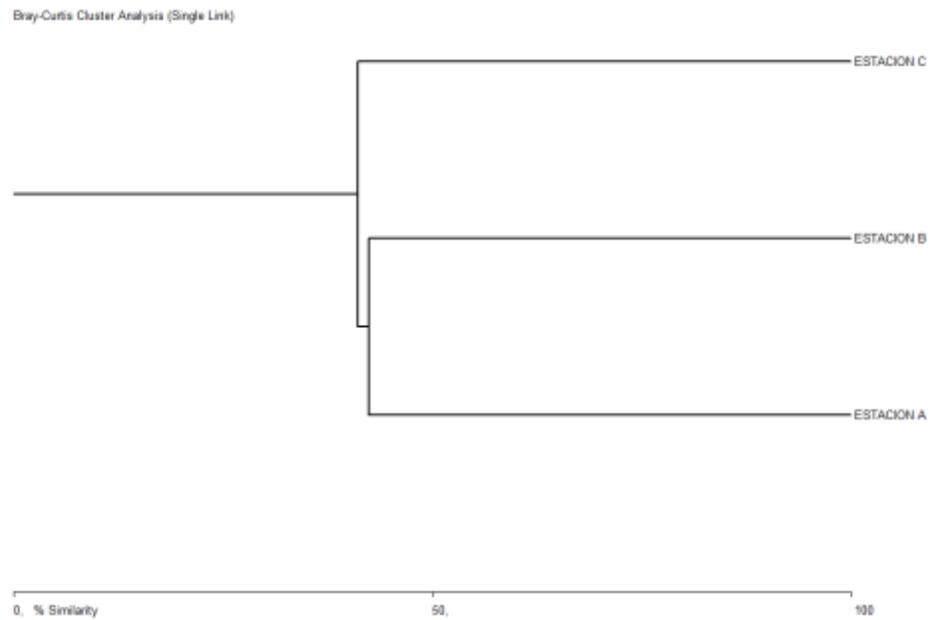
El análisis de similitud (Bray – Curtis) se presenta en la Figura 5, y ella indica que los porcentajes de similitud son inferiores al 50%, particularmente para los años 1998 y 2004. Para el año 2008 la similitud entre las estaciones 2 y 3 se aproxima al 60%, y se mantiene la similitud cercana al 50% para la estación 1. En todos los años, las estaciones 1 y 2 mostraron una mayor similitud y la estación 3 se diferenciò más de las otras dos estaciones.

Figura 5. Clúster de similitud por estaciones, por año, para macroinvertebrados (1998)



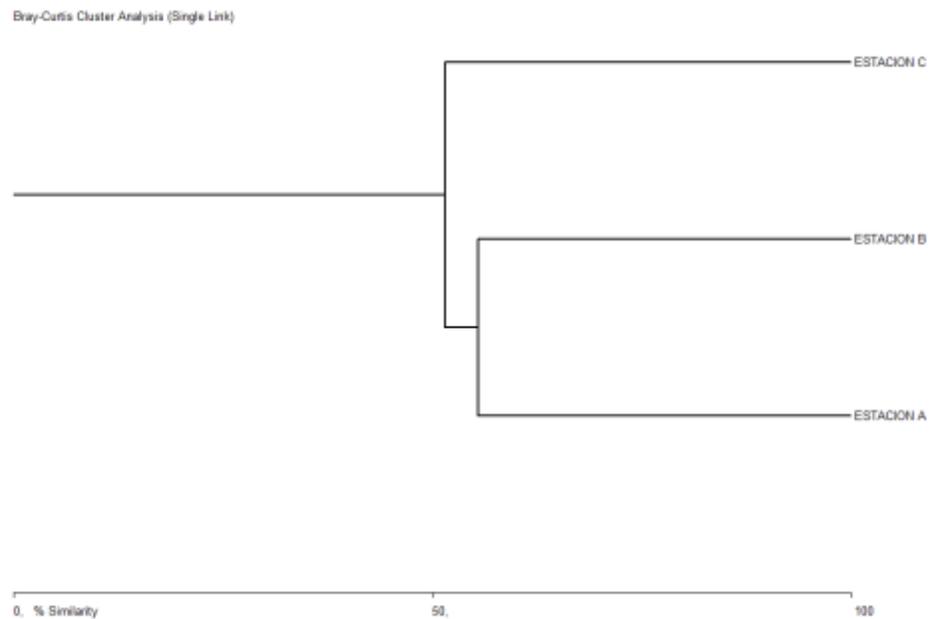
Fuente: propia del estudio

Figura 6. Clúster de similitud por estaciones, por año, para macroinvertebrados (2004)



Fuente: propia del estudio

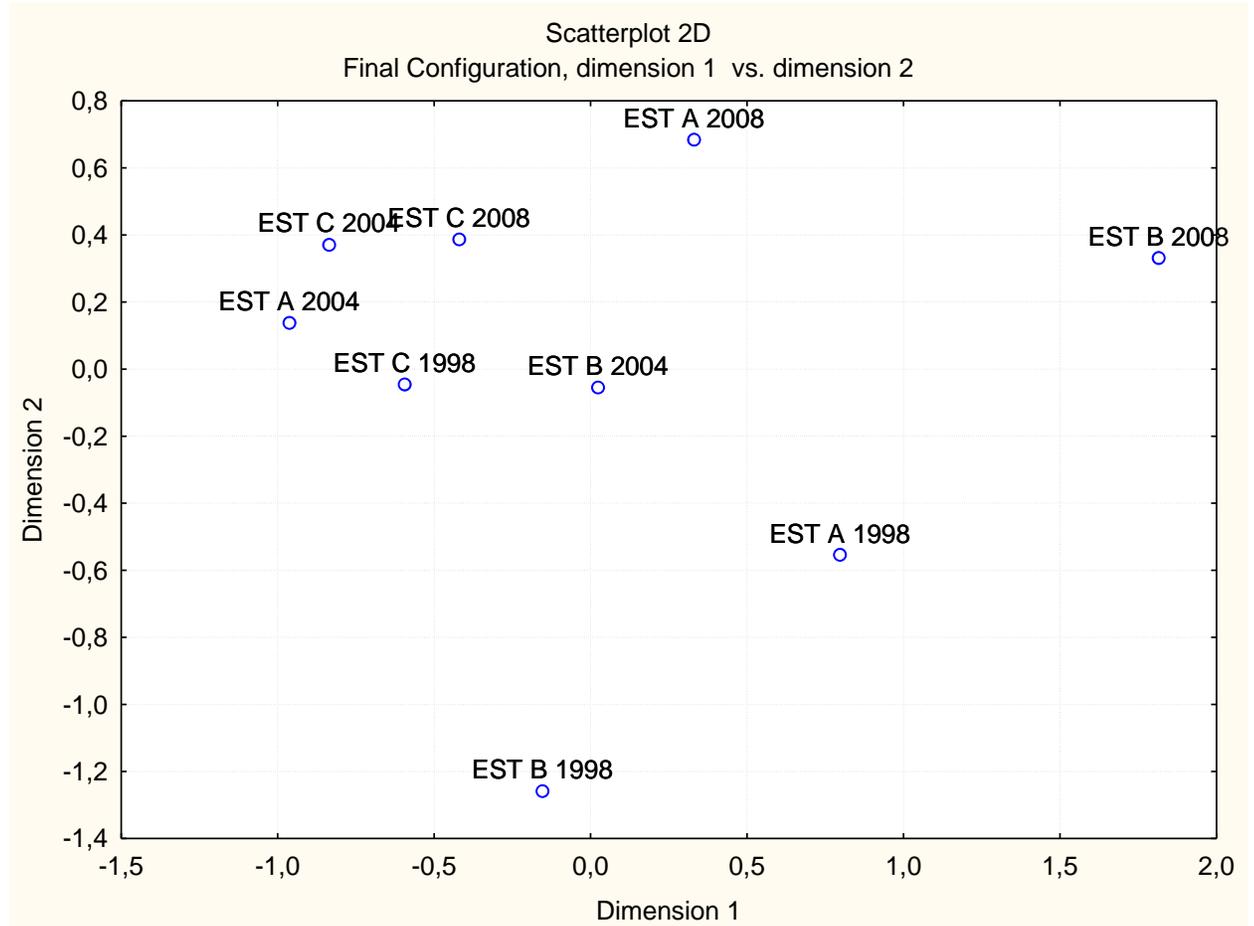
Figura 7. Clúster de similitud por estaciones, por año, para macroinvertebrados (2008)



Fuente: propia del estudio

La Figura 8 muestra la dimensión de las variaciones en la comunidad de macro invertebrados, al comparar las estaciones.

Figura 8. Dimensión de las variaciones en la comunidad de macroinvertebrados en las estaciones

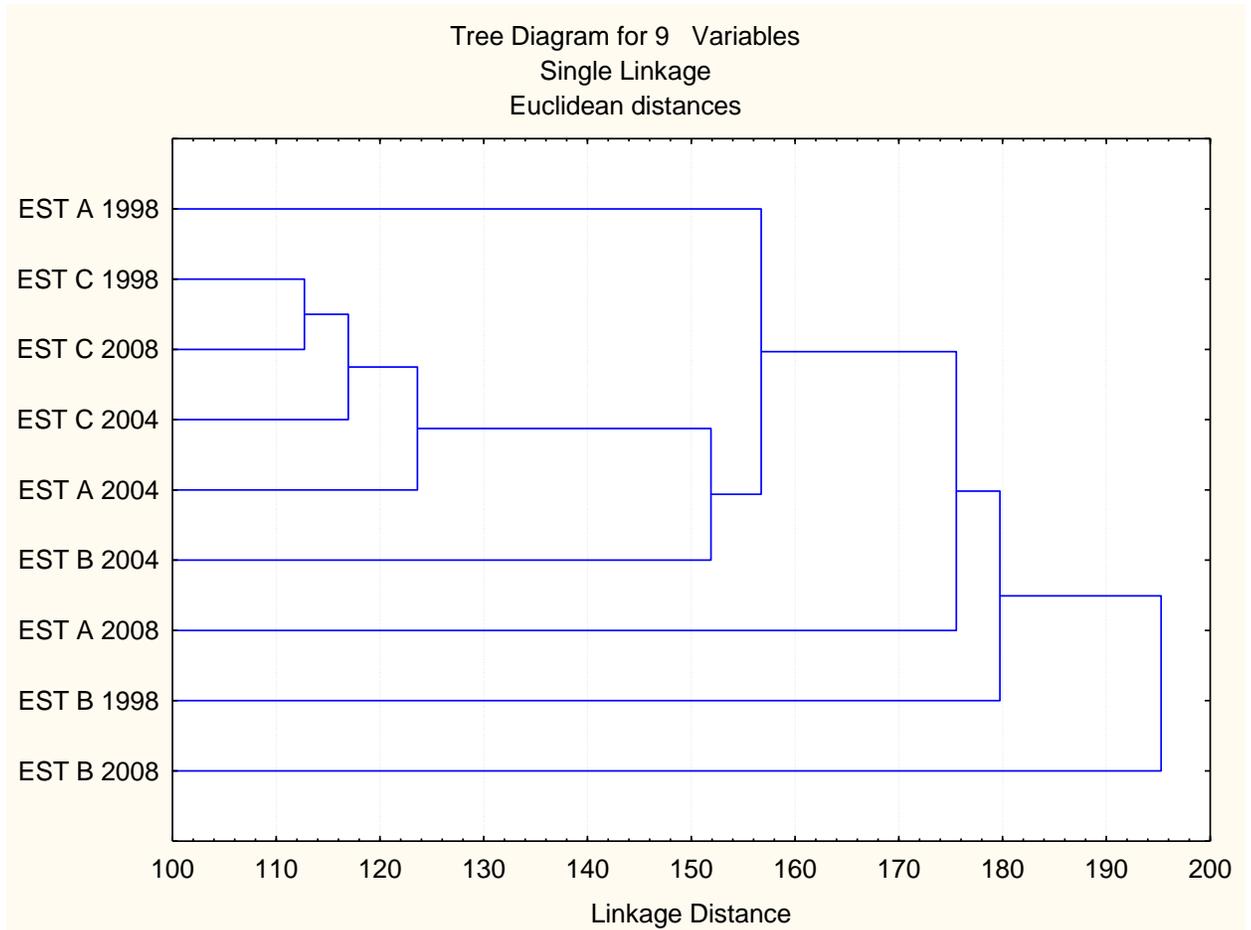


Fuente: propia del estudio

El resultado de la ordenación multidimensional no métrica (NMDS) destaca las diferencias entre las estaciones de muestreo y años especialmente entre las E1, y E2, en los diferentes años (1998 y 2008), al no verse un grupo consolidado en ninguno de los ejes. Para la estación 3 se observa un eje entre 2004 y 2008 conservando ordenación con el 1998 Este análisis indica que a estación 2 mostró la mayor variabilidad y diferenciación entre años de muestreo.

El análisis de distancia euclidiana corrobora esta información en la Figura 9.

Figura 9. Distancia euclidiana para los macroinvertebrados, por estaciones y años



Fuente: propia del estudio

Las diferencias entre las estaciones 1 y 2 durante los años de muestreo se evidencian en el dendrograma y se confirma la similitud de la estación 3 durante los diferentes años.

5.3 CARACTERIZACIÓN DEL PERÍFITON

Para el estudio se colectaron 472.240 individuos, agrupados en 4 clases, 8 órdenes, 12 familias y 31 géneros; del total, el 45% de los individuos pertenece al grupo de las diatomeas.

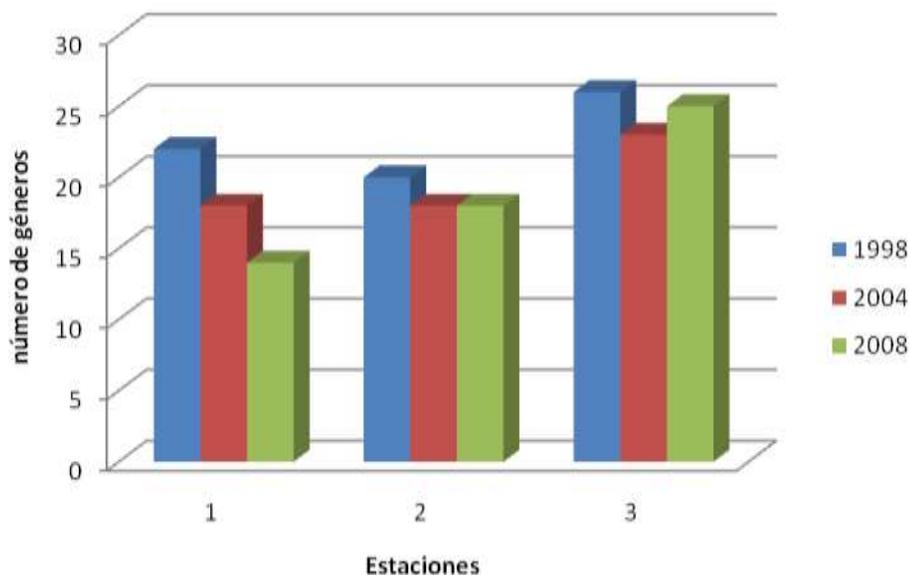
La Gráfica 25 presenta las variaciones en el número de géneros, por estación de muestreo y por año. En la figura se aprecia que la estación 3 tiene variaciones sin un patrón aparente, mientras que las otras dos estaciones se ven como escalones,

que representan los diferentes años. Esto se debe a que, en la estación 2, los años 2004 y 2008 presentan variaciones significativas respecto a 1998; en el 2004 hay una disminución apreciable de individuos para todas las estaciones, pero, por el contrario, en el 2008 hay un aumento considerable en la estación 3 y una disminución significativa en la estación 1.

Sin embargo, se puede generalizar una tendencia a la disminución de los individuos en la línea del tiempo, como se ve claramente entre los años 1998 y 2008. El año 2004 es irregular.

Los géneros más abundantes son: *Melosira*, *Tabellaría*, *Cismarían*, *Flagelaría*, *Frustulia*; *Oscillatoria* y *Closterium*.

Gráfica 25. Géneros por estaciones en los 3 años



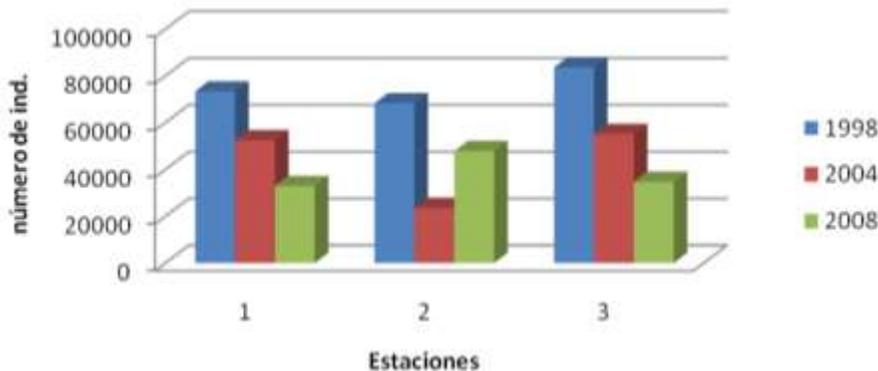
Fuente: propia del estudio

En la Gráfica 25 los géneros presentan un patrón definido. De un lado hay una tendencia al aumento de los géneros entre los años 1998, 2004 y 2008; la única variación a este patrón es el año 1998 en la estación 2, con una disminución.

Aquí es importante resaltar al aumento de los géneros que se produjo en el año 2008, con respecto a los otros dos años del muestreo; en los tres años se aprecia una cierta tendencia al aumento de los géneros.

La Gráfica 26 muestra las variaciones en el número total de individuos por estación y por año. En las tres estaciones el año de mayor abundancia fue 1998.

Gráfica 26. Número de individuos por estación

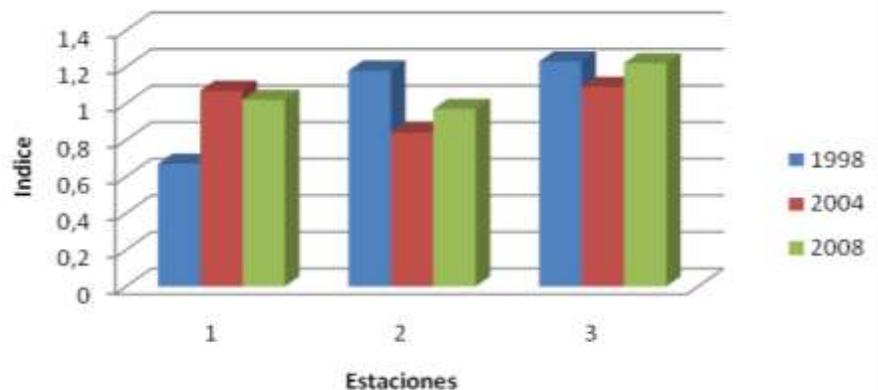


Fuente: propia del estudio

El año de mayor abundancia fue 1998 y el de menor fue el 2004 y esto se puede explicar en la frecuencia pluviométrica pues este fue el año más seco. La estación con menor número de individuos fue la 2 y también se puede atribuir a los efectos del tensor.

En la Gráfica 27 los valores calculados para el índice de diversidad de Shannon – Weaver oscilan entre 0,67 y 1,23, índice que los caracteriza como ecosistemas alterados, o sometidos a tensores ambientales, ya sean de origen natural o de origen antrópico.

Gráfica 27. Índice de diversidad



Fuente: propia del estudio

A continuación se presentan las tablas del comportamiento perifítico, por estación y por año

5.3.1 Resultados de Perífiton por estación y por año. Las tablas 9 a la 11 muestran el comportamiento promedio de la comunidad de perífiton en cada estación, el total de individuos por género orden y familia.

La comunidad de algas perifíticas encontradas en la estación 1, durante los tres años, se muestra en la Tabla 9, donde evidencia que se colectaron, durante los 3 años, un total de 158.918 individuos, agrupados en 4 clases, 7 órdenes, 11 familias y 23 géneros. Dominaron los géneros *Rhoiscophenia*, *Frustulia* y *Cosmarium*, los cuales se encuentran asociados a ecosistemas acuáticos de características meso tróficas

Tabla 9. Perifiton por año en la estación 1 por género, familia y orden

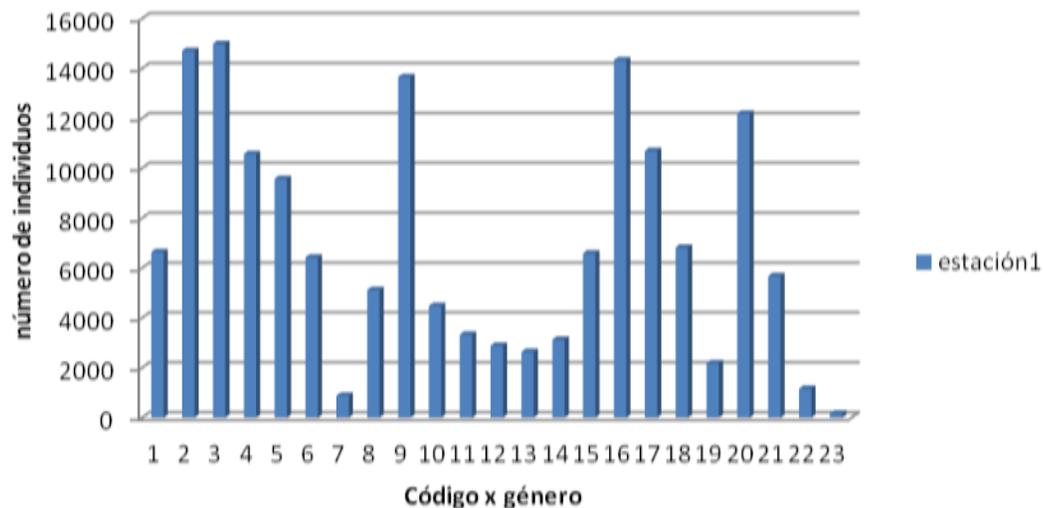
Clase	Orden	Familia	Genero	Cód.	Ni 98	Ni 04	Ni 08	T.I.G	T.I.O
Baccillariophytas	Centrales	Achanthaceae	<i>Melosira</i>	1	3948	2694	0	6642	6642
	Pennales		<i>Cocconeis</i>	2	4487	3487	6740	14714	
			<i>Rhoiscophenia</i>	3	8413	6436	145	14994	
			<i>Fragilaria</i>	4	5058	3153	2362	10573	
		<i>Synedra</i>	5	2367	7215	0	9582		
		<i>Tabellaria sp1</i>	6	6428	0	0	6428		
		<i>Tabellaria sp2</i>	7	538	0	341	879		
		<i>Frustulia sp1</i>	8	5119	0	5119			
		<i>Frustulia sp2</i>	9	5200	8456	0	13656	86647	
	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	10	345	0	4135	4480		
	Nitzschiaceae	<i>Nitzaschia</i>	11	124	12	3195	3331		
		<i>Surirella</i>	12	2345	182	364	2891		
Chlorophyta	Chlorococcales	Chlorococcaceae	<i>Phyllobium</i>	13	650	787	1203	2640	26706
			<i>Closterium</i>	14	1300	1830	0	3130	
			<i>Microscopora</i>	15	2900	1395	2301	6596	
	Microoraceae	<i>Cosmarium</i>	16	8500	5840	0	14340		
	Zigmentales	Desmidiaceae	<i>Hyalotheca</i>	17	4382	2834	3480	10696	
			<i>Anabaena</i>	18	2539	1145	3140	6824	19710
<i>Nodularia</i>			19	68	0	2122	2190		
Cyanophyta	Nostocales	Nostocaceae	<i>Oscillatoria</i>	20	6870	5328	0	12198	12198
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Spirulina sp1</i>	21	1780	1573	2325	5678	6841
			<i>Spirulina sp2</i>	22	0	43	1120	1163	
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i>	23	54	120	0	174	174
				<i>Total</i>		73415	52530	32973	158918
				Shannon h'log base 10		0,71	0,853	0,897	

Fuente: Propia del estudio

El número de individuos colectados fue de 73.415 individuos en 1998, 52.530 en el año 2004 y, de 32.973 en el año 2008. Esta disminución se atribuye a las variaciones en el régimen de lluvias, pues en el año 2004 se presentó una disminución notable de las mismas y en el año 2008 se presentó la mayor pluviosidad, con el consecuente arrastre de los individuos. El Índice de diversidad de Shannon varió entre 0,67 para el año 1998 y 1,02 para el año 2008, indicando un ecosistema con baja diversidad de algas perifíticas.

La Gráfica 28 muestra el marcado dominio de *Rhoiscopehia* (código 3), *Cocconeis* (2) y *Cosmarium* seguidos de *Frustulia sp2* algas pennales indicadores de aguas meso tróficas

Gráfica 28. Número de individuos por género en la estación 1



Fuente: Propia del estudio

A continuación la Tabla. 10 muestra los resultados obtenidos para el ensamblaje perifítico, en la estación 2, durante los tres años. Se colectaron durante los tres años 139.758 individuos, agrupados en 4 clases, 8 ordenes, 14 familias y 22 géneros.

Tabla 10. Promedio de perifiton en la estación 2 durante los 3 años

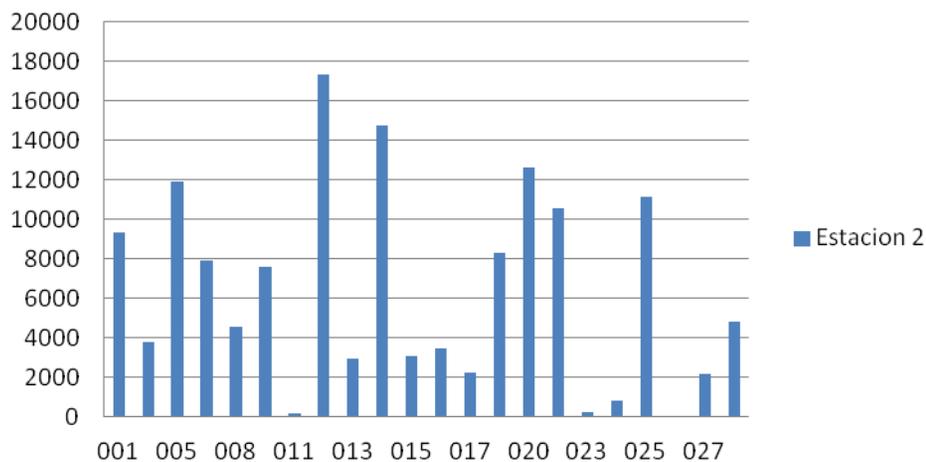
Clase	Orden	Familia	Géneros	co	Ni 98	Ni 04	Ni 08	T.I.G	T.I.O
Bacillariophyceae	Centrales	Coscinodiscaceae	<i>Melosira</i>	1	3946	3270	2145	9361	9361
	Pennales	Acanthaceae	<i>Cocconeis</i>	2	3145	453	215	3813	65232
		Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	24	685	125	0	810	
		Fragilariaceae	<i>Tablaellaria sp1</i>	6	4050	232	3650	7932	
			<i>Synedra</i>	5	8149	3402	346	11897	
		Naviculaceae	<i>Frustulia sp1</i>	8	3319	0	1245	4564	
			<i>Navicula</i>	10	6550	345	689	7584	
			<i>Pinnularia</i>	25	5955	635	4560	11150	
		Nitzschiaceae	<i>Hantzchia</i>	26	0	0	0	0	
			<i>Nitzaschia</i>	11	122	45	0	167	
Surirellaceae	<i>Surirella</i>	12	5678	4657	6980	17315			
Chlorophyceae	Ulotrionales	Microoraceae	<i>Microspora</i>	15	1939	301	832	3072	26503
	Chlorococcales	Chlorococcaceae	<i>Phyllobium</i>	13	456	2405	124	2985	
	Zignematales	Desmidiaceae	<i>Closterium</i>	14	4380	1430	8965	14775	
			<i>Cosmarium</i>	16	2534	123	796	3453	
			<i>Hyalotheca</i>	17	0	36	2182	2218	
Cyanophyceae	Nostocales	Rivulareaceae	<i>Calothrix</i>	27	1240	278	645	2163	38431
		Nostocaceae	<i>Anabaena sp1</i>	18	3950	3120	1231	8301	
			<i>Anabaena sp2</i>	28	4800			4800	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	20	5678	2645	4310	12633	
			<i>Spirulina sp1 -</i>	21	1789	0	8745	10534	
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i>	23	10	3	218	231	231
		<i>Total individuos por año y en los 3 años</i>				68375	23505	47878	139758
			Shannon h' log base 10,		1,188	0,846	0,973		

Fuente: Propia del estudio

Predominaron las algas de los géneros *Surirella*, *Closterium*, *Oscillatoria* y *Synedra*, que se consideran indicadores de aguas meso tróficas, con tendencia a eutróficas. Para esta estación, el mayor número de individuos se presenta en el año 1998 con 68.375 y, el menor en el año 2004, con 23.505 individuos.

La Gráfica 29 permite visualizar el dominio de *Surirella* (12) seguida por *Closterium* (14), estos gráficos muestran el aumento y disminución de algunos géneros ratificando los cambios en los estados tróficos, con base en la sensibilidad perifítica.

Gráfica 29. Número de individuos por género en los 3 años para la E3



Fuente: Propia del estudio

Con respecto al índice de diversidad, este varió entre 1,18 para el año 1998, 0,84 en el año 2004 y, 0,97 para el año de 2008. Indicando un sistema de baja diversidad biológica.

A continuación la Tabla. 11 presenta los resultados obtenidos para esta comunidad en la estación tres. Se colectaron un total de 173.564 individuos, agrupados en 4 clases, 8 ordenes, 14 familias y 26 generos. Predominaron los géneros *Cocconeis*, *Spirulina sp1*, y *Closterium*, que son indicadores de aguas mesotróficas

Tabla 11. Promedio de perifiton en la estación 3 durante los tres años

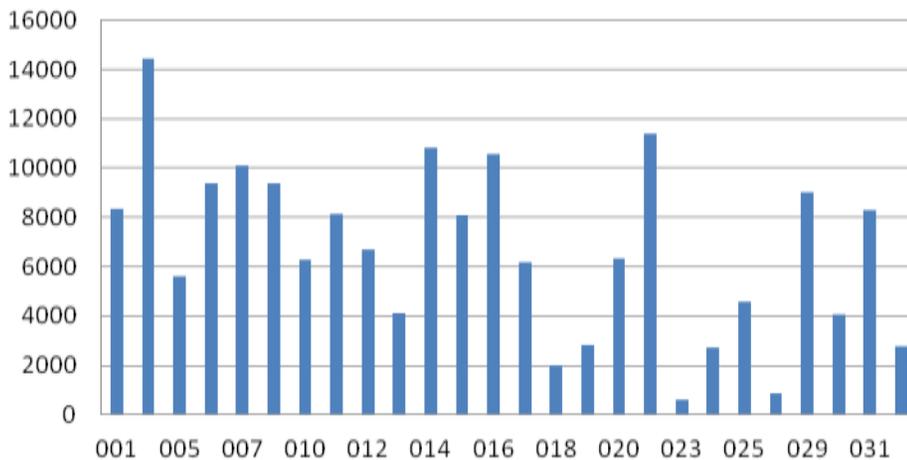
Clase	Orden	Familia	Géneros	Cód.	Ni 98	Ni 04	Ni 08	T.I.G	T.I.O	
Baccillariophceas	Centrales	Coscinodiscaceae	<i>Synedra</i>	5	3568	789	1267	5624	13997	
			<i>Melosira</i>	1	5205	2140	1028	8373		
	Pennales	Acanthaceae	<i>Cocconeis</i>		2	5670	8790	0	14460	81558
					24	145	795	1783	2723	
		Fragilariaceae	<i>Tablaellaria sp1</i>		6	211	5630	3539	9380	
				<i>Tablaellaria sp2</i>	7	6428	121	3539	10088	
		Naviculaceae	<i>Frustulia sp1</i>		9	7800	17	1546	9363	
				<i>Navicula</i>	10	5290	915	85	6290	
				<i>Pinnularia</i>	25	4	4395	178	4577	
				<i>Stauroneis</i>	29	1511	6980	503	8994	
		Nitzschiaceae	<i>Hantzchia</i>		26	45	0	830	875	
				<i>Nitzaschia</i>	11	3140	4920	70	8130	
	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	12	6350	0	328	6678			
Chlorophyceas	Chaetophorales	Chaetophoraceae	<i>Chaetophora</i>	30	115	2105	1828	4048	50739	
	Ulotrichales	Microoraceae	<i>Microspora</i>	15	609	4520	2984	8113		
	Zignematales	Desmidiaceae	<i>Spyrogira sp1</i>	31	3114	1286	3890	8290		
			<i>Hyalotheca</i>	17	3100	67	2991	6158		
			<i>Spyrogira sp2</i>	32	2690	0	63	2753		
			<i>Closterium</i>	14	7980	513	2335	10828		
<i>Cosmarium</i>	16	907	7650	1992	10549					
Cyanophiceae	Chlorococcales	Chlorococcaceae	<i>Phyllobium</i>	13	2356	562	1194	4112	26676	
	Nostococales	Nostocacea	<i>Nodularia</i>	19	1873	12	930	2815		
			<i>Anabaena sp1</i>	18	1112	234	637	1983		
	Oscillatorias	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	20	5500	345	512	6357		
			<i>Spirulina sp1</i>	21	8680	2350	379	11409		
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i>	23	234	45	315	594	594	
<i>Total de individuos por año</i>					83637	55181	34746	173564		
				Shannon h' log base 10,	1,239	1,093	1,222			

Fuente: Propia del estudio

El índice de biodiversidad de la estación varió entre 1,24 para el año 1998, 1,09 para el año de 2004 y 1,22 para el año 2008.

En la estación 3, el mayor número de individuos se presenta en 1998, con 83.637 individuos y, el año de menor número de individuos fue el 2008, con 34.746. Se observa la misma tendencia en la disminución del número de individuos de las otras estaciones.

Gráfica 30. Dominio de *Cocconeis* (2), *Spirulina* sp1, y *Closterium*



Fuente: Propia del estudio

Los análisis estadísticos nos indican que en la estación 1 no se presentaron diferencias significativas entre los meses de muestreo, pero sí hay significancia estadística en las variaciones observadas para dicha estación en los tres años estudiados, tanto para el número de géneros como para el número de individuos. Al comparar la estación 1 este año, con las otras dos estaciones, se encuentran igualmente diferencias significativas, tanto en número de individuos como en géneros.

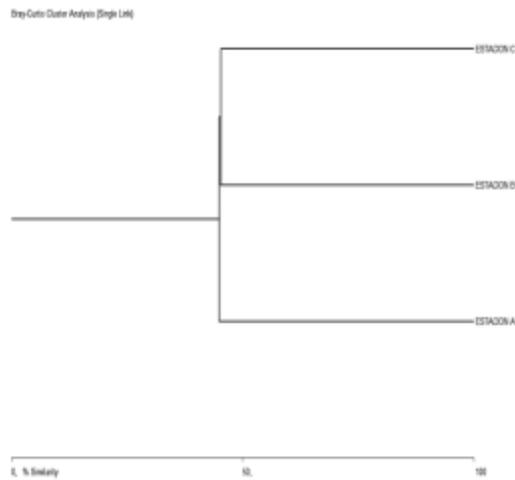
En la estación 2 las variaciones observadas para esta comunidad no muestran diferencias estadísticas significativas, pero sí las hay al compararla con las otras dos estaciones. Al realizar la comparación múltiple por años, se encuentra que hay diferencias significativas tanto en los índices de diversidad, como en el número de géneros e individuos.

Los valores obtenidos en los análisis estadísticos realizados indican que las diferentes estaciones de muestreo se constituyen en replicas en un mismo ecosistema y, que son afectadas por los mismos tensores, durante el tiempo de la

investigación. Se concluye que el ensamblaje perifítico presenta un comportamiento diferente entre estaciones.

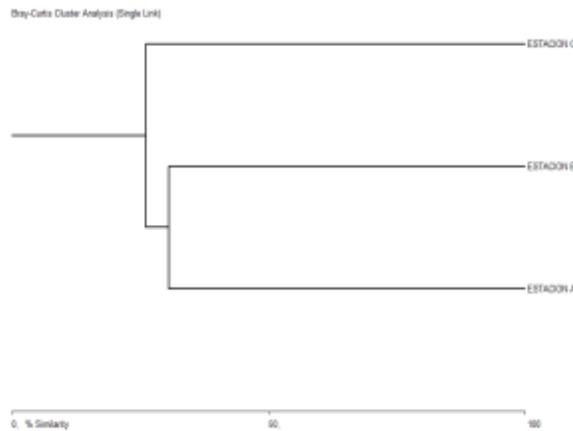
El análisis de Bray-Curtis que se presenta en las Figuras 10, 11 y 12, indica que la similitud entre las tres estaciones para el año de 1998 no llega al 50%, corroborando los resultados obtenidos para los análisis estadísticos. Los porcentajes de similitud disminuyeron para los años de estudio siguientes, indicando el nivel de afectación que sufre el ecosistema.

Figura 10. Dendrograma de Bray Curtis para la comunidad perifítica en el año 1998



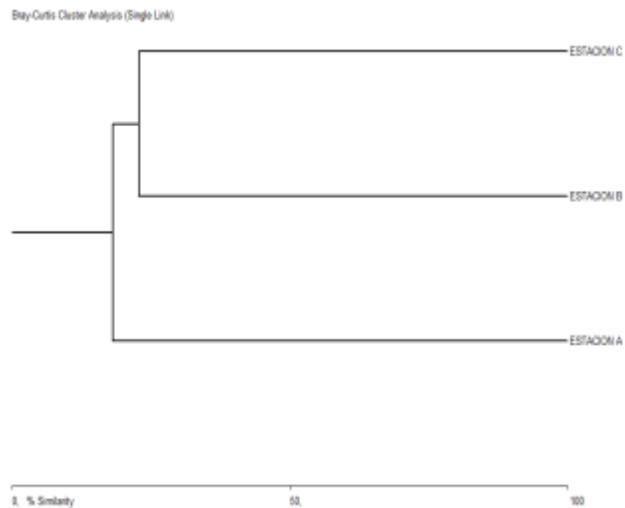
Fuente: Propia del estudio

Figura 11. Dendrograma de Bray Curtis para la comunidad perifítica en el año 2004



Fuente: Propia del estudio

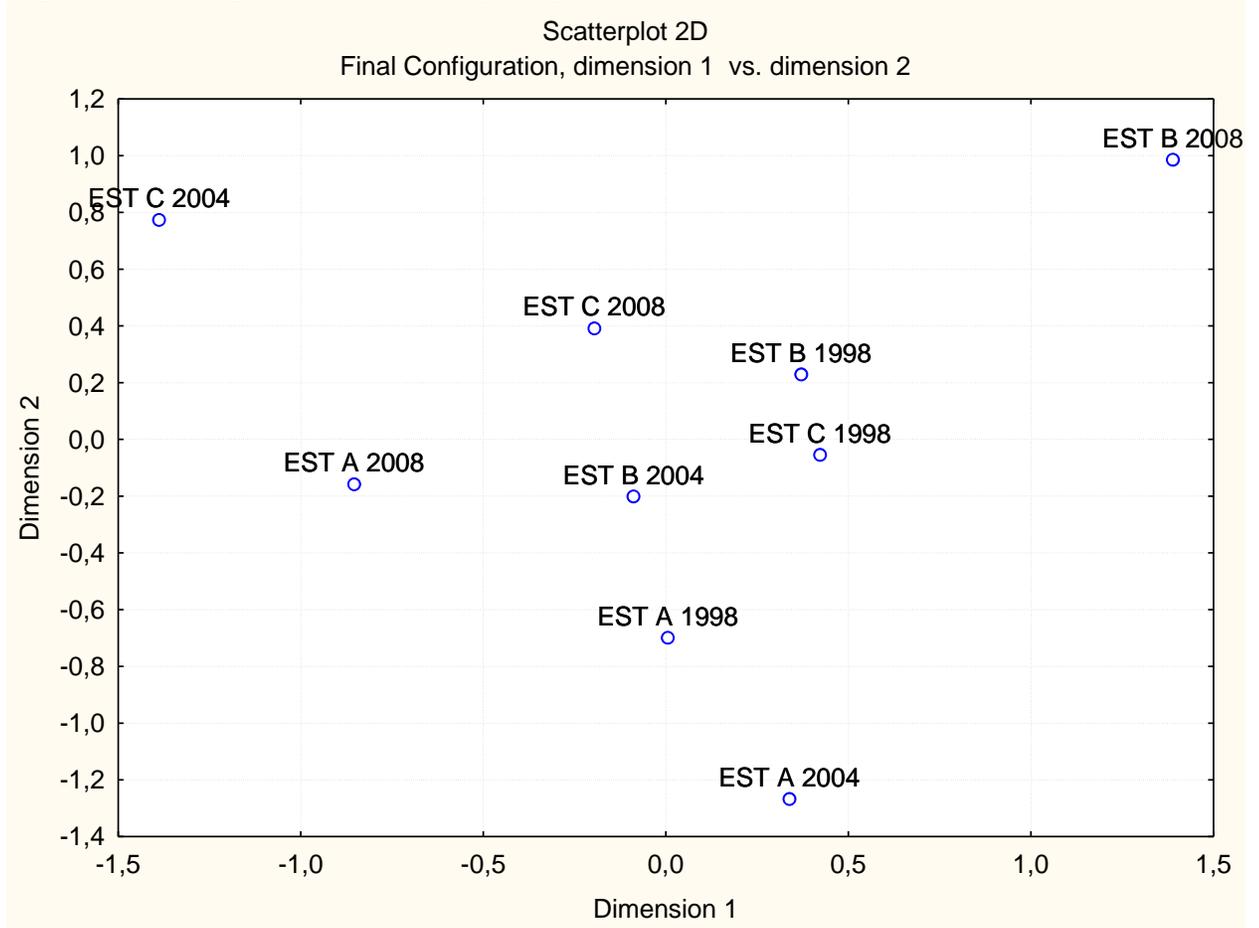
Figura 12. Dendrograma de Bray Curtis para la comunidad perifítica en el año 2008



Fuente: Propia del estudio

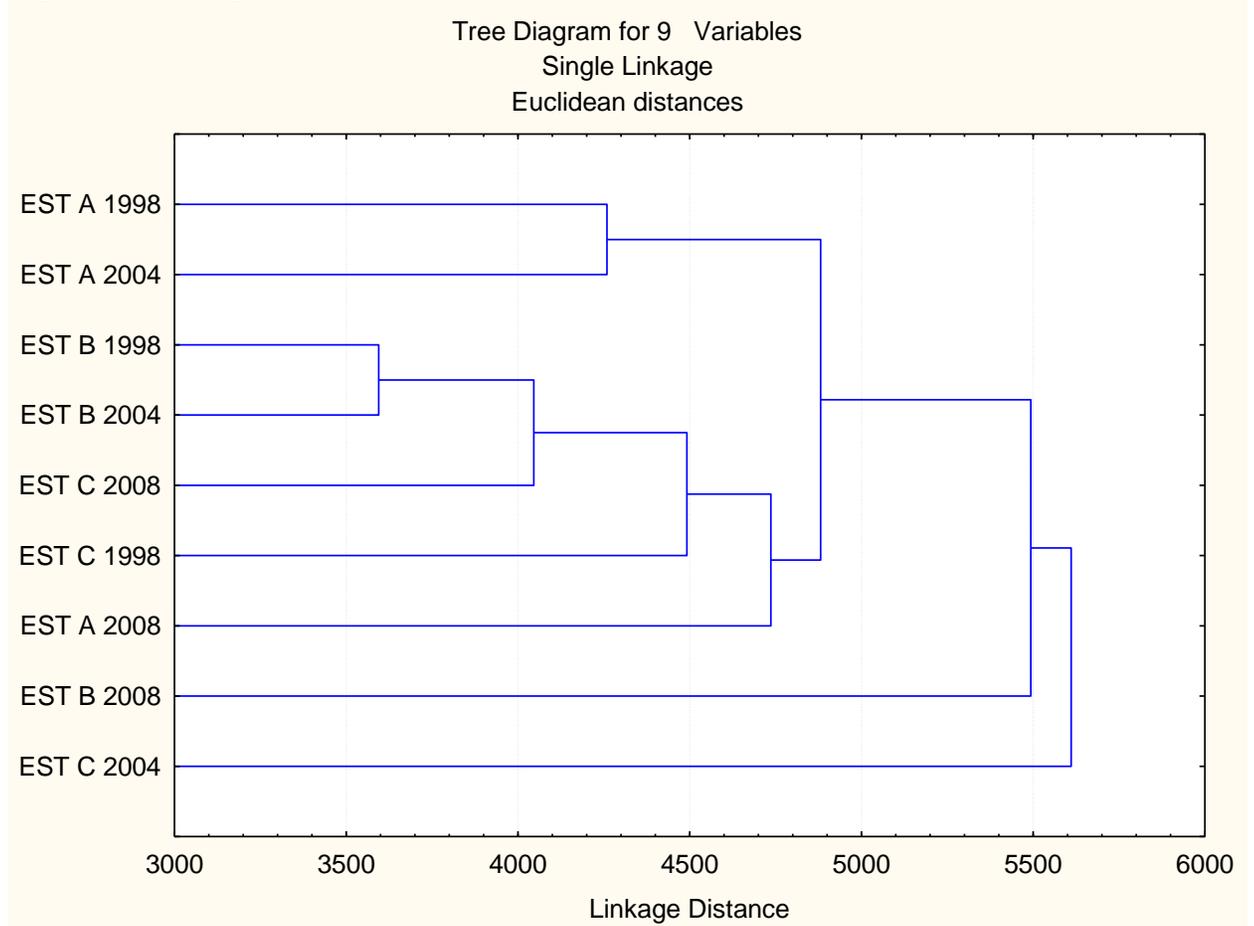
El análisis de ordenación multidimensional no métrica NMDS realizado al perífiton que se presenta en la Figura 13, muestra las mismas tendencias observadas para los macro invertebrados acuáticos encontrándose que existen diferencias entre las diferentes estaciones, y para los diferentes años de muestreo (1998, 2004 y 2008). No se observan grupos consolidados por eje y se confirma que la estación 2 es la de mayor diferencia en su comportamiento tanto con las otras estaciones, como por años en la misma estación.

Figura 13. Diagrama de NMDS para perífiton



El análisis mediante diagrama de distancia euclidiana, que se presenta en la Figura. 14, confirma los análisis estadísticos anteriormente realizados, tanto para cada una las estaciones, como para los tres años de muestreo.

Figura 14. Diagrama de distancia Euclidiana



Fuente: Propia del estudio

Confirman la mayor variación de la estación 2 especialmente durante el año 2008.

Puede generalizarse que la estación 2 se caracterizó también, por ser la de mayor variabilidad durante el estudio, lo que indica que allí se dieron los fenómenos más interesantes.

El análisis de correlación entre las características físico químicas analizadas y las comunidades estudiadas, nos indican que para el caso de los macro invertebrados, el número de taxones y la abundancia de macro invertebrados, no mostraron correlaciones significativas con ninguna de las variables ambientales medidas en las estaciones, aunque el número de taxones de macro invertebrados fue mayor en micro hábitats con mayor complejidad estructural (raíces de ribera) que en micro hábitats más expuestos a las perturbaciones (piedra). Igual observación se obtuvo para el ensamblaje perifítico.

5.4 APLICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Para la aplicación de la herramienta de simulación Evolution V 4.0 se utilizaron como parámetros de análisis los indicados en la Tabla 12.

Tabla 12. Parámetros claves para el modelado

	Temperatura del agua			Media	Desestándar
98	16,6	20,5	21,6	19,57	2,63
4	17,4	20,4	21,3	19,70	2,04
8	16,2	19,8	21,4	19,13	2,66
	Alcalinidad				
98	120,6	129,5	112,2	120,77	8,65
4	121	118,2	118,2	119,13	1,62
8	94,1	96,7	77,9	89,57	10,19
	O ₂				
98	7	6,34	7,42	6,92	0,54
04	7,6	8,5	7,7	7,93	0,49
08	9,5	6	5,9	7,13	2,05
	CO ₂				
98	4,3	5,1	4,1	4,50	0,53
04	6,1	4,4	3,9	4,80	1,15
08	2,6	7,7	4	4,77	2,64
	Q				
98	3,09	4,35	3,78	3,74	0,63
04	3,06	3,86	3,99	3,64	0,50
08	2,92	4,07	3,23	3,41	0,60
	índice Shannon para macro invertebrados				
98	1,23	1,45	1,47	1,38	0,13
04	1,14	1,18	1,31	1,21	0,09
08	1,28	1,22	1,35	1,28	0,07
	índice diversidad de Shannon para perífiton				
98	0,67	1,18	1,23	1,03	0,31
04	1,07	0,84	1,09	1,00	0,14
08	1,02	0,97	1,22	1,07	0,13
	Sílice				
98	8,9	11,31	0,29	6,83	5,79
04	8,13	14,9	0,38	7,80	7,27
08	6,42	18,18	0,39	8,33	9,05

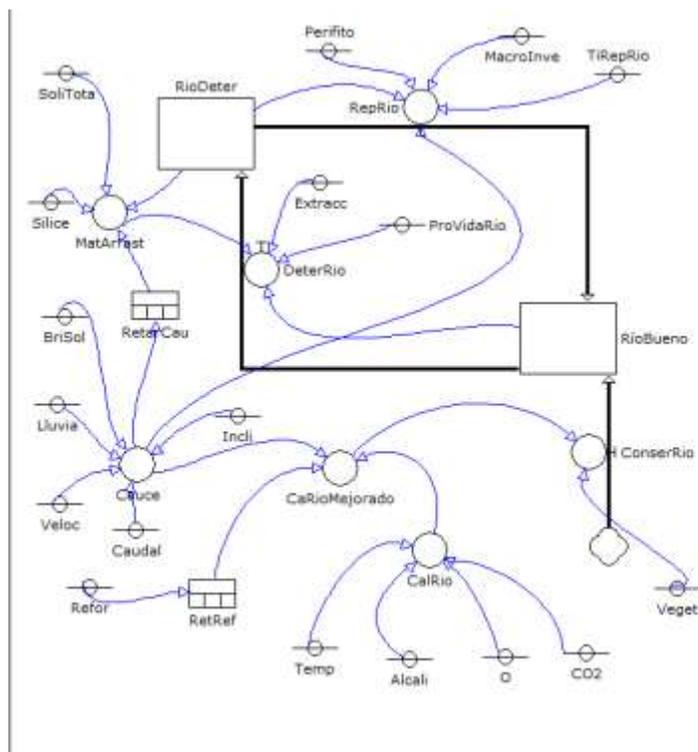
Tabla 12 (Continuación)

	Temperatura del agua			Media	Desestándar
	Perfil de cuenca				
	65,6	70,9	42,1	59,53	15,33
	54,2	71,4	47,3	57,63	12,41
	81,7	90,2	50,1	74,00	21,13

Fuente: Propia del estudio

La aplicación de expresiones matemáticas van a reflejar las variaciones de las relaciones ante cambios en los valores de los parámetros fisicoquímicos y biológicos; las formulas permitirán evidenciar los comportamientos y proyectar en el tiempo y el espacio el comportamiento de la cuenca ante los efectos del incremento o disminución del tensor (extracción de materiales, vertimientos, deforestaciones , incremento o disminución de la precipitación); las relaciones del sistema generan el diagrama de Forrester, que se muestra en la Figura 14.

Figura 15. Diagrama causal con base en Forrester, base para formulacion del modelo.



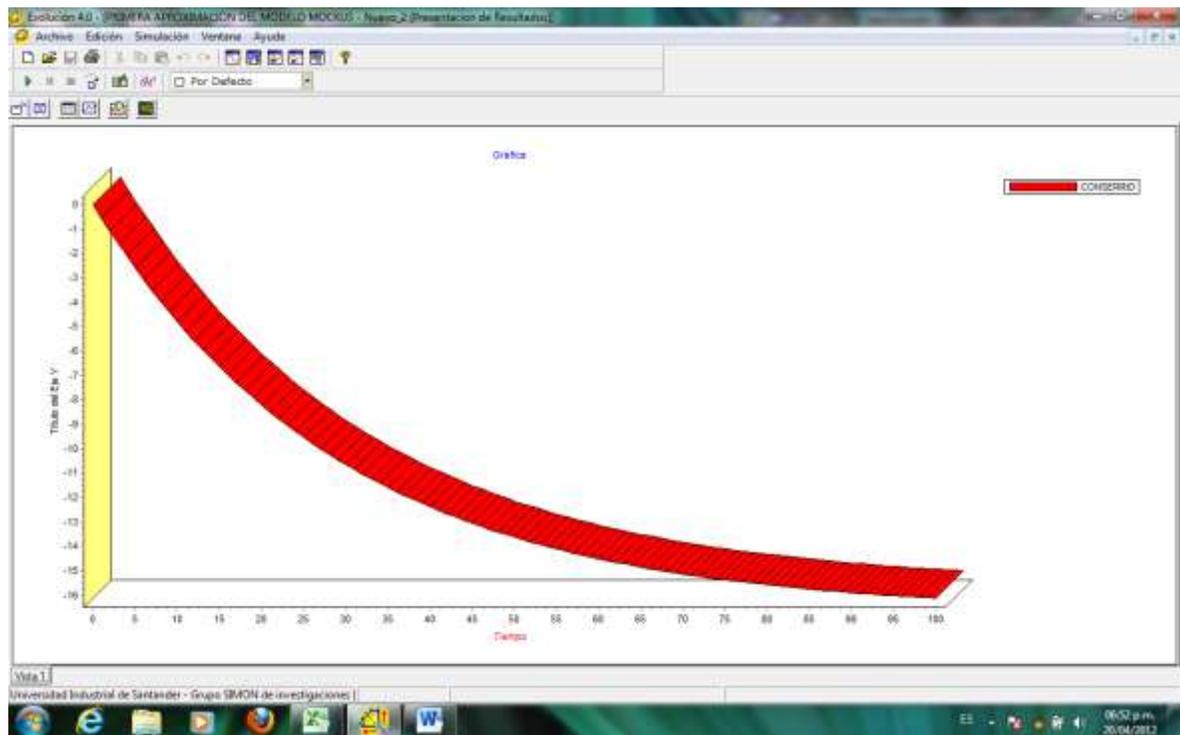
Fuente: Propia del estudio

En el diagrama causal se evidencian los 3 estados del río: uno estable, uno en recuperación y uno en deterioro, que son los que se van a proyectar en el modelo a partir de variaciones en los parametros claves que se contemplaron en la Tabla anterior y los indices de diversidad de los macroinvertebrados y el perífiton.

Una vez se llevan los datos de las variables y parametros al programa se inicia el modelo de simulacion y ajuste, hasta encontrar la mejor expresion de lo que puede ocurrir en la cuenca en los proximos 50 años si las condiciones mejoran, empeoran o siguen iguales.

La Figura 15 permite observar a traves de la herramienta de simulacion el comportamiento del río en condiciones críticas, cuando las condiciones empeoren y los indices de extraccion de materiales superen el promedio calculado de 380 m³ semestre.

Figura 16. Representacion del estado del río a partir del proceso de simulacion con Evolución 4.0



Fuente: Grupo Simon, 1997

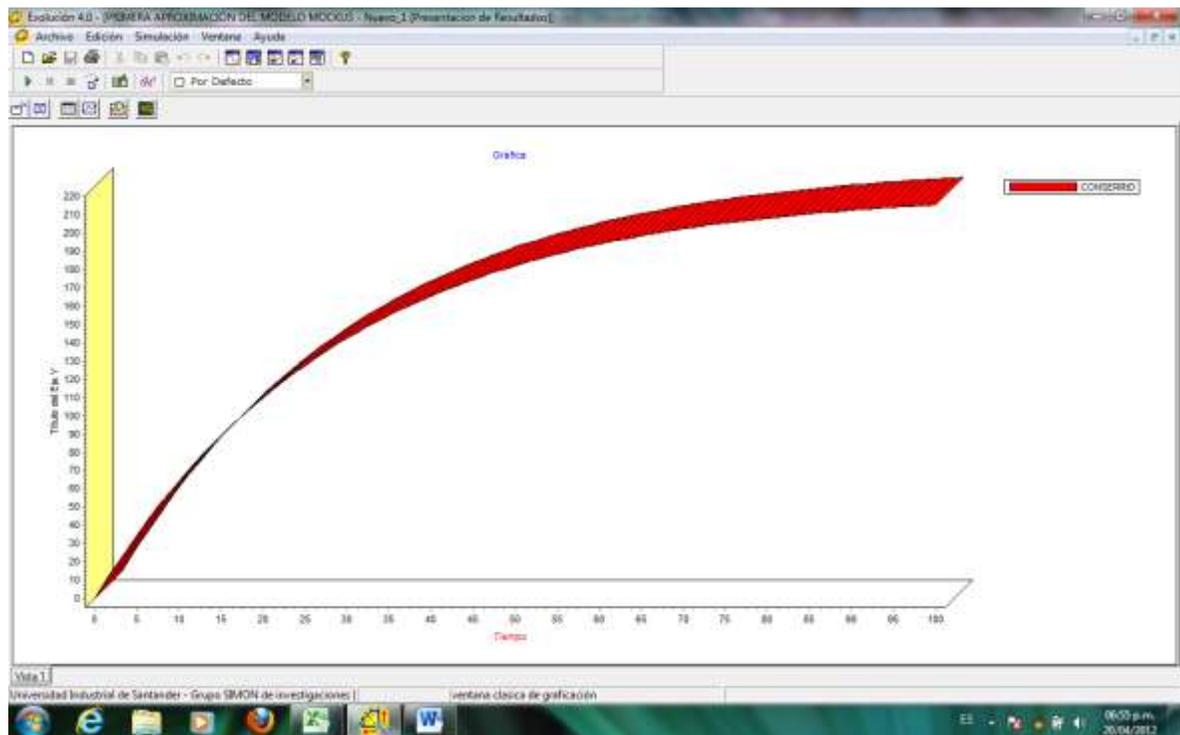
Es evidente como se deteriora la fuente si a partir de 10 años se hace un incremento en los procesos de extraccion de materiales y se presentan

variaciones drásticas en las condiciones fisicoquímicas y biológicas. Es posible que bajo esas condiciones en 50 años el río presente un estado crítico

La Figura 15 muestra el comportamiento del río si se disminuyen los tensores y no hay variaciones drásticas en las condiciones ambientales, biológicas y fisicoquímicas de la fuente.

La Figura 16 evidencia que con un proceso de manejo sostenible en 50 años el río puede presentar un alto grado de restauración.

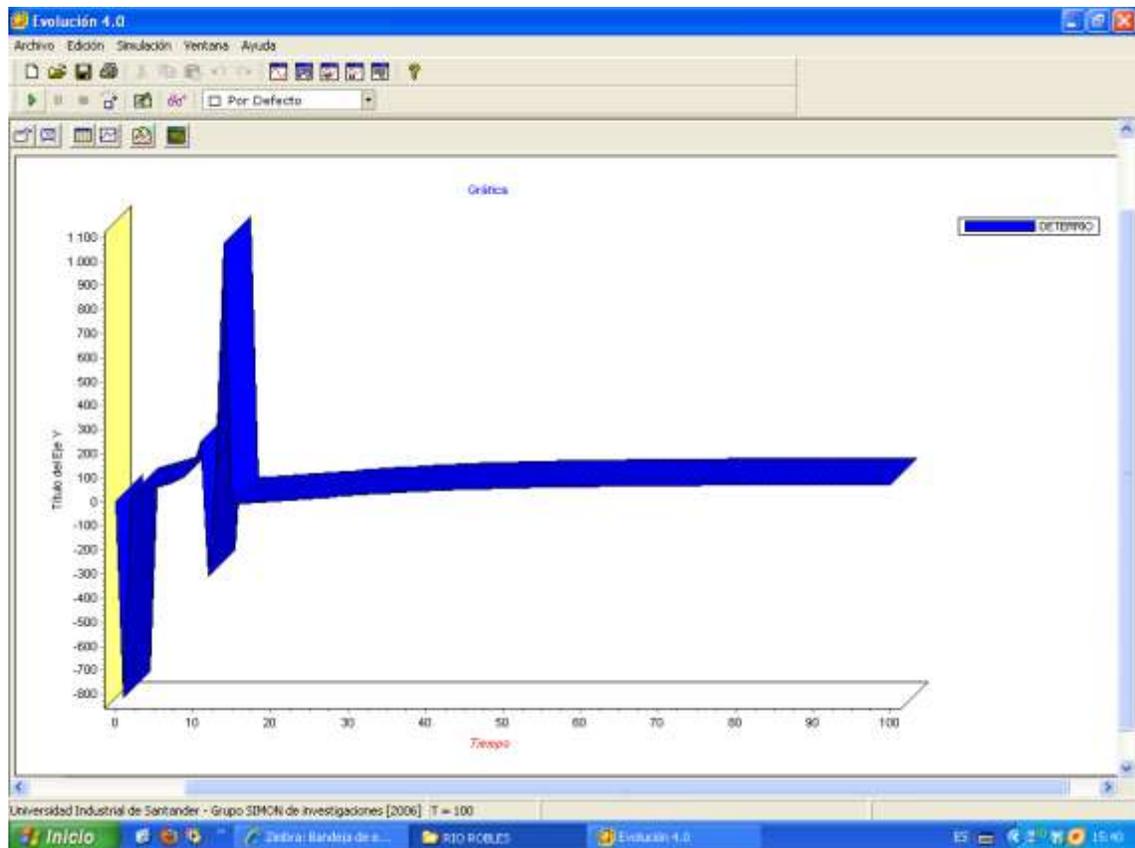
Figura 17. Comportamiento del río en el modelo bajo condiciones de conservación a partir del proceso de simulación con Evolución 4.0



Fuente: Grupo Simon, 1997

La Figura 17 muestra el comportamiento del río bajo las condiciones actuales, ella evidencia los continuos altibajos que presenta el río y proyecta su estabilidad ante un adecuado plan de manejo, de lo contrario el deterioro es evidente.

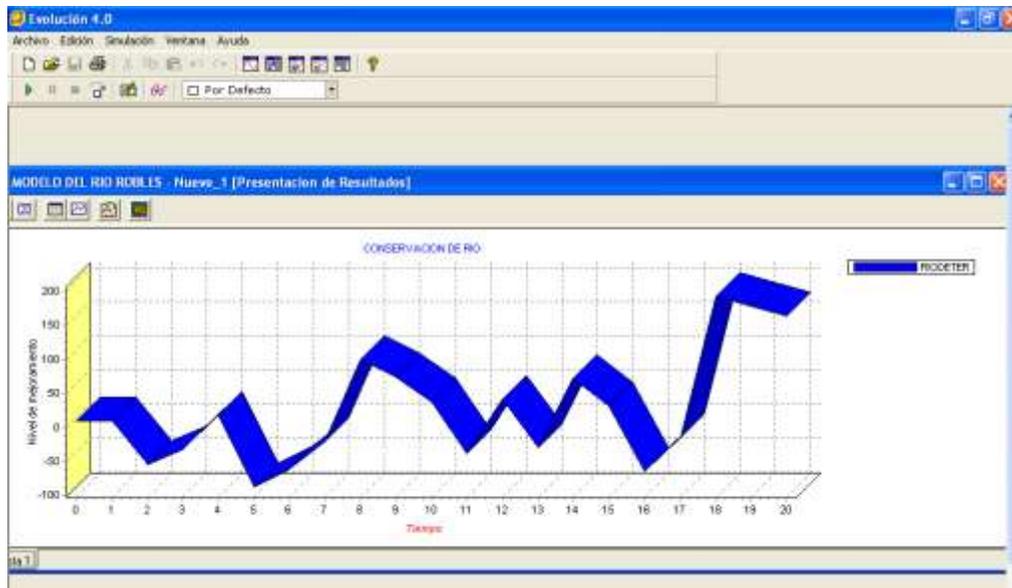
Figura 18. Comportamientos del río Robles en la estación 1 bajo las condiciones actuales a partir del proceso de simulación con Evolución 4.0



Fuente: Grupo Simon, 1997

La Figura. 18 permite evidenciar el comportamiento de la estación 2 donde se marcan de forma significativa las tendencias al deterioro si se sigue al mismo ritmo de extracción, deforestación y contaminación, la proyección permite visualizar como en 18 años el río puede presentar una pérdida de calidad significativa y solo después de 25 años con planes de conservación se estabiliza de nuevo en un estado promedio.

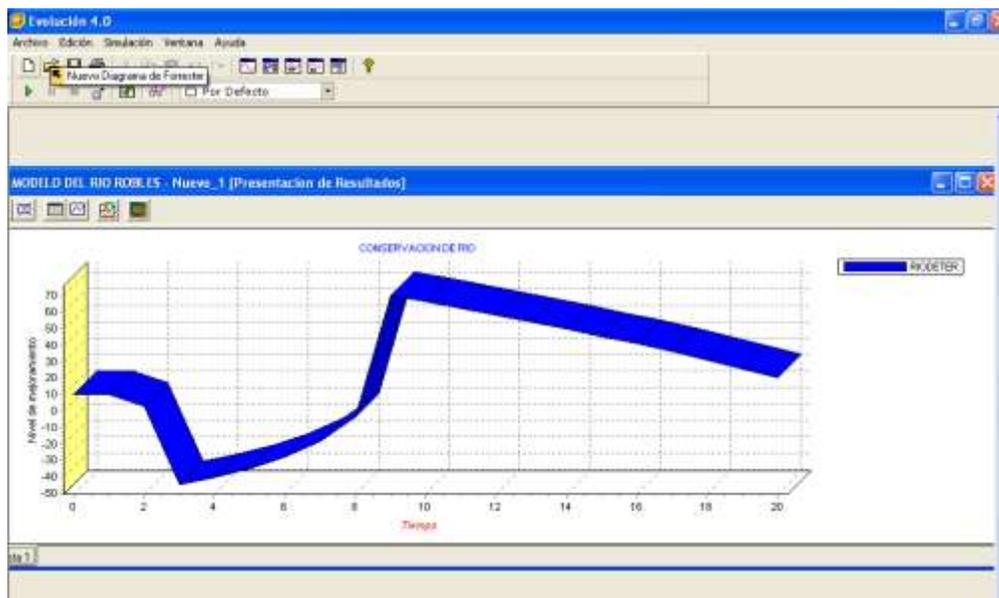
Figura 19. Fluctuaciones de modelo en la estación 2 bajo las condiciones actuales a partir del proceso de simulacion con Evolución 4.0



Fuente: Grupo Simon, 1997

La Figura 19 muestra el comportamiento del río para la estación 3.

Figura 20. Comportamiento del río para la estación 3 a partir del proceso de simulacion con Evolución 4.0



Fuente: Grupo Simon, 1997

Si se eliminaran los tensores en esta estación, se proyecta una recuperación del sistema, aunque con el paso del tiempo podrían darse variaciones de tendencia negativa, sin ser tan drásticas como las observadas en la estación anterior.

Las fluctuaciones que muestran las figuras suministran información clave respecto a la validez de las conclusiones, el efecto real de los tensores y las variaciones ambientales en el entorno, de una observación detallada de las variaciones se puede hacer un análisis de sensibilidad y predecir comportamientos para la planificación y la toma de decisiones.

6. CONCLUSIONES

El río Los Robles presenta intervenciones que han afectado su dinámica en el tiempo y el espacio, observándose mayores complicaciones para las estaciones 2 y 3.

Los análisis estadísticos nos indican que:

- Existen diferencias significativas en las características físico químicas al comparar las tres estaciones entre sí y para los años estudiados. Estas diferencias se deben a los procesos de intervención sobre el sistema, así como a las fluctuaciones climáticas observadas para la zona de estudio.
- La estación 2, sujeta al tensor de extracción de material de arrastre, es la que presenta a lo largo de los tres años de muestreo, mayores variaciones y el Índice ICOTRO para dicha zona la define como eutrófica. Se encontró que el fosfato, asociado a las actividades agropecuarias influyó directamente en esta caracterización.
- En cuanto a la comunidad de macro invertebrados, se colectaron 16.615 individuos en las 3 estaciones, agrupados en 5 clases, 16 órdenes, 36 familias y 47 géneros. Del total de los individuos colectados, el 40% pertenecen al grupo de los EPT, y el 36 % son considerados bioindicadores de aguas Oligo mesotróficas.
- Los órdenes más representativos en los macro invertebrados fueron los Trichópteros, Coleópteros, Ephemeropteros. Entre ellos no se presentaron diferencias significativas, ni entre los meses ni los años de muestreo. Pero sí en las estaciones de muestreo, reflejando los procesos de intervención a que es sometido el sistema.
- Los índices BMWP, EPT y de biodiversidad con base en los macroinvertebrados nos indican que el ecosistema se caracteriza como mesotrófico, de diversidad media.
- De los macro invertebrados los géneros más abundantes y presentes generalmente en las 3 estaciones fueron: *Thraelodus Leptonema*, *Psephenops*, *Corydalis*, *Smicridea* indicadores de agua mesotrófica.
- Los índices de diversidad de Shannon fluctúan entre 1.35 y 1.10, los índices más bajos de diversidad y el menor número de individuos se presentan en el año 2004, lo anterior ratifica la condición de diversidad media con tendencia mesotrófica.

- De los individuos colectados bajo el esquema de ensamblaje perifítico, las taxas corresponden al grupo de las diatomeas indicadoras de agua de oligomesotróficas.
- Los géneros más abundantes y presentes generalmente en las 3 estaciones fueron: *Frustulia*, *Tabellaria*, *Synedra*, *Oscillatoria* y *Cosmarium* ratificando la condición mesotrófica del sistema.
- Los índices de diversidad de Shannon fluctuaron entre; 0,67 y 1,23 índices que caracterizan sistemas alterados con baja diversidad y confirman con los índices asociados a macro invertebrados como el río va perdiendo su capacidad de autodepuración por las permanentes tensiones a las que está sometido.
- Las estructuras de comunidades de macro invertebrados y perifiton evidencian diferencias significativas, entre estaciones y años de muestreo, lo cual confirma el impacto de la actividad extractiva actual sobre el entorno.
- Podría decirse con base en los análisis estadísticos que no hay relaciones directas entre la estructura de las comunidades, y la densidad de las poblaciones existentes.
- No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las densidades de comunidades y el comportamiento de los parámetros físico-químicos analizados en cada una de las estaciones.
- Se consideran como los factores ambientales de mayor impacto, la extracción de materiales en la estación 2 y la recreación en la estación 3.
- La aplicación de la herramienta de simulación Evolución 4.0 indica que es posible una recuperación del río si se establecen planes de manejo ambiental y que si se mantienen los actuales niveles de factores, se alcanzarán condiciones críticas con severa afectación de las comunidades del ecosistema.
- Los modelos construidos bajo la dinámica de sistema permiten manipular datos reales hacia proyecciones que permitan tomar decisiones ante simulaciones de cambios drásticos o benéficos del sistema.
- La tecnología de modelos de simulación hidrológicos es clave para cuencas que por sus características generan retos en la construcción de consensos y en la toma de decisiones.

7. RECOMENDACIONES

- La Corporación Autónoma Regional del Cauca –CRC– debe realizar un mayor número de monitoreos y evaluaciones a las condiciones de las fuentes hídricas del departamento del Cauca y, en especial, generar controles a los puntos de explotación de material de arrastre, recreación y lavado.
- Con el fin de conservar las condiciones del río Robles, es clave iniciar con las comunidades del área, programas de educación ambiental que permitan concientizar a la gente sobre la importancia de esta fuente de agua en el desarrollo de la región.
-
- Es necesario controlar la extracción de material de arrastre, el uso de los espacios recreativos, el vertimiento de efluentes y, la escorrentía de áreas de cultivo, porque este tipo de actividades pueden llevar al deterioro al ecosistema. En un futuro próximo los análisis, los métodos biológicos y el uso de procesos estadísticos son claves para entender y decidir en los procesos de evaluación de la calidad de las aguas, porque reflejan diferentes alteraciones en el ecosistema.
-
- Continuar con estudios como el realizado y ampliar el marco de aplicación de las herramientas de simulación a otros ecosistemas regionales, los cuales se consideran de importancia nacional.

BIBLIOGRAFÍA

Alba Tercedor, J. & Sánchez Ortega, A. (1988). *Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corriente basado en el de Hellawell*. Limnética 4. Madrid: Macr. Asociación de Entomología

Angulo, J. N. & Rengifo, J. E. (2003). Macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de la eficiencia del sistema de lagunas de estabilización "El Tarullal". *Congreso Nacional de Limnología*. Municipio de Valledupar, Departamento del Cesar, Colombia.

Aracil, J. (1997). *Dinámica de sistemas*. Madrid: Alianza

Arias, A. M. & Galindo, A. M. (2003). *Diagnóstico ambiental y estudio limnológico y microbiológico para el área de la mini cuenca de la Quebrada La Danta, Municipio de Belén de los Andaquíes, Departamento de Caquetá*. Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería. Programa Ingeniería Agroecológica. Universidad de la Amazonia

Barros, L. R. (1.994). *Guía metodológica para el manejo del recurso hídrico*. Bogotá: Ministerio del Ambiente

Bahamón, N. (1994). *Estudio limnológico, con énfasis en la comunidad de Perífiton en algunos lagos de inundación del río Amazonas (Colombia)*. Tesis de Maestría. Departamento de Biología, Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá

Bezerra, M. A. O. & Teiller, S. (1999). Studies on the zooplankton community of the Miranda River Basin, Miranda, MS. En: *Annals of the symposium on natural and socio-economic resources of the pantanal, 2, orumbá. Anais...* Corumbá: Management and Conservation, Embrapa/CPA

Bicudo, C. y Picudo (1970). *Algas de Aguas Continentales Brasileñas*. Fundacao Brasileira par o desenvolvimento do ensino de ciencias de San Paulo – Brasil

Bonilla P., B. L. (1998). *Evaluación del Efecto Generado por la Extracción de Arena sobre las Algas Perifíticas en el Río Los Robles, Municipio de Timbío, Departamento del Cauca*. Mimeografiado de clase Universidad del Cauca

_____ (2001). *Aplicación de los modelos dinámicos a la conservación de la microcuenca del río Robles en el municipio de Timbío departamento del Cauca*. Trabajo de grado de la especialización en Ecología de la Conservación, Fundación Universitaria de Popayán

Castillo, S. M. y Zamora, G. H. (1999). *Evaluación del efecto generado por la extracción de arena sobre la comunidad de macro invertebrados bentónicos y la calidad fisicoquímica del agua en el río Robles Departamento del Cauca*. Tesis de Maestría en Recursos Hidrobiológicos Continentales. Universidad del Cauca.

Duque, S. R. (1993). *Inventario, caracterización y lineamientos para la conservación de los humedales en el Departamento del Amazonas*. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá. (Inédito).

Duque, S. R.; Ruiz, Ruiz, J. E.; Gómez, J. & Roessler, E. (1997). *Limnología*. En: IGAC (Ed.). *Zonificación ambiental para el plan modelo Colombo - Brasileiro (Eje Apaporis -Tablaatinga: PAT)*, Bogotá

Estévez, F. A. (1988). *Fundamentos de Limnología*. 2ª edición. Río de Janeiro: Interciencia

Fittkau, E. J.; Irmiler, U.; Junk W. J.; Reiss, F. & Schmidt, G. W. (1975). *Productivity, biomass and population dynamics in Amazonian water bobies*. In: Golley FB, Medina E. (Eds) *Tropical ecological system*. Springer, Berlin Heidelberg New York

Ferreira, J. G. (2005). *Apuntes teórico prácticas, programación orientada a objetos*. Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional

Forrester, J. (1996). *Dinámica de sistemas*. México: Prentice Hall

González de I., A. (1988). *El Plancton de las Aguas Continentales*. Washington. D.C.: Organización de los estados americanos – Programa Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico- serie Biología. Naciones Unidas

Guiry, W.; Guiry M. D. & Guiry, G. M. (2010). *Algaebase World Wide Electronic Publication National University of Ireland, Galway*. Recuperado de <http://www.algaebase.org/search/species/detail/>

Heyer Rodríguez, L.; Ventura Houle, R.; Arroyo Díaz, R. N.; Martínez Cambolor, P. & Herrera Herrera, R. (2001) *Demanda química de oxígeno y su correlación con índices de calidad del agua biológicos*. Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Victoria, Cd. Victoria Tamps. C.P. 87149 México. Recuperado de lheyer@uat.edu.mx

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. (2008) *Revista Biología Tropical*. Tehuantepec, Oaxaca, México ¿y algunas relaciones biogeográficas. [online]. 56 (1)

- Jeppsson, U. (1996). *Modelling Aspects of Wastewater Treatment Processes*. PhD Dissertation, Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund Institute of Technology, Sweden
- Junk, W. P. B. & Furch. K. (1985). *The physical and chemical properties of Amazonian waters and their relationships with the biota*. En Prance & Lovejoy (Eds). Key environments: Amazonia. Pergamon Press, Oxford
- Llamas, J. (1993). *Hidrología General, Principios y Aplicaciones*. España. Servicio Editorial Universidad del País Vasco
- Martínez, J. & Estéves, S. (1978). Modelo dinámico para estimación de nutrientes. *Revista Ing. de Aguas*. 7 (2)
- Mesplé, F.C.; Casellas, M.; Troussellier, & Bontoux, J. (1995). *Some difficulties in modeling chlorophyll an evolution in a high rate algal pond ecosystem*. *Ecological Modelling*. New York
- Orrego A. (1999). *Geología de la plancha 364 escala 1:100.000*. Memorias del Congreso de Geología, Bogotá: Ingeominas
- Pace, M. L. (2001). Prediction and the aquatic sciences. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. Canadá
- Paredes, C.; Iannacone, J. & Alvarino, L. (2005). Uso de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad en el Río Rimac, Lima. *Revista Colombiana de Entomología*. 31 (2)
- Pizarro, R. C.; Ramírez, J. & Flores, P. (2003). Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. *Bosque* (Chile), vol. 24, (3)
- Pizarro. R. T.; Oto B. M.; Farias D. J. & Jordán D. C.; (2005). *Calibración y validación de dos modelos de simulación integral de cuencas para la cuenca del río Achibueno en la region de Maule Chile en la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca*. Chile: Centro Internacional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC)/ PHI-UNESCO
- Ruiz, J. M.; Estrella, T. & Quintas, L. (1996). *Modelización hidrológica distribuida en el proyecto Guadiana*. El modelo SIMPA 1.0 (Sistema Integrado Modelación Precipitación- Aportación). España.
- Ramírez Gonzáles, Alberto (1999). *Ecología Aplicada. Diseño y análisis estadístico*. Pág. 323. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano

Ramírez Restrepo J. J. (2000) *Fitoplancton de agua dulce ases ecológicas y sanitarias*. Medellín: Uniantioquia

Rivera R. C. & DÍAZ Q. (2004). Grandes Taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. *Universitas Scientiarum* 9. Chile

Roldán P., Gabriel (1992). *Fundamentos de limnología neo tropical*. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia: Fen-Colciencias

Rosales N., Moronta R. & Morales, E. (2006) *Caracterización de Micro algas en una Columna de Agua del Embalse de Tulé, Estado de Zulia Venezuela*. Universidad de Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Departamento de Biología.

Ruttner, F. (1975). *Fundamentos de limnología*. Toronto: Prince Hall

Scientific European Federation (2009) *Pruebas estadísticas*. Recuperado de scientific-european-federation-ostheopaths.org/es/test-estadisticos.org/es/pruebas

Serrato Hurtado, C. (2008). *Estado de calidad de aguas del sistema Andino-Amazónico colombiano, a través de la bioindicación con macro invertebrados acuáticos*. Tesis Especialización en Estudios Amazónicos. Bogotá: Universidad de Nacional de Colombia

Universidad Complutence de Madrid. *Aula virtual de bioestadística*. Madrid: Departamento de Matemáticas Aplicadas, Facultad de Biología. Recuperado de [e-estadistica.bio.ucm.es/web_spss/proc_kruskal.html](http://estadistica.bio.ucm.es/web_spss/proc_kruskal.html)

Zamora G., Hilldier. (1999). *Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia*. Popayán: Unicauca