



Universidad
del Cauca

**ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE
MACROINVERTEBRADOS Y CARACTERIZACIÓN DE LA
CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE BIOINDICACIÓN EN
LA CUENCA BAJA DEL RIO OVEJAS.**

JHAN ALEJANDRO SANDOVAL

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION
INSTITUTO DE POSGRADOS
MAESTRIA EN RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS CONTINENTALES
POPAYAN
2010**



Universidad
del Cauca

**ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE
MACROINVERTEBRADOS Y CARACTERIZACIÓN DE LA
CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE BIOINDICACIÓN EN
LA CUENCA BAJA DEL RIO OVEJAS.**

JHAN ALEJANDRO SANDOVAL

Trabajo de grado para optar al título de:
Magíster en Recursos Hidrobiológicos Continentales.

Dirigido por:
Mg. **HILLDIER ZAMORA GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION
INSTITUTO DE POSGRADOS
MAESTRIA EN RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS CONTINENTALES
POPAYAN
2010**

Nota de aceptación:

Firma del director del trabajo
M.Sc. Hildier Zamora González

Firma del Jurado
M.Sc Guillermo León Vasquez Zapata

Firma del Jurado
M.Sc. Camilo Ernesto Andrade Sossa

DEDICATORIA.

Dedico, este trabajo a Dios y a mi amada madre, porque no me equívoco diciendo que es la mejor madre del mundo, gracias por todo tu esfuerzo, apoyo y por la confianza que depositaste en mí. Mil gracias porque siempre has estado a mi lado.

AGRADECIMIENTOS.

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía, en las diferentes etapas de mi vida.

A mi familia, en general por brindarme su apoyo incondicional.

A todos mis profes de Unicauca y colegas, no solo de carrera, sino de toda la vida, mil gracias porque son parte de lo que ahora soy, y especialmente a los tres que estuvieron en esto conmigo el jefe Hildier, el negro Vásquez y el flaco Camilo.

A Adriana por brindarme su apoyo incondicional.

Finalmente a todas aquellas personas y colegas que me brindaron su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

La facultad y los jurados de tesis
no se harán responsables de las ideas
emitidas por el autor.

Articulo 24, resolución 04 de 1974

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. MARCO TEÓRICO.....	15
1.1 EL PROYECTO.....	15
1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ECOSISTEMAS	15
1.3 LA CALIDAD DEL AGUA Y LOS MACROINVERTEBRADOS	
ACUÁTICOS EPICONTINENTALES (MAE).....	20
1.3.1 Clasificación de los MAE, de acuerdo con el medio físico que ocupan.	
.....	21
1.3.2 Clasificación de los MAE de acuerdo con el rol trófico.	23
1.4 LOS MACROINVERTEBRADOS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS.	
.....	24
1.5 COMPLEMENTARIEDAD DE LOS MÉTODOS BIOLÓGICOS CON LOS	
MÉTODOS FÍSICOQUÍMICOS.....	27
2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	29
3. HIPÓTESIS	30
4. OBJETIVOS.....	31
4.1 GENERAL.....	31
4.2 ESPECÍFICOS.....	31
5. MATERIALES Y METODOS.....	32
5.1 FASE DE CAMPO.....	32
5.1.1 Estaciones de muestreo.....	32
5.1.2 Caracterización Físico-química hídrica.....	32
5.1.3 Colecta de los invertebrados acuáticos.....	34
5.2 FASE LABORATORIO.....	34
5.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	34
5.3.1 Físico-química hídrica.....	34

5.3.2 Estimación de cambios espaciales, temporales con relación a la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.	35
5.3.2.1 Índice de similitud de Bray Curtis.....	35
5.3.2.2 Análisis de escalamiento no métrico multidimensional MDS.	35
5.3.2.3 Análisis de Correspondencia Canónica (ACC).	36
5.3.2.4 Estructura, calidad biológica y bioindicación.....	36
5.3.2.4.1 Abundancia porcentual.	36
5.3.2.4.2 Índice de Shannon Weaver (H')	36
5.2.2.4.3 El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System)	37
6. RESULTADOS.....	40
6.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	40
6.1.2 Localización y descripción del área de muestreo.	40
6.2 DESCRIPCION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO.....	42
6.2.1 Estación No. 1. Sitio de presa.....	42
6.2.2 Estación No. 2. Gelima	43
6.2.3 Estación No. 3. Confluencia.....	44
6.3 CAUDALES.	44
6.4 FISICO-QUIMICA HÍDRICA.....	46
6.5 MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS EPICONTINENTALES.....	49
6.5.1 Sinopsis.	49
6.5.2 Abundancias relativas o porcentuales	53
6.5.2.1 Estaciones y épocas.....	53
6.5.2.1.1 Sitio de presa o estación 1 para las dos épocas.....	53
6.5.2.1.2 Sitio de presa o estación 1 para época baja.	54
6.5.2.1.3 Sitio de presa o estación 1 para época alta.	55
6.5.2.1.4 Sitio de Gelima o estación 2 para las dos épocas.	55
6.5.2.1.5 Sitio de Gelima o estación 2 para la época baja.....	57
6.5.2.1.6 Sitio de Gelima o estación 2 para la época alta.....	57
6.5.2.1.7 Sitio de Confluencia o Estación 3 para las dos épocas.	58
6.5.2.1.8 Sitio de Confluencia o Estación 3 para la época baja.....	59
6.5.2.1.9 Sitio de Confluencia o Estación 3 para la época alta.	59
6.5.2.2 Diferencia por épocas.	60
6.5.2.2.1 Época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales.	60
6.5.2.2.2 Época de alta intensidad de lluvias con altos caudales.	61
6.5.3 Índice de similitud de Bray Curtis.....	63

6.5.4	Análisis de escalamiento no métrico multidimensional MDS.	64
6.5.5.	Grupos funcionales.	65
6.5.6	Determinación de la diversidad y abundancia con base al índice de Shannon – Weaver (H').	70
6.5.7	Carácter bioindicador de los macroinvertebrados de la cuenca baja del río ovejas con base en el índice de monitoreo biológico (BMWP)	71
7.	DISCUSION.	75
7.1	CAUDALES.	75
7.2	FÍSICO-QUÍMICA HÍDRICA.	75
7.2.1	Relación entre la temperatura del aire y la hídrica.	76
7.2.2	Turbiedad.	76
7.2.3	Gases disueltos.	77
7.2.4	El pH y su relación con la Acidez Total y la Alcalinidad Total.	78
7.2.5	Dureza total y dureza carbonácea.	78
7.2.6	Nutrientes en el ecosistema acuático.	79
7.2.7	Cloruros.	80
7.2.8	Conductividad y su relación con los Sólidos Disueltos Totales (SDT).	81
7.2.9	Sólidos Totales.	81
7.2.10	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅ – 20°C) y Demanda Química de Oxígeno DQO.	82
7.2.11	Hierro.	82
7.2.12	Aluminio.	83
7.2.13	Sulfatos.	83
7.2.14	Metales pesados.	84
7.2.15	Cianuros.	84
7.3	MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS EPICONTINENTALES.	85
7.3.1	Abundancia durante el estudio.	85
7.3.2	Abundancia por estaciones.	86
7.3.2.1	SITIO 1 o Sitio de presa.	86
7.3.2.2	SITIO 2 o Gelima.	86
7.3.2.3	SITIO 3 o Confluencia.	87
7.3.3.1	Época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales.	87
7.3.4	Análisis de distribución y estructura.	89
7.3.4.1	Índice de Similitud de Bray Curtis.	89
7.3.4.2	Análisis métrico multidimensional (MDS)	90
7.3.4.3	Grupos Funcionales.	90

7.3.5 Análisis de diversidad y abundancia.....	91
7.3.5.1 Índice de Shannon Weaver.....	91
7.3.6 Bioindicación y Calidad del agua.	93
7.3.6.1 Índice BMWP.....	93
CONCLUSIONES.....	95
BIBLIOGRAFIA.	97

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Colecta de MAE con red de pantalla.	34
Figura 2. Localización general del estudio.	41
Figura 3 .Cuenca baja del río Ovejas.	42
Figura 4 y Figura 5. Estación 1 o Sitio de presa.....	43
Figura 6 y Figura 7. Estación 2 o Gelima	43
Figura 8 y Figura 9. Estación 3 o Confluencia.....	44
Figura 10. Caudales instantáneos encontrados y épocas.	45
Figura 11. Análisis de Componentes Principales (ACP) para parámetros físico-químicos hídricos.	46
Figura 12. Total acumulado de géneros de macroinvertebrados colectados para la zona de estudio y las dos épocas.	51
Figura 13. Total acumulado de familias de macroinvertebrados colectados para la zona de estudio y las dos épocas.....	52
Figura 14. Géneros dominantes en la estación 1 o sitio de presa para las dos épocas.....	53
Figura 15. Familias dominantes encontradas en la estación 1 o Sitio de presa, durante todo el estudio.	54
Figura 16. Géneros dominantes para el Sitio1, época baja.....	54
Figura 17. Géneros dominantes para la estación 1, época alta.	55
Figura 18. Géneros dominantes para la estación 2, durante las dos épocas...	56
Figura 19. Familias dominantes encontradas en la estación 2 o Gelima, durante todo el estudio.	56
Figura 20. Géneros dominantes para la estación 2, durante la época baja.	57
Figura 21. Géneros dominantes para la estación 2, durante la época alta.	57
Figura 22. Géneros dominantes para la estación 3, durante las dos épocas. .	58

Figura 23. Familias dominantes encontradas en la estación 3 o Confluencia, durante todo el estudio.	58
Figura 24. Géneros dominantes para la estación 2, durante la época baja.	59
Figura 25. Géneros dominantes para la estación 2, durante la época alta.	59
Figura 26. Géneros más abundantes durante la época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales en las tres estaciones.	60
Figura 27. Familias encontradas en la época de baja intensidad de lluvias y bajos caudales.	61
Figura 28. Géneros más abundantes durante la época de alta intensidad de lluvias con altos caudales en las tres estaciones.	61
Figura 29. Familias encontradas en la época de alta intensidad de lluvias y altos caudales.	62
Figura 30. Abundancia de órdenes presentes durante todo el estudio.	63
Figura 31. Dendrograma de Similitud con base en el coeficiente de Bray Curtis basado en la estructura biológica.	64
Figura 32. Escalamiento no métrico multidimensional MDS, con base en el coeficiente de Bray Curtis.	65
Figura 33. Comportamiento de la estructura, de acuerdo a la época y grupo funcional.	69
Figura 34. Índice de Shannon Weaver por estación y época.	71
Figura 35. Valores del Índice BMWP por zonas y épocas.	72

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Categorización de las aguas de acuerdo a la dureza.....	18
Tabla 2. Categorización de las aguas de acuerdo al contenido de calcio.	18
Tabla 3. Clasificación de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales de acuerdo con su rol trófico. Fuente: Tomado de Merrit and Cummins (1979). ..	23
Tabla 4. Sistema para la determinación del Índice de Monitoreo Biológico – BMWP (Tomado de Zamora 2007).	38
Tabla 5. Distribución del nivel del caudal y épocas durante el periodo de estudio.....	45
Tabla 6: Datos promedio físico-químicos para las estaciones durante el periodo de estudio.....	47
Tabla 7: Datos promedio físico-químicos para las épocas durante el periodo de estudio.....	48
Tabla 8. Sinopsis taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos colectados en las tres estaciones.....	49
Tabla 9. Grupos Funcionales.	67
Tabla 10. Promedios de índice de Shannon para cada estación según la época.	70
Tabla 11. Resultados promedio de análisis de calidad biológica por medio del índice BMWP, para estaciones y épocas.	71
Tabla 12. Calidad biológica de toda la zona, según el índice BMWP, por mes durante el periodo de estudio.	72
Tabla 13. Caracterización del río Ovejas, según la calidad biológica (BMWP) y diversidad (Shannon Weaver) por mes durante el periodo de estudio.....	73
Tabla 14. Caracterización del río Ovejas, según la calidad biológica (BMWP) y diversidad (Shannon Weaver) por épocas durante el periodo de estudio.	74

RESUMEN

El río Ovejas es uno de los principales tributarios de la parte alta del río Cauca, con una cuenca que drena una área aproximada de 947 Km² y confluye al Cauca tres y medio kilómetros aguas abajo de la presa de La Salvajina a una altitud de 1.000 msnm.

Durante Octubre de 2008 y Septiembre de 2009, se colectaron mensualmente Macroinvertebrados Acuáticos Epicontinentales (MAE), se realizaron mediciones de parámetros físico-químicos tales como: conductividad, sólidos disueltos totales (SDT), sólidos totales (ST), temperatura, turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, gas carbónico, pH, acidez total, alcalinidad total, durezas total y carbonácea, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), calcio, amonio, nitritos, nitratos, fosfatos, cloruros, hierro, azufre, mercurio, aluminio, bacteriológicos como: coliformes totales y fecales y se realizó el estudio del comportamiento de los caudales del río Ovejas en tres (3) Estaciones de Muestreo seleccionadas, teniendo en cuenta los sitios con mayor posibilidad de ser influenciados por la ejecución de las obras de un proyecto de trasvase del río Ovejas, con el fin de incrementar la capacidad de generación hidroenergética del embalse La Salvajina.

Se determinó la estructura de la comunidad de macroinvertebrados para las tres estaciones de muestreo y para cada una de las épocas.

Luego de aplicar las diferentes pruebas y realizar los respectivos análisis, se puede concluir que a pesar que el río Ovejas en su cuenca alta y media está siendo impactado por varias actividades antrópicas, entre las cuales se destacan el lavado de fique y las rallanderías, el tramo de estudio presenta características físicoquímicas y biológicas normales para un cuerpo de agua natural y no denota condiciones que puedan afectar el desarrollo de la biota acuática en general.

Se pudo determinar que el factor que influye sobre la estructura de la comunidad de MAE, es la época, ya que las condiciones físico-químicas del sistema no tuvieron cambios importantes.

Luego de aplicar el índice de calidad biológica BMWP y el de diversidad de Shannon Weaver, se puede determinar que existe una correspondencia entre la calidad biológica encontrada y los datos físico-químicos del sistema.

INTRODUCCIÓN

Aun cuando la contaminación del agua es ante todo un problema de carácter biológico, tradicionalmente la evaluación de la calidad del agua, ha estado basada principalmente en los análisis fisicoquímicos. Para este fin, se han desarrollado numerosos métodos e índices que tratan de interpretar la situación real, o grado de alteración de los sistemas acuáticos, unos se basan exclusivamente en análisis de condiciones químicas, que si bien “en principio” son de una gran precisión, son testigos de las condiciones instantáneas de las aguas, por lo tanto los efectos de los contaminantes, se detectan si son dispuestos en el momento. Es decir, los resultados son puntuales en la dimensión cronológica y no revelan mucho de la evolución de una carga contaminante y la capacidad amortiguadora de los ecosistemas acuáticos.

Como una alternativa a estos procedimientos, desde hace varias décadas muchos países han generado conocimientos y desarrollado técnicas de biomonitoreo, basadas en indicadores biológicos, a través de la evaluación de reacciones e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias contaminantes en los sistemas acuáticos. Estos índices biológicos, pueden brindar información tanto de la situación momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de la muestra o muestras, es decir, es como tener información del presente y pasado de lo que está sucediendo en las aguas (Alba- Tercedor, 1988). La literatura revela que de los organismos acuáticos, como los macroinvertebrados y microalgas son los dos grupos que a menudo se recomienda usar en evaluaciones de la calidad del agua (Hellawell 1986, Christie et al, 1993; Kelly & Whitton, 1995, Roldan 1999).

Por lo anterior y con el fin de realizar una actualización de línea base para el estudio “Actualización de la caracterización hídrica e hidrobiológica del área de influencia del proyecto de trasvase del río Ovejas al embalse La Salvajina, para identificar y evaluar posibles impactos ambientales”, se determinó la variación de la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos tanto temporal como espacialmente, frente al estrés hídrico representado por la variación del caudal durante dos épocas marcadas por diferente régimen pluviométrico, en la cuenca baja del río Ovejas, de otra parte se corroboró el carácter bioindicador de las familias registradas en relación con los parámetros físicos y químicos hídricos sucedidos en las tres zonas, a medida que transcurrieron las dos épocas, con el fin de establecer de esta manera la calidad ecológica del agua, fueron considerados los lineamientos establecidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 EL PROYECTO

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - C.V.C. consideró como un proyecto viable y económicamente atractivo desviar las aguas del río Ovejas al embalse de La Salvajina, con base en un estudio de la firma japonesa EPDC realizado en el año de 1970. En marzo de 1982, la firma INGETEC S. A. entregó el estudio de factibilidad de dicho proyecto, el cual incluyó la revisión de las características inicialmente propuestas y los incrementos en los costos de construcción y operación, con base en el estudio en mención y la problemática del sector energético nacional, la Corporación definió el proyecto de desviación como uno de los prioritarios.

Con la reorganización del sector ambiental, el embalse de la Salvajina y la generación hidroeléctrica del complejo pasó a ser administrado por la Empresa de Energía del Pacífico, EPSA S. A. E.S.P., entidad que está interesada en la ampliación de la producción de hidroenergía y por ende en lograr la autorización ambiental para la desviación de aguas del río Ovejas al embalse.

La finalidad de este proyecto de desviación es la de incrementar la capacidad de generación de hidroenergía del embalse de La Salvajina en un 15 a 20 % aproximadamente y contribuir con el programa de control de inundaciones del río Cauca, puesto que la desviación permitiría reducir el pico de crecientes en 62 m³/s durante 12 horas. Adicionalmente, con la formulación de programas anexos, podrá complementar los planes de protección y aprovechamiento de los recursos naturales del Embalse La Salvajina.

Este trabajo hizo parte del estudio denominado “Actualización de la caracterización hídrica e hidrobiológica del área de influencia del proyecto de trasvase del río Ovejas al embalse La Salvajina, para identificar y evaluar posibles impactos ambientales”, cuya entidad contratante es la empresa de energía del pacífico – EPSA, esto a fin de complementar las obras del embalse La Salvajina en cuanto al incremento en la capacidad de generación hidroenergética de este embalse.

1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

La presencia y el normal desarrollo de los organismos acuáticos en general, no dependen solo de las características geomorfológicas del sistema y las condiciones climáticas. En gran medida dependen de las características físicas y químicas de los cuerpos de agua, las cuales varían en función del tipo de ecosistema, posición geográfica, piso altitudinal, condición climática, zona de vida, tipo de fuente (superficial, pozo), naturaleza geoquímica del sustrato,

aspectos geológicos y geomorfológicos, hora día, profundidad de la columna de agua, tipo de muestreo, etc.

Entre los principales parámetros físicos y químicos de los ecosistemas acuáticos a tener en cuenta y basados en Vásquez, 2009 Caudal ambiental, conceptos experiencias y desafíos, se tienen:

Temperatura: La influencia de la temperatura se da no solamente en forma directa sobre los organismos acuáticos (plancton, macroinvertebrados acuáticos y peces), sino también rige a otros parámetros, tales como la evaporación, la solubilidad de los gases, la actividad de los organismos desintegradores del fondo, que transformen la materia orgánica en sustancias inorgánicas nutritivas (Vásquez, 2009).

Conductividad: La conductividad es una de las mejores medidas de la riqueza del agua y está dada por los iones disueltos en ella. Se expresa en $\mu\text{Mhos/cm}$ y se mide mediante el "conductímetro".

Está directamente relacionada a la salinidad, que para agua continental le corresponde a la concentración de todos los iones disueltos, los mismos que determinan la presión osmótica del agua a la que deben adaptarse las diferentes especies acuáticas.

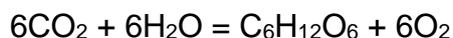
Gran parte de los sólidos disueltos se originan por el contacto del agua con las rocas y el suelo; se menciona que la composición de minerales disueltos en el agua se debe al clima, geología local, topografía, biología del agua y al estado del tiempo. Los iones más frecuentes son: calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, sulfatos y cloruros (Vásquez, 2009).

Oxígeno Disuelto: De acuerdo con Vásquez (2009), el contenido del oxígeno disuelto en el agua es el parámetro más crítico entre los factores de calidad del agua; si no se mantiene en niveles apropiados en forma constante, afecta el normal desarrollo de los organismos acuáticos. El oxígeno disuelto del agua proviene principalmente del oxígeno atmosférico, en el que se encuentra mezclado con otros gases como nitrógeno, argón, y dióxido de carbono, entre otros. Cuando el aire entra en contacto con el agua, el oxígeno se difunde en ella hasta que la presión de este elemento en el agua se iguale a la presión que tiene en el aire. Pero, más que tratar de la presión del oxígeno disuelto, es conveniente expresar la solubilidad en mg de oxígeno por litro de agua. Esta solubilidad decrece con el aumento de la temperatura e incremento de la salinidad.

En el agua la concentración de oxígeno disuelto está cambiando constantemente por causa de procesos biológicos, físicos y químicos.

Como los cuerpos de agua naturales no están nunca completamente quietos, la transferencia de oxígeno es regulada por la cantidad de turbulencia que incrementa el área de la interface aire-agua.

Los procesos biológicos son tanto o más importantes que los procesos físicos descritos en la regulación de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de ecosistemas leníticos. Las plantas, incluido el fitoplancton, producen oxígeno mediante la fotosíntesis, como se observa en la ecuación global.

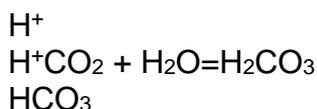


Se espera por tal razón, que la cantidad de oxígeno producido por la fotosíntesis en las aguas superficiales sea una función de la abundancia del fitoplancton. Este proceso es controlado por factores tales como: Temperatura, luz, concentración de nutrientes, turbulencia, especies y abundancia de plantas, entre otros.

Por otro lado, los organismos consumen el oxígeno en su respiración, que desde un punto de vista práctico puede considerarse como un proceso inverso a la fotosíntesis, como se observa sumariamente en la ecuación:



Dióxido de Carbono: El dióxido de carbono es un constituyente menor de la atmósfera (0,032%) y es altamente soluble en agua, comportándose como un ácido, tal como se observa en la siguiente ecuación:



El agua pura, saturada con CO_2 a $25\text{ }^\circ\text{C}$ y a presión atmosférica estándar tiene una concentración total de $0,46\text{ mg/L}$ y teóricamente tendrá un pH de $5,68$. A mayor concentración de dióxido de carbono el pH será menor, así si la concentración es 30 mg/L a $25\text{ }^\circ\text{C}$, el pH será aproximadamente $4,8$.

El dióxido de carbono del agua usualmente es una función de la actividad biológica. La respiración es un proceso mucho más rápido que la fotosíntesis y el dióxido de carbono se acumula. Durante la madrugada el agua está saturada de dióxido de carbono (Vásquez, 2009).

Alcalinidad Total: La alcalinidad es una medida de la concentración de iones carbonato y bicarbonato en el agua y se expresa en mg/l de carbonato de calcio equivalente. La presencia de los iones le confieren al agua una capacidad amortiguadora del pH, y, en consecuencia a mayor concentración de carbonato y bicarbonato el pH del agua se mantendrá más estable en valores altos. Al contrario la baja alcalinidad facilita los cambios del pH en un perfil de 24 horas (Vásquez, 2009).

Dureza Total: Este parámetro está asociado con la presencia de iones Calcio (Ca^{++}) y Magnesio (Mg^{++}), que son los cationes más abundantes en las aguas continentales y se combinan principalmente con bicarbonatos y carbonatos, marcando la Dureza temporal; o con Sulfatos (SO_4^{++}) y Cloruros, dando la

Dureza permanente. La suma de estos dos, corresponderá entonces a la Dureza Total. Es necesario aclarar que la presencia en las aguas de Sílice, puede contribuir con la alcalinidad, pero no con la dureza (Vásquez, 2009).

Aunque los conceptos de alcalinidad y dureza pueden relacionarse químicamente, especialmente cuando se maneja la calidad del agua para propósitos acuícolas, no siempre presentan correlación directa, caso de algunos sistemas hídricos subtropicales, en donde la alcalinidad puede ser muy alta y la dureza mínima.

La categorización de las aguas, bajo el punto de vista de la Dureza es variada y depende del propósito y punto de vista de análisis, así por ejemplo:

Según Sawyer and McCarty, 1967 (citado por Roldán, 1992):

Tabla 1. Categorización de las aguas de acuerdo a la dureza.

mg CaCO₃/L	Categoría
0 - 75	Aguas blandas
75 - 150	Aguas semiduras
150 - 300	Aguas duras
Más de 300	Aguas muy duras

En términos generales, las aguas blandas son biológicamente poco productivas; mientras que las aguas con valores altos de dureza, son muy productivas.

Como existe una relación directa entre la Dureza total y la presencia de Calcio, Ohle (1934; citado por Roldán, 1992), propuso una categorización de las aguas, dimensionando el grado de productividad, así:

Tabla 2. Categorización de las aguas de acuerdo al contenido de calcio.

mg/L de Ca	Categoría
Menos de 10	Poco productivas
Entre 10 y 25	Medianamente productivas
Más de 25	Muy productivas

Al respecto, es necesario indicar que los ecosistemas acuáticos tropicales, generalmente son bajos en Calcio, aunque éste abunda más que el Magnesio. Reid (1996), indica que en aguas con valores menores de 50mg/l de sólidos disueltos, el Calcio presenta el 48% del total de cationes presentes y el Magnesio sólo el 14%. En valores superiores a 50mg/l de sólidos disueltos, el Calcio marca aproximadamente el 53% mientras que el Magnesio el 34%. Obviamente, hay que considerar la naturaleza geoquímica de los sustratos, en

donde yacimientos subterráneos con altas concentraciones salinas, pueden incidir en valores significativamente altos de Calcio y Magnesio.

Bajo el punto de vista hidrobiológico, el Calcio es necesario para los procesos metabólicos de la biota acuática, mientras que el Magnesio, forma parte integral de moléculas de clorofila, incidiendo en los niveles de productividad primaria (Vásquez, 2009).

pH: Es el logaritmo negativo de la concentración de hidrogeniones. En términos prácticos, mide el grado de acidez y alcalinidad del agua. Se mide en una escala de 1 a 14. La mayoría de aguas naturales tienen un pH que varía entre 5 y 10 (Roldán, 1992).

El dióxido de carbono al asociarse con el agua: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ forma ácido carbónico que rápidamente se disocia en iones H^+ y HCO_3^- . Se espera en consecuencia, que a mayor concentración de dióxido de carbono el pH sea menor.

Durante el día los vegetales acuáticos usan el dióxido de carbono del agua para la fotosíntesis, las plantas y animales liberan en el agua dióxido de carbono producido por la respiración, que es usado rápidamente por las plantas acuáticas, incrementándose el pH. En la noche en que la fotosíntesis es nula en tanto que la respiración continúa produciendo dióxido de carbono, lo que hace bajar el pH a su mínimo en las primeras horas de la mañana.

La medición del pH se hace colorimétricamente, mediante una escala, o electrónicamente, mediante un potenciómetro (pH-metro).

Turbiedad: La Turbiedad, se relaciona con la cantidad de sólidos en suspensión, puesto que esta dado por la cantidad de materia particulada suspendida, tales como arcilla, sedimentos, partículas orgánicas coloidales, plancton y otros organismos microscópicos. Los investigadores la definen como el grado de opacidad que presenta un cuerpo de aguas, causada por la presencia de material propio del sistema (autóctono) o por aquellos que por escorrentía y/o lixiviación, son aportados directamente a la columna (alóctono). Por lo tanto, incide directamente en la transparencia, en la capacidad de penetración lumínica en la columna, en la transmisión de la luz y por ende, en el flujo de energía dentro del sistema acuático y en los niveles de productividad. Cuando los valores se aproximan o superan las 200 unidades, puede manifestarse una alteración drástica y severa en los flujos energéticos y niveles tróficos.

Para su determinación, entre varios métodos se emplean los turbidímetros electrónicos digitalizados o espectrofotómetros, que garantizan exactitud en las mediciones; y éstas se presentan en unidades nefelométricas de turbiedad – NTU (Vásquez, 2009).

1.3 LA CALIDAD DEL AGUA Y LOS MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS EPICONTINENTALES (MAE).

En las últimas décadas, el concepto de calidad de las aguas ha ido cambiando rápidamente de un enfoque puramente fisicoquímico a otro que integra todos los componentes del ecosistema. El Parlamento Europeo mediante la directiva Marco COM-97 aceptó el término “*estado ecológico*” como una medida de la calidad de las aguas. Para el desarrollo de este concepto se propone la Cuenca Hidrográfica como unidad de estudio. La determinación del estado ecológico de cada cuenca deberá realizarse de acuerdo con unas condiciones de referencia que deberán compararse con los datos de los diferentes ecosistemas acuáticos de la cuenca de características similares (ríos, lagos, embalses, etc). (Prat y Munné, 1999).

Tradicionalmente, la evaluación de la calidad del agua estuvo basada principalmente en los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. Sin embargo, muchos países han aceptado la inclusión de las comunidades acuáticas, especialmente los macroinvertebrados como un grupo fundamental para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos. Para los hidrobiólogos y ecólogos, un ecosistema acuático es un sistema funcional en el cual hay una reciprocidad entre materia, energía, organismos vivos y el ambiente abiótico.

Por lo tanto, la biología y la química, se encuentran estrictamente relacionadas y para la evaluación de aguas naturales y contaminadas, desempeñan papeles complementarios.

El término macroinvertebrado acuático epicontinental -MAE-, incluye a todos aquellos animales invertebrados que viven en ecosistemas lóticos y leníticos, sobre los continentes y que por su tamaño relativamente grandes (superiores, entre 0,3 y 0,5 mm) se pueden ver a simple vista y son retenidos por redes con ojo de malla de entre 0,25 a 0,5 mm.

La gran mayoría de estos organismos, (alrededor del 80%) corresponden a grupos de artrópodos y dentro de estos los insectos son los más abundantes especialmente en sus formas larvianas (Alba-Tercedor, 1996).

Los insectos constituyen un gran y predominante grupo de organismos terrestres, solo alrededor del 10 por ciento o menos de sus especies son acuáticas. Los ambientes acuáticos presentan muchos obstáculos para la vida de los insectos y difieren marcadamente de los presentes en los ambientes terrestres. Sin embargo, en los insectos han evolucionado muchos tipos de adaptaciones, reflejando su exitosa invasión al medio acuático. Especialmente los sistemas respiratorios, las características etológicas, los mecanismos para mantener sus propias concentraciones internas de sal, las adaptaciones para moverse sobre el agua, permanecer en micro hábitats únicos y utilizar recursos alimenticios particulares. De esta manera, la determinación de las adaptaciones ha sido de gran utilidad para realizar las descripciones de los grupos de insectos acuáticos y de sus características morfológicas, además, las

adaptaciones al estar altamente correlacionadas con la morfología, frecuentemente indican la clase de hábitat en que viven los insectos (McCafferty, 1981).

Estos organismos constituyen un componente biótico fundamental de los ecosistemas acuáticos, tanto en su estructura como en el funcionamiento de los mismos, en razón a las características que les confieren dependiendo de su presencia/ausencia. En lo estructural, componen y se desempeñan en importantes eslabones de las cadenas tróficas, dando origen a innumerables nichos en los cuales en lo funcional, fluye la energía en términos de nutrientes y variadas sustancias, hacia niveles superiores ocupados por peces, anfibios y otros vertebrados, que los incluyen en su dieta natural y que finalmente establecen la conexión del mencionado flujo energético, con los ecosistemas terrestres.

1.3.1 Clasificación de los MAE, de acuerdo con el medio físico que ocupan. Los MAE pueden agruparse en diferentes categorías de acuerdo con su distribución vertical en la columna de agua y los recursos que utilizan. En relación con lo primero, según McCafferty (1981), pueden ser:

Bentónicos: Los MAE bénticos o bentónicos son aquellos que habitan el fondo de los cuerpos de agua. Los sustratos con los que se asocian, no solo incluyen las superficies del fondo, sino también cualquier objeto orgánico o inorgánico fijo o flotante (ej., tallos y raíces de plantas acuáticas, troncos flotantes, y rocas). El bentos presenta las siguientes subcategorías:

- **Adheridos:** organismos bentónicos que se adhieren fijamente a sustratos en aguas con fuertes corrientes o en áreas litorales de los lagos en donde golpean las ondas. Algunos están equipados con uñas tarsales bien desarrolladas para agarrarse mejor al sustrato (ej., algunos Coleópteros adultos y larvas de Efemerópteros) o uñas anales o ganchos en la parte terminal del abdomen (ej., algunas larvas de Tricópteros, Dípteros, Megalópteros y Coleópteros.). Otros insectos que se adhieren y altamente especializados poseen discos a lo largo de la porción ventral de sus cuerpos, que les permiten asirse al sustrato rocoso en los rápidos (ej., larvas de Efemeróptera con cabeza aplanada y con un disco abdominal formado por branquias modificadas o por delgados pinceles de pelos como algunos Dípteros) (McCafferty, 1981).
- **Reposadores:** son los organismos bentónicos que se arrastran sobre diversas superficies de los sustratos, tales como rocas, sedimentos finos, escombros de madera y plantas. Se encuentran en aguas con y sin corrientes y muchos residen en la parte inferior de las rocas (ej., algunas larvas de Efemerópteros, Plecópteros, y Tricópteros que hacen casas), o en las áreas porosas de las rocas y en los escombros (ej., algunas larvas de Díptera y Plecóptera). Ciertas larvas de reposadores predadores (ej., larvas de Megalóptera y Odonata y Tricópteros de vida

libre) son formas relativamente activas. Otros reposadores habitan los fondos arenosos (pocas larvas de Odonata, Efemeróptera, Díptera y Tricópteros que hacen casas) finalmente otros pocos, como pequeñas y robustas larvas de Efemeróptera y larvas de pequeños Dípteros, frecuentemente se cubren parcialmente con los sedimentos (McCafferty,1981).

- **Trepadores:** son los organismos bentónicos que comúnmente habitan sobre las plantas acuáticas y los sistemas radiculares a lo largo de las orillas, y sobre algas filamentosas. La mayoría están adaptados para trepar, pero algunos ocasionalmente nadan desde un substrato a otro, y otros son relativamente estacionarios. Insectos que pertenecen a esta subcategoría son larvas de muchos Odonatos, ciertos Lepidópteros, pocos adultos de Coleóptera y algunos Efemerópteros. Otros trepadores son los Hemípteros, sin embargo estos frecuentemente deben mantener contacto parcial con la superficie del agua (McCafferty,1981).
- **Cavadores (de madrigueras):** Son los insectos bentónicos que cavan dentro de los substratos suaves del fondo para vivir. El substrato usualmente es sedimento, arcilla o arena. Los cavadores generalmente habitan estanques, lagos y las riberas de los ríos y riachuelos. Ejemplos de cavadores incluyen larvas de Efemerópteros, algunos Odonatos, muchos Dípteros con formas tubulares bien definidas, y Tricópteros. Los Efemerópteros poseen adaptaciones estructurales que les ayudan a escavar, por ejemplo, patas delanteras ensanchadas, procesos cefálicos en forma de pala, colmillos y dientes (McCafferty,1981).

Planctónicos / Nectónicos: a este grupo pertenecen los MAE que se encuentran libremente en el agua. Plancton se refiere a aquellos individuos que flotan pasivamente o que están suspendidos. Necton son aquellos que nadan.

Estos dos grupos se consideran dentro de una categoría ya que muchos individuos flotan parte del tiempo y nadan o se mueven activamente en otros momentos. Las subcategorías son:

- **Flotadores:** algunos MAE flotan, especialmente los que por sus procesos respiratorios, se mantienen en la interfase aire-agua, viven en o cerca de la superficie del agua (ej., muchas pupas de Dípteros). Algunos flotadores están equipados con órganos hidrostáticos, y otros presentan burbujas de agua que aumentan su flotación (McCafferty,1981).
- **Nadadores:** muchos Coleópteros y Hemípteros que periódicamente suben a la superficie del agua por aire están altamente adaptados para nadar. Poseen cuerpos aerodinámicos y patas en forma de remos. A esta subcategoría pertenecen algunos Dípteros, Tricópteros con casa, y adultos de Coleóptera, los cuales nadan en la superficie, y son tal vez los nadadores más hábiles de todos (McCafferty,1981).

Neustónicos: A esta categoría pertenecen los MAE que viven sobre la superficie del agua o epineustón, ellos caminan, patinan, o saltan sobre la superficie, por ejemplo algunos Hemípteros. También están los que viven suspendidos de la película superficial del agua o hiponeustón, como algunos Dípteros (McCafferty, 1981).

1.3.2 Clasificación de los MAE de acuerdo con el rol trófico. Por otro lado, los macroinvertebrados acuáticos también se pueden agrupar de acuerdo con las adaptaciones que los taxa poseen para alimentarse (adaptaciones tróficas). Algunas especies tienen una alimentación específica y otras son consumidores generalistas. El alimento consiste tanto de material vivo como inerte y de plantas y/o animales en descomposición, que pueden obtenerse en los sustratos o en el seston (materiales suspendidos en el agua) (Merritt y Cummins, 1984).

Las agrupaciones o clasificaciones de los MAE dentro de roles o categorías tróficas tienen en cuenta la preferencia y localización de los alimentos, los métodos para capturar o conseguir el alimento y el tamaño de las partículas. Entre las clasificaciones existentes, se presenta la propuesta por Merritt y Cummins (1984) (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales de acuerdo con su rol trófico. Fuente: Tomado de Merritt and Cummins (1979).

Grupo Funcional	Subdivisión del Grupo Funcional		de	Tamaño de las partículas (micras)	Ordenes con representantes dominantes										
	Recurso alimenticio	Mecanismo alimentación			Collembola	Plecoptera	Odonata	Ephemeroptera	Hemiptera	Megaloptera	Neuroptera	Tricoptera	Lepidoptera	Coleoptera	Hymenoptera
Desmenuzadores	Plantas vasculares acuáticas.	Herbívoros-masticadores mineros.	y	>10 ³							x	x	x		x
	Tejido de plantas vasculares descompuestas-Materia orgánica particulada (MOP)	Detritívoros-masticadores y perforadores de madera.	y de			x					x		x		x
Colectores	Materia Orgánica Particulada Fina (MOPF)	Detritívoros-filtradores o se alimentan en suspensión Detritívoros-recolectores	o se en	<10 ³				x			x	x			x
					x		x	x		x		x			X

Tabla 3. (continuación)

Grupo Funcional	Subdivisión del Grupo Funcional		Tamaño de las partículas (micras)	Ordenes con representantes dominantes											
	Recurso alimenticio	Mecanismo de alimentación		Collembola	Plecoptera	Odonata	Ephemeroptera	Hemiptera	Megaloptera	Neuroptera	Tricoptera	Lepidoptera	Coleoptera	Hymenoptera	Diptera
Pastoreadores	Perifitón-atacan algas y material asociado	Herbívoros-pastorean superficies orgánicas o minerales	<10 ³				x	x			x	x	x		x
	Células de plantas vasculares y células de algas filamentosas	Herbívoros-perforan tejidos o células y absorben los fluidos	>10 ² – 10 ³						x						
Sumergidos (Predadores)	Tejidos animales vivos	Carnívoros-animales completos (o partes)	>10 ³		x	x		x		x	x		x		
Parásitos	Tejidos animales vivos	Parásitos internos de huevos, larvas y pupas. Parásitos externos de larvas, prepupas y pupas de capullos, y en adultos de arañas.	>10 ³											x	x

1.4 LOS MACROINVERTEBRADOS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS.

Cada vez se hace más necesario y conveniente, utilizar metodologías complementarias a las tradicionalmente empleadas para determinar la calidad de las aguas de los ecosistemas leníticos y lóticos naturales, específicamente, las que se fundamentan en el estudio y posterior análisis de las características del componente biótico del ecosistema acuático, en lo referente a la composición, estructura y función de la comunidad en general o de una de sus comunidades en particular.

Entre las metodologías de evaluación biológica de la calidad de las aguas que pueden ser aplicadas en nuestro medio, encontramos la “Evaluación Rápida de la Calidad ambiental en Ecosistemas lóticos mediante el análisis de sus macroinvertebrados”, (Zamora, 1998) y el índice BMWP, (Biological Monitoring Working Party Score System) o Sistema para la Determinación del Índice de Monitoreo Biológico, adaptación para Colombia, (Zamora, 1999), revisado y actualizado, en el artículo “El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia” (Zamora, H., 2007).

Con la promulgación de la ley 99 de 1993 en Colombia y la puesta en marcha del Sistema Nacional Ambiental, se han desarrollado acciones que conllevan a una mejor utilización de los recursos naturales, especialmente aquellos considerados erróneamente por el hombre como inagotables, como ha sido el caso de los ecosistemas acuáticos. Ante las numerosas evidencias del deterioro y la extinción se está aplicando una legislación que si bien es cierto puede considerarse bien elaborada, tiene normas que no se adecuan plenamente a la realidad del país, en términos de la disponibilidad de recursos tanto humanos como logísticos. Es el caso, de lo relacionado con la exigencia legal sobre la determinación de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos, la cual se sustenta en la caracterización del cuerpo de agua con base en la implementación de metodologías tradicionales que se fundamentan en parámetros de tipo fisicoquímico, que son costosos y además medidos o evaluados puntualmente en el tiempo y en el espacio. (Zamora, 1999).

Si se quieren aplicar adecuadamente las metodologías complementarias mencionadas, es indispensable asumir correctamente los conceptos de Bioindicación, Evaluación biológica y Calidad en cuanto a aguas se refiere, bien sea esta, Calidad en general, Calidad biológica o Calidad ecológica, conceptos fundamentales en la aplicación de estos índices.

Para la evaluación de la calidad de las aguas desde el punto de vista biológico se puede utilizar cualquiera de los grupos bióticos, como bacterias, algas, macrófitas, protozoos, macroinvertebrados o peces, mediante el análisis de la estructura de su comunidad, el cálculo de índices de diversidad adecuados para homologarlos a índices de calidad, sometiendo organismos vivos a ensayos de laboratorio (bioensayos), o aplicación de su carácter bioindicador, entre otras metodologías.

Sin embargo, actualmente está tomando cada día más fuerza y por lo tanto es más común, la utilización de las poblaciones y comunidades de MAE para tal fin, pues presentan una serie de características favorables que los han llevado a ser preferidos por los ecólogos y limnólogos como elementos de análisis de la calidad biológica de las aguas epicontinentales. Entre otras se tienen las siguientes:

- **Tamaño relativamente grande.** Esto es válido tanto para los organismos los cuales pueden ser detectados a simple vista, como para las comunidades que generalmente presentan abundancia de poblaciones muchas con altas densidades.
- **Muestreo fácil.** Existen para la recolección de las muestras, técnicas estandarizadas, que además son muy sencillas.
- **Relativamente fáciles de identificar.** Esto facilita el trabajo de identificación en el laboratorio.
- **No se requiere de equipos costosos.** Para la toma de la muestra en la mayoría de los casos son suficientes mallas sencillas de fácil

construcción a partir de materiales que son muy económicos, si se hace necesario la utilización de dragas, también se pueden mandar a construir resultando económicas.

Para el transporte y conservación de la muestra, se utilizan frascos de boca ancha preferiblemente plásticos con alcohol. Sin embargo la identificación taxonómica puede hacerse *in situ* utilizando lupas, cuando se tiene buen conocimiento de la fauna de MAE, en este caso no es necesario el transporte al laboratorio y además resulta muy positivo para la comunidad de MAE porque no hay sacrificio de organismos, los cuales se retornan al ecosistema. Cuando el conocimiento no es suficiente, se identifican en el laboratorio utilizando estereomicroscopio, claves y guías para tal fin.

- **Ciclos biológicos lo suficientemente largos.** En la mayoría de los taxa un año o más, lo cual les permite detectar cualquier alteración ocurrida en tiempo pasado también largo, por esta razón son buenos indicadores de perturbaciones anteriores a la toma de la muestra, superando esta limitación en el caso de los muestreos puntuales en el tiempo.

Esta característica que indudablemente es una gran ventaja, se ha constituido en una aparente discordancia, al tratar de establecer comparaciones entre resultados de los análisis fisicoquímicos y el índice de calidad biológica, obtenidos en un mismo punto de muestreo en un momento determinado. La diferencia se presenta fundamentalmente por el carácter puntual en el tiempo de la caracterización fisicoquímica y desaparece cuando los monitoreos se realizan en un período amplio de tiempo y de manera continuada o permanente.

En relación con los ciclos biológicos, existió también otra crítica fundamentada en el hecho de que los métodos biológicos se basaban en la presencia o ausencia de organismos que presentan ciclos biológicos, en muchos casos anuales, lo cual llevaría a que la estructura de la comunidad dependería más de la etapa en que se encontrara el desarrollo del ciclo de una población en particular o los ciclos de las poblaciones en general, que de la calidad del agua. Esta duda queda superada en las regiones templadas con trabajos científicos como el de Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega,(1988), Zamora-Muñoz *et al.*(1995), los cuales demostraron, que los resultados obtenidos mediante el uso del índice biológico BMW para España, son independientes de la estacionalidad; de igual forma en el neotrópico, Roldán,(1980), Zamora, (1986), entre otros, han encontrado que los ciclos de las diferentes poblaciones no están sincronizados, sino que por el contrario, presentan emergencia o salida de adultos continuamente a lo largo del año, y además que su presencia y abundancia dependen más de la influencia del conjunto de factores ambientales, tanto bióticos como abióticos.

- **Reflejan las alteraciones en corto tiempo.** Especialmente los organismos estenotópicos o esteno, lo cual se manifiesta y detecta fácilmente en la magnitud y estructura de la comunidad.

- **Alta diversidad.** Debido a la alta diversidad en las aguas del neotrópico, existe una amplia gama de poblaciones que presentan en cada caso, variados grados de tolerancia frente a los diferentes niveles y parámetros de alteración. Entonces existen organismos estenotópicos muy sensibles o intolerantes a los cambios fisicoquímicos y por ello mismo, muy buenos indicadores de la calidad de las aguas, ya sean estas de buena o mala calidad según el caso, y organismos euritópicos que si bien es cierto no son buenos indicadores de calidad, si nos permiten realizar un completo análisis de la estructura de la comunidad, para de esta forma determinar la calidad biológica correcta.
- **Amplia distribución.** Lo cual permite la utilización del análisis biológico, de los ecosistemas acuáticos epicontinentales en la mayoría de las regiones del mundo.
- **Sedentarios en su mayoría.** Razón por la cual reflejan fielmente las condiciones locales, del cuerpo de agua natural objeto del análisis.
- **Se pueden cultivar en laboratorio.** De esta manera se pueden realizar bioensayos cuando sea necesario.

1.5 COMPLEMENTARIEDAD DE LOS MÉTODOS BIOLÓGICOS CON LOS MÉTODOS FISICOQUÍMICOS.

Existen varios métodos para la evaluación de la calidad biológica y monitoreo permanente de las aguas epicontinentales basados en las comunidades de MAE, que por sencillos, de rápida ejecución, económicos y alta fiabilidad de sus resultados, los hacen muy adecuados para tal fin. “Un operario puede evaluar y cartografiar muchos puntos en un solo día, con el único gasto inherente al desplazamiento. Además de vuelta al laboratorio u oficina, puede representar en un mapa la situación de calidad de los puntos visitados” Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega (1988), Zamora, (1999).

Luego de establecida y registrada en un mapa la condición de calidad biológica de las aguas en una micro o macro cuenca, después de un muestro pre evaluativo rápido, el responsable del control de la calidad del recurso hídrico, puede definir el plan de acción sobre la base de los puntos críticos o conflictivos y los que presentan una calidad biológica muy buena, buena, o aceptable, que no ameriten incurrir en gastos económicos como gasto de reactivos y tiempo de operarios que pueden ser canalizados, para determinar la fuente y características de la contaminación en los puntos críticos, señalados con base en los MAE.

En conclusión, los métodos biológicos y los fisicoquímicos son complementarios en los procesos de evaluación de la calidad de las aguas epicontinentales, pues así como los primeros presentan las características

anteriormente planteadas y explicadas, que los hacen idóneos y recomendables para tal fin; también los segundos presentan una serie de ventajas que tienen que ver con la precisión y determinación de cuáles son las sustancias contaminantes, cuantificación de las mismas, posibles soluciones etc.

Esta complementariedad permite ahorro de tiempo y mejor utilización de los recursos económicos disponibles para la gestión de los recursos hídricos e hidrobiológicos, sin embargo, la legislación ambiental no ha tenido en cuenta como debiera ser, la gran utilidad e importancia de los métodos biológicos, en especial los relacionados con el empleo de los MAE como bioindicadores cuando se quiera establecer la calidad ecológica, concepto que aparece recientemente y empieza a fortalecerse con los estudios ambientales a raíz de los programas de gestión de los recursos naturales.

Es ampliamente conocido por los limnólogos e investigadores de la estructura y función de los ecosistemas acuáticos, que una misma cantidad y concentración de determinada sustancia contaminante pueden actuar o reaccionar de distinta forma en ríos o lagos diferentes, así estos estén cercanos, pues los efectos finales que se presentan dependen de las características propias de cada cuerpo de agua, como la *capacidad de porte* determinada entre otras cosas por la magnitud o volumen del caudal y las características fisicoquímicas y biológicas de cada uno de ellos.

Desde este punto de vista es más importante establecer criterios de calidad biológica y ecológica, es decir, evaluar los efectos de las sustancias extrañas sobre la estabilidad de cada uno de los ecosistemas, que establecer la cantidad y concentración permisible de las diferentes sustancias contaminantes en los vertimientos. En este caso los índices de calidad biológica vuelven a ser de gran importancia.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo varían la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos tanto temporal como espacialmente, frente a la variación estacional representada en el nivel del caudal en el río Ovejas?

3. HIPÓTESIS

Si frente al estrés hídrico provocado por el nivel de caudal, hay un cambio en la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, entonces se espera que en la época con alto nivel hidrológico, disminuya la diversidad de taxa y aumente la densidad de algunos organismos con estrategias para resistir ciertas condiciones de estrés.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Establecer la calidad ecológica del agua, en la cuenca baja del río Ovejas, mediante la determinación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE) y la caracterización de la calidad biológica del agua mediante bioindicación.

4.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar la estructura de la comunidad de MAE, basados en la abundancia relativa y diversidad, en tres estaciones y durante dos épocas pluviales.
- Identificar las asociaciones de MAE, espacial y temporalmente y su relación con el grado de perturbación o estado de calidad del agua, mediante la aplicación de los índices de similitud, basados en el coeficiente de Bray Curtis, análisis no métrico multidimensional MDS, Biological Monitoring Working Party Score System (BMWP) y Shannon Weaver utilizados en bioindicación.
- Evaluar la calidad biológica del agua basándose en el índice biológico BMWP adaptado para Colombia, el índice ecológico de Shannon-Weaver y la estructura de la comunidad.

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 FASE DE CAMPO

5.1.1 Estaciones de muestreo. Siguiendo pautas de estudios anteriores en razón a que el estudio macro se enmarca en una actualización y complementación de la información para evaluar integralmente el área de influencia del proyecto de desviación, fueron seleccionadas tres (3) estaciones de Muestreo, teniendo en cuenta los sitios con mayor posibilidad de ser influenciados por la ejecución de las obras, definidas como:

- Estación No. 1 o Sitio de presa, río Ovejas, a 1166 msnm, GPS: N 02° 52.0' 24.6"; W 76° 36.0' 33.6".
- Estación No. 2. o Gelima, río Ovejas, "aguas abajo" del proyectado sitio de presa a 1070 msnm, GPS: N 02° 56.0' 38.0"; W 76° 40.0' 08.0".
- Estación No. 3 o Confluencia, río Ovejas a 1020 msnm, GPS: N 02° 58.0' 07.0"; W 76° 41.0' 23.3".

Los diferentes muestreos, fueron realizados mensualmente durante un periodo de 12 meses, desde Octubre de 2008, hasta Septiembre de 2009, abarcando dos épocas climáticas de la zona, caracterizadas como época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales (Baja) y época de alta intensidad de lluvias con altos caudales (Alta).

5.1.2 Caracterización Físico-química hídrica. Siguiendo los delineamientos de los términos de referencia establecidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, mediante Auto No 1223 de Diciembre 01 de 2004, los parámetros analizados fueron los siguientes:

- Relación térmica ambiental e hídrica.
- Turbiedad y su relación con los sólidos suspendidos totales (SST).
- Gases disueltos: Concentración de Oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación; Gas Carbónico disuelto.
- pH y su relación con la acidez total, hierro y la alcalinidad total.
- Dureza total y dureza carbonácea, calcio.
- Conductividad eléctrica y su relación con los sólidos disueltos totales (SDT).
- Indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica: Amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y cloruros.

- Relación entre DBO₅ y DQO.
- Sólidos totales (ST).
- Otros parámetros: Azufre, aluminio y en algunas oportunidades: mercurio y cianuros.

Para la medición de las variables, se tomaron muestras compuestas en cada estación de muestreo en recipientes plásticos de capacidad aproximada de 2L, dichas muestras fueron etiquetadas y refrigeradas.

La caracterización físico-química hídrica, se realizó con el fin de analizar la calidad de las aguas en función espacio-temporal, dimensionar el estado actual del sistema y complementar el estudio hidrobiológico.

En cada una de las estaciones seleccionadas para el desarrollo del muestreo y obtención de la información primaria, se procedió de la siguiente manera:

Para DBO₅, SST, ST, Mercurio y Cianuros, se tomaron muestras compuestas, se fijaron de acuerdo con los métodos estándar y se enviaron para ser analizadas posteriormente en el laboratorio “ECOQUIMICA”, el cual está debidamente certificado por el IDEAM según consta en las resoluciones No. 0414 de 2008 y 0916 de 2009. Adicionalmente, cuenta con certificación de ICONTEC y está avalado por la Corporación Autónoma Regional el Valle del Cauca –CVC, como Autoridad Ambiental del departamento del Valle del Cauca.

Para temperatura ambiental, temperatura del agua, concentración de oxígeno disuelto (OD), % saturación OD, pH, turbiedad y conductividad, se registraron los datos en cada zona, buscando mayor representatividad de muestreo. Se utilizaron sondas multiparamétricas de precisión marca Hach y YSI Profesional Plus debidamente calibradas y certificados por la empresas representantes en Colombia de dichas marcas.

En cuanto al Gas Carbónico disuelto, Acidez total, Alcalinidad total, Dureza Total, Dureza Carbonácea, Calcio, Hierro, Azufre, Aluminio, e indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica, se tomaron muestras compuestas y se procedió a su determinación en el sitio, utilizando kits de reactivos analíticos: Aquamerck, Aquaquant, y Spectroquant, contando para ello con un Espectrofotómetro MERCK SQ-118.

5.1.3 Colecta de los invertebrados acuáticos. Para llevar a cabo la colecta de los MAE, en cada una de las estaciones, los muestreos se realizaron empleando una red de pantalla con ojo de malla de 0.5 mm (Figura 1). En este caso, los muestreos se complementaron revisando manualmente piedras, substratos marginales, flotantes y superficiales con ayuda de pinzas, pinceles y tamices. El muestreo se dió por terminado cuando no se encontraron representantes de nuevos taxa.

Las muestras colectadas, fueron etiquetadas y transportadas en frascos plásticos con alcohol al 70%, con fecha, código, estación de muestreo, tipo de red empleada y nombre del colector o colectores.

Figura 1. Colecta de MAE con red de pantalla.



5.2 FASE LABORATORIO.

Luego de ser colectados y conservados en alcohol al 70%, los organismos, fueron separados, identificados, contados y almacenados en el laboratorio de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad del Cauca, La identificación de estos organismos se realizó hasta el nivel taxonómico más bajo posible (morfotipos dentro de cada género), con ayuda de estereoscopios y utilizando diferentes claves taxonómicas entre otras las propuestas por Roldán (1988), Merrit y Cummins (1984) y Flint (1991), McCafferty y Provonsha (1978), Pennak (1978), Rodríguez y col. (1992) y Fernández y Domínguez (2001).

5.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

5.3.1 Físico-química hídrica. Luego de realizada la caracterización físico-química hídrica y con el fin de evaluar la calidad de las aguas en función espacio-temporal con base a estos parámetros y dimensionar así el estado actual del sistema, se realiza un análisis descriptivo, asociando aquellos

parámetros que están estrechamente relacionados, todo con el fin de complementar la evaluación biológica.

De otra manera, con el fin de determinar las variables de mayor importancia para el estudio y discriminar aquellas que puedan generar ruido, se realizó una prueba multivariante de Análisis de Componentes Principales (ACP o PCA).

5.3.2 Estimación de cambios espaciales, temporales con relación a la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

5.3.2.1 Índice de similitud de Bray Curtis. Para determinar la interdependencia o asociación en cuanto a clasificación, basados en la estructura de la comunidad, se aplica el índice de similitud, basado en el coeficiente de Bray Curtis, para tal efecto son tenidas en cuenta las estaciones y épocas de muestreo, esta prueba permite comparar las poblaciones de distintos ecosistemas o de un mismo ecosistema en diferentes momentos.

La fórmula correspondiente es la siguiente: $2w Cz = a b$

Donde:

a = Suma de las poblaciones de todas las especies del ecosistema A

b = Suma de las poblaciones de todas las especies del ecosistema B

w = Suma de la población menor para cada especie presente en ambos ecosistemas.

Cuanto más próximo a 100 sean los valores obtenidos más similares serán las poblaciones.

Para su cálculo se utilizó el programa Past.

5.3.2.2 Análisis de escalamiento no métrico multidimensional MDS. Con el fin de observar la ordenación espacial de los diferentes grupos y su asociación a cada estación y época climática, se aplica un análisis de escalamiento no métrico multidimensional MDS, basado en el coeficiente de Bray Curtis.

Dicho análisis, el cual operó sobre una matriz de medidas de similitud está diseñado para encontrar, en cada dimensión especificada, la mejor representación geométrica de los datos en el espacio.

El uso del escalamiento no métrico multidimensional MDS, es parecido al del análisis factorial: por ej. se pueden puntualizar conglomerados de variables, se puede descubrir el número de dimensiones de los datos y algunas veces se pueden interpretar las dimensiones.

Para su cálculo se utilizó el programa Past.

5.3.2.3 Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). El ACC sirve para entender como diversas taxa responden simultáneamente a factores externos como las variables ambientales. El resultado del ACC es un diagrama de ordenamiento formado por un sistema de ejes donde se muestran los sitios, las especies y variables ambientales (Ter Braak & Verdonshot, 1995).

Adicionalmente, se realiza un Análisis de correspondencia sin tendencia (DCA), El cual se aplica para eliminar las distorsiones inherentes al análisis de ordenación por correspondencia.

5.3.2.4 Estructura, calidad biológica y bioindicación. Con la información obtenida directamente en los muestreos realizados durante el periodo de estudio, y con el fin de conocer la estructura, se determinó, la abundancia relativa (%), el Índice de Diversidad Biológica planteado por Shannon-Weaver (Washington, 1984), la distribución de especies y finalmente para evaluar la calidad biológica del agua, se utiliza el índice de calidad biológica BMWP, adaptado para Colombia (Zamora, 2007), todos estos cálculos, se hicieron para cada estación de muestreo, para las dos épocas y en general para toda la cuenca baja, algunos principios y ecuaciones se presentan a continuación:

5.3.2.4.1 Abundancia porcentual.

Mediante la fórmula:

$$\text{Abundancia porcentual} = \frac{\text{Número de individuos de cada morfoespecie}}{\text{Número total de individuos en la muestra}} \times 100$$

5.3.2.4.2 Índice de Shannon Weaver (H´). El índice de diversidad de Shannon permite determinar la composición de la comunidad teniendo en cuenta el número y la igualdad de especies, siendo sensible a los cambios en la abundancia de las especies raras presentes en la muestra (Moreno, 2005). Se empleo la fórmula:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde:

$$p_i = n_i / N$$

n_i = número de individuos del taxón iésimo

N = número total de individuos en la muestra

$$N = \sum n_i$$

El valor obtenido se coteja con los siguientes rangos de diversidad y clasificación de calidad de aguas (Moreno, 2005):

De 0.0 a 1.5 unidades: Muy baja diversidad.

De 1.6 a 3.0 unidades: Mediana diversidad.

De 3.1 a 5.0 unidades: Alta diversidad.

5.2.2.4.3 El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System). A la información sobre las familias de MAE representadas en las colectas se aplicó el índice de calidad biológica BMWP, adaptado para Colombia (Zamora, 2007). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System), fué propuesto por Armitage, et al . (1983), en Gran Bretaña, al amparo del “National Water Council”, con la finalidad de ser utilizado como una metodología para evaluar la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos, consiste en la ordenación de los macroinvertebrados acuáticos al nivel taxonómico de familia en diez grupos, según una escala de mayor a menor tolerancia a las alteraciones de las condiciones normales naturales de los cuerpos de agua, asignando valores entre uno y diez puntos respectivamente.

Alba-Tercedor & Jiménez-Millán (1987) realizaron una primera adaptación del sistema para la Península Ibérica. Como el índice solo permitía obtener unas puntuaciones para comparar situaciones de calidad pero no para emitir juicios respecto de la misma, Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega, (1988), correlacionaron los valores del BMWP con cinco grados de contaminación, asignándoles además una significación de la misma en cada caso. La última actualización para España, de este índice se presenta en “Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los rios” (Alba Tercedor, 1996). Este índice ha sido adaptado para Colombia por Zamora, 1999, Roldán, 2003 y Zamora, 2007.

Para el cálculo del BMWP, se identificaron los macroinvertebrados acuáticos hasta el nivel de familia. A cada familia se le asignó su respectivo puntaje, en este caso se trabajó con los puntajes sugeridos para Colombia por Zamora (2007).

Los puntajes se sumaron y de esta manera se obtuvo el valor del BMWP.

Tabla 4. Sistema para la determinación del Índice de Monitoreo Biológico – BMWP (Tomado de Zamora 2007).

Orden	Familia	Puntaje
Plecoptera	Perlidae	10
Ephemeroptera	Oligoneuridae, Euthyplociidae, Polymtarcyidae.	
Trichoptera	Odontoceridae, Glossosomatidae, Rhyacophilidae, Calamoceratidae, Hydroptilidae, Anomalopsychidae, Atriplectididae..	
Coleoptera	Psephenidae, Ptilodactylidae, Lampyridae.	
Odonata	Polythoridae.	
Diptera	Blepharoceridae.	
Unionoida	Unionidae. (Cl: Bivalvia o Pelecypoda)	
<i>Acari</i>	Lymnessiidae. (Cl: Arachnoidae o Hidracarina).	
Hidroida	Hidridae. (Cl: Hydrozoa)	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae, Efemeridae.	
Tricoptera	Hydrobiosidae, Philopotamidae, Xiphocentronidae.	
Coleoptera	Gyrinidae. Scirtidae.	
Odonata	Gomphidae, Megapodagrionidae, Coenagrionidae..	
Diptera	Simullidae.	
Gordioidae	Gordiidae, Chordodidae. (Cl: Nematomorpha)	
<i>Lepidoptera</i>	Pyralidae	
Mesogastropoda	Ampullariidae. (Cl: Gastrópoda).	
Hirudiniformes	Hirudinae. (Cl: Hirudinea)	
Ephemeroptera	Baetidae, Caenidae,	8
Trichoptera	Hidropsychidae, Leptoceridae, Helicopsychidae.	
Coleoptera	Dytiscidae, Dryopidae.	
Odonata	Lestidae, Calopterygidae.	
Hemiptera	Pleidae. Saldidae, Guerridae, Veliidae, Hebridae	
Diptera	Dixidae.	
Decápoda	Palaemonidae, Pseudothelphusidae. (Cl Crustácea)	
Basommatophora	Chilinnidae. (Cl: Gastrópoda)	
Ephemeroptera	Tricorythidae, Leptohiphidae.	7
Trichoptera	Polycentropodidae.	
Coleoptera	Elmidae, Staphylinidae	
Odonata	Aeshnidae.	
Hemiptera	Naucoridae, Notonectidae, Mesovelidae, Corixidae.	
Diptera	Psychodidae	
Basommatophora	Ancylidae, Planorbidae. (Cl: Gastrópoda)	
Mesogastropoda	Melaniidae, Hydrobiidae, (Cl: Gastrópoda)	
Archeogastrópoda	Neritidae. .. (Cl: Gastrópoda)+	

Tabla 4 (Continuación)

Orden	Familia	Puntaje
Coleoptera Odonata Hemiptera Diptera Megalóptera Decapoda Anphipoda Tricladida	Limnichidae, Lutrochidae. Libellulidae, Belostomatidae, Hydrometridae, Gelastocoridae, Nepidae, Dolichopodidae. Corydalidae, Sialidae.. Atyidae. . (Cl Crustácea) Hyalellidae. . (Cl Crustácea) Planariidae, Dugesiiidae..	6
<i>Coleóptera</i> <i>Diptera</i> Basommatophora	Chrysomelidae, Haliplidae, Curculiónidae. Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae. Thiaridae. (Cl: Gastrópoda)	5
<i>Coleoptera</i> <i>Diptera</i> Basommatophora	Hidrophilidae, Noteridae, Hydraenidae, Noteridae. Tipulidae, Ceratopogonidae. Limnaeidae, Sphaeridae.. (Cl: Gastrópoda).	4
<i>Diptera</i> Basommatophora Glossiphoniiformes	Culícidae, Muscidae, Sciomizidae. Physidae. (Cl: Gastrópoda). Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Cylicobdellidae	3
<i>Diptera</i> <i>Heplo-taxida</i>	Chironomidae, Ephydriidae, Syrphidae. Todas las familias (Excepto tubifex)	2
<i>Haplo-taxida</i>	Tubificidae (Tubifex)	1

Clases, Valores y Características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP.

Clase	Rango	Calidad	Características	Color Cartográfico
I	≥121	Muy Buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro 
II	101 -120	Buena	Aguas limpias	Azul claro 
III	61 - 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde 
IV	36 - 60	Dudosa	Aguas Contaminadas	Amarillo 
V	16 - 35	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja 
VI	≤ 15	Muy crítica	Aguas Fuertemente contaminadas	Rojo 

6. RESULTADOS.

6.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

6.1.2 Localización y descripción del área de muestreo. El río Ovejas nace en el sitio denominado Piedramesa, en el municipio de Silvia, a 2.950 msnm, presenta un sistema de drenaje dendrítico, con un cauce de longitud aproximado a 71,5 Kilómetros.

La cuenca corresponde a la Región Fisiográfica de las Depresiones Interandinas, particularmente a la del valle del Cauca, caracterizado por mesetas disectadas y colinas de piedemonte con modelado de erosión diferencial, dicha cuenca está localizada en el departamento del Cauca, entre los 2° 36' y 3° 00' Latitud Norte y entre 76° 20' y 76° 44' Longitud Oeste, comprendiendo un área de 105.756 Hectáreas, que incluye los ríos Ovejas (49.765 Has), Mondomo (25.416 Has.) y Pescador (19.525 Has).

Desde el punto de vista administrativo ambiental se encuentra en el área de jurisdicción de la C.V.C. y constituye una las unidades de manejo de cuenca (UMC). Los límites naturales de la cuenca son por el Norte el divorcio de aguas de los ríos Teta y Quinamayó, por el Sur el divorcio de aguas del río Piendamó, por el Este el divorcio de aguas del río Jambaló y por el Oeste el río Cauca, la figura 2, indica la localización general del área de estudio en el Departamento del Cauca.

La zona de estudio, se localiza en en una zona de vida en transición entre el bosque húmedo Premontano (bh-PM) al sur y un bosque seco Basal (bs-B) al norte, caracterizándose por tierras de relieve quebrado a escarpado, con pendientes de 50-60%, con suelos profundos, de regular estabilidad geológica y moderada a alta erosión. Los suelos corresponden a la fase SUf3, localizados en la unidad climática medio seca, caracterizados por la presencia de sedimentos heterogéneos mezclados localmente con cenizas del tipo Dystropept esencialmente (Tomado: Informe final).

6.1.3 Clima. En términos generales la región tiene un clima tropical húmedo influenciado en forma local por la Cordillera de los Andes, el Océano Pacífico y la Cuenca del Amazonas. Normalmente las precipitaciones en el área son breves e intensas, lo que origina crecientes de caudales altos pero de corta duración en los ríos y quebradas de la zona.

A nivel anual multianual, la Cuenca del Río Ovejas presenta en su parte más alta, precipitaciones del orden de 1400 mm, las cuales aumentan gradualmente a medida que se desciende, hasta llegar a valores de 2000 a 2100 mm en las Estaciones de Piendamó y La Aguada, 2300 mm en la Estación de Mondomo, 2400 mm en la zona de estudio y unos 2600 mm en la zona del Embalse de Salvajina y la cabecera municipal de Suárez.

Figura 3 .Cuenca baja del río Ovejas.



6.2 DESCRIPCION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO.

Siguiendo pautas de estudios anteriores en razón a que el estudio macro se trata de una actualización y complementación de la información para evaluar integralmente el área, fueron seleccionadas tres (3) Estaciones de Muestreo, teniendo en cuenta los sitios con mayor posibilidad de ser influenciados por la ejecución de las obras del proyecto de desviación.

A continuación se describen cada una de las Estaciones o sitios de Muestreo:

6.2.1 Estación No. 1. Sitio de presa (Figuras 4 y 5). Ubicada en el río Ovejas, sector donde se proyecta la construcción de una presa para la captación y potencial derivación de las aguas del río Ovejas hacia el embalse “La Salvajina”.

Altura sobre el nivel del mar: 1166 metros. GPS: N 02° 52.0' 24.6 " ; W 76° 36.0' 33.6".

Esta estación presentó mejor disponibilidad de hábitat, al ofrecer mayor variedad de sustratos de adherencia, como: cantos rodados y guijarros, material orgánico particulado fino y grande, vegetación herbácea, arbustiva, arbórea y hojarasca en el fondo del lecho, los cuales sirven como refugio y alimento para los MAE.

El lecho, tiene un elevado porcentaje del sustrato combinado entre piedra-hojasca y vegetación ribereña, tiende a ser rocoso en el centro del río y pedregoso-arenoso en los márgenes.

Figura 4.



Figura 5.



Figuras 4 y 5. Estación 1, río Ovejas, sitio de presa.

6.2.2 Estación No. 2. Gelima Río Ovejas, “aguas abajo” del proyectado sitio de presa o estación 1, (Figura 6), dicha estación se caracteriza por una disminución de velocidad del cauce debido a una presa para generación de energía, la vegetación ribereña es escasa, el sustrato es pedregoso y arenoso (Figura 7).

Altura sobre el nivel del mar: 1070 metros. GPS: N 02° 56.0' 38.0"; W 76° 40.0' 08.0".

Figura 6.



Figura 7.



Figuras 6 y 7. Estación 2, río Ovejas, sector Gelima.

6.2.3 Estación No. 3. Confluencia.

Río Ovejas, sitio de confluencia con el río Cauca en inmediaciones del sitio proyectado de entrada del río Ovejas al embalse captador de aguas (Figuras 8 y 9).

Altura sobre nivel del mar: 1020 metros. GPS: N 02° 58.0' 07.0 " ; W 76° 41.0' 23.3".

El sustrato es pedregoso-arenoso, con zonas de rápidos, vegetación ribereña y aporte de hojas troncos y abundante material particulado.

Figura 8



Figura 9



Figuras 8 y 9. Estación 3, río Ovejas, sector confluencia

6.3 CAUDALES.

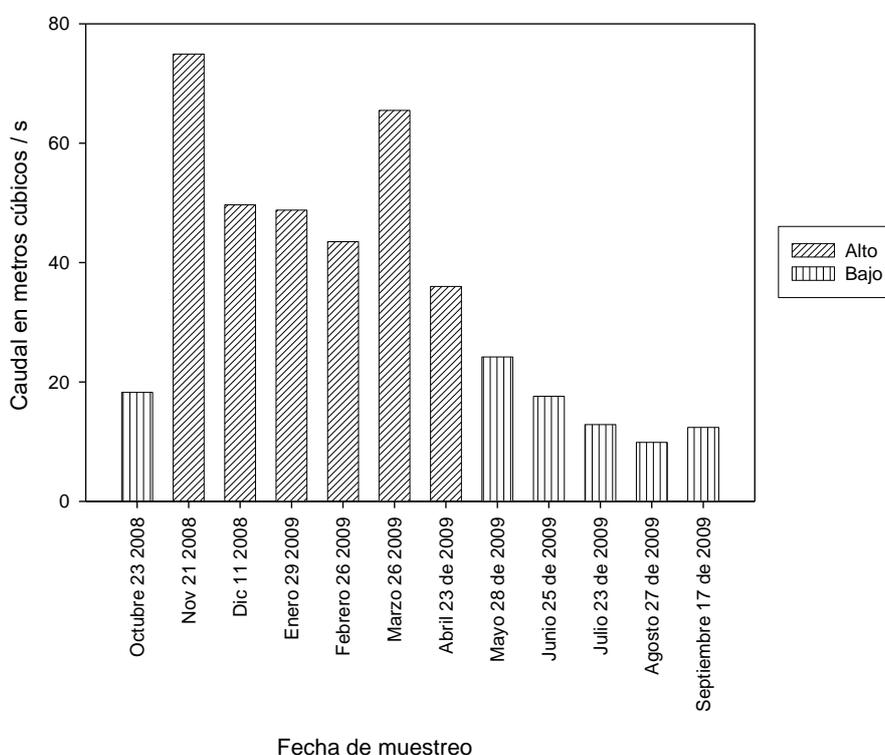
Los diferentes muestreos se realizaron mensualmente durante 12 meses, para cada mes, se determinó el caudal instantáneo (tabla 5), el periodo de muestreo abarcó dos épocas climáticas de la zona, determinadas como época de baja intensidad de lluvias caracterizada por bajos caudales y época de alta intensidad de lluvias caracterizada por altos caudales, distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 5. Distribución del nivel del caudal y épocas durante el periodo de estudio.

No.	Fecha de muestreo	Caudal m ³ /s	Época
1	Octubre 23 2008	18.25	Bajo
2	Nov 21 2008	74.92	Alto
3	Dic 11 2008	49.66	Alto
4	Enero 29 2009	48.78	Alto
5	Febrero 26 2009	43.5	Alto
6	Marzo 26 2009	65.5	Alto
7	Abril 23 de 2009	36.0	Alto
8	Mayo 28 de 2009	24.2	Bajo
9	Junio 25 de 2009	17.59	Bajo
10	Julio 23 de 2009	12.85	Bajo
11	Agosto 27 de 2009	9.87	Bajo
12	Septiembre 17 de 2009	12.38	Bajo

De acuerdo con los estudios climáticos y de caudales del presente estudio, los meses de Noviembre de 2008 a Abril de 2009 correspondieron a períodos de lluvias y caudales altos, el mes de Octubre de 2008, al igual que los meses comprendidos entre Mayo y Septiembre de 2009, correspondieron a un periodo de baja lluvia y bajo caudal, en la figura 10, se encuentra la distribución de las dos épocas de acuerdo a los caudales instantáneos.

Figura 10. Caudales instantáneos encontrados y épocas.



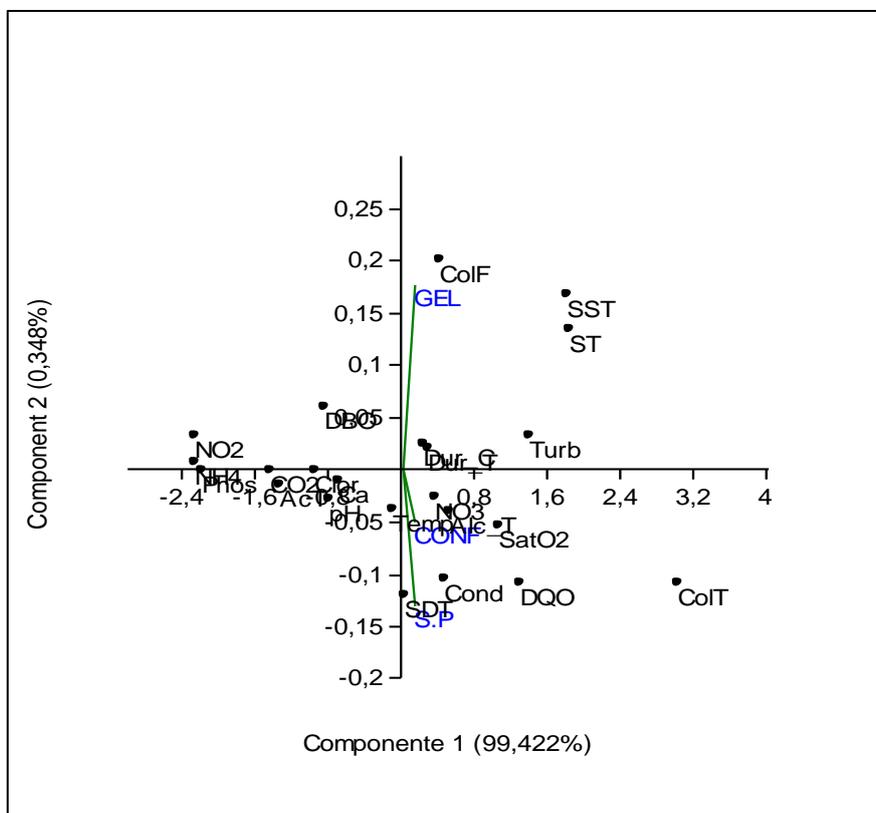
De Noviembre al mes de Abril los caudales del río Ovejas tuvieron una frecuencia alta, lo cual se manifestaba con velocidades altas del río en las tres estaciones, por lo que el transporte de material vegetal y sedimentos, afectaron en cierta medida las características físico-químicas y biológicas del río. Particularmente se observaron cambios significativos en cuanto a los sólidos suspendidos y la turbiedad.

Podemos decir en cuanto a esto que tanto espacial como temporalmente, el río Ovejas experimentó cambios en relación con el flujo de agua, y la velocidad de la corriente (caudal) en relación directa con los cambios pluviométricos, factor que pudo afectar el desarrollo y distribución de las comunidades de macroinvertebrados y que se evidencia más adelante en las pruebas realizadas para la estructura de la comunidad de acuerdo a la época.

6.4 FISICO-QUIMICA HÍDRICA.

Durante el tiempo de estudio y las diferentes estaciones, no se presentó un cambio sustancial en cuanto a las condiciones físico-químicas del sistema, se realiza un análisis de componentes principales (Figura 11) con el fin de poder establecer las posibles asociaciones entre estaciones, los parámetros físico-químicos analizados.

Figura 11. Análisis de Componentes Principales (ACP) para parámetros físico-químicos hídricos.



A continuación se presenta la Tabla 6, donde aparecen consignados los parámetros físico-químicos para cada estación, valor promedio, desviación estándar y coeficiente de variabilidad.

Tabla 6: Datos promedio físico-químicos para las estaciones durante el periodo de estudio.

PARAMETRO	SITIO DE PRESA	GELIMA	CONFLUENCIA	Prom.	D.S	C.V
T. del Agua ° C	19,66	18,40	19,20	19,09	0,64	3,33
Turbiedad UNT	102,83	151,01	190,42	148,09	43,87	29,62
Sólidos Susp. Totales (SST) - mg/L	161,30	347,29	267,67	258,76	93,31	36,06
Transparencia m	0,19	0,16	0,15	0,17	0,02	13,52
Oxígeno Disuelto mg OD/L	8,24	7,29	7,16	7,56	0,59	7,79
Porcentaje de sat. O ₂ %	96,94	89,83	88,52	91,76	4,53	4,94
Dioxido de Carbono (CO ₂) mgCO ₂ /L	2,25	2,33	2,65	2,41	0,21	8,83
pH Unidades	7,48	6,82	6,78	7,03	0,39	5,56
Acidez Total mg CaCO ₃ /L	2,80	2,71	3,03	2,85	0,16	5,79
Alcalinidad Total mg CaCO ₃ /L	46,42	44,13	43,83	44,79	1,41	3,16
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	28,65	34,90	35,92	33,16	3,94	11,87
Dureza Carbonacea mg CaCO ₃ /L	26,01	32,12	33,04	30,39	3,82	12,57
Calcio mgCa ²⁺ /L	8,17	8,08	7,84	8,03	0,17	2,10
Amonio mg(NH ₄ ⁺)/L	0,13	0,13	0,20	0,15	0,04	24,80
Nitritos mg(NO ₂ ⁻)/L	0,07	0,16	0,18	0,14	0,06	43,33
Nitratos mg(NO ₃ ⁻)/L	36,08	35,93	35,94	35,98	0,09	0,24
Fosfatos mg(PO ₄ ²⁻)/L	0,24	0,20	0,29	0,24	0,04	17,32
Cloruros mg(Cl ⁻)/L	5,25	5,56	5,98	5,60	0,37	6,55
Conductividad µMhos/cm	46,21	36,38	44,46	42,35	5,24	12,38
Sólidos Disueltos Totales (SDT) mg/L	25,16	18,80	26,42	23,46	4,08	17,41
Sólidos Totales (ST) mg/L	171,96	337,06	286,95	265,32	84,65	31,90
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) mgO/L	6,96	7,85	4,77	6,53	1,59	24,30
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mgO/L	137,17	110,39	129,92	125,82	13,85	11,01
Hierro mgFe/L	0,17	0,20	0,19	0,19	0,02	10,12
Azufre (S) mgS/L	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	32,16
Mercurio (Hg) mgHg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,65
Aluminio (Al) mgAl/L	0,04	0,04	0,06	0,05	0,01	18,49
Coliformes totales (NMP, microg./100ml)	1340,00	1162,45	1267,78	1256,74	89,29	7,10
Coliformes fecales (NMP, microg./100ml)	35,75	64,60	25,94	42,10	20,10	47,74

*Prom: promedio; *D.S: Desviación estándar; *C.V: Coeficiente de variabilidad.

A continuación se presenta la Tabla 7, donde aparecen consignados los parámetros físico-químicos para cada época, valor promedio, desviación estándar y coeficiente de variabilidad.

Tabla 7: Datos promedio físico-químicos para las épocas durante el periodo de estudio.

PARAMETRO	EPOCA BAJA	EPOCA ALTA	Prom	D.S	C.V
T. del Agua ° C	20,58	19,56	20,07	0,72	3,60
Turbiedad UNT	116,44	184,33	150,39	48,00	31,92
Sólidos Susp. Totales (SST) - mg/L	164,81	345,33	255,07	127,64	50,04
Transparencia m	0,20	0,18	0,19	0,01	6,47
Oxígeno Disuelto mg OD/L	7,65	8,21	7,93	0,40	5,03
Porcentaje de sat. O ₂ %	93,01	99,44	96,23	4,55	4,73
Dioxido de Carbono (CO ₂) mgCO ₂ /L	2,78	2,25	2,51	0,37	14,78
pH Unidades	7,33	7,46	7,40	0,09	1,22
Acidez Total mg CaCO ₃ /L	3,18	2,75	2,97	0,31	10,36
Alcalinidad Total mg CaCO ₃ /L	47,63	45,00	46,32	1,86	4,02
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	27,36	40,89	34,13	9,57	28,03
Dureza Carbonacea mg CaCO ₃ /L	24,79	37,80	31,29	9,20	29,41
Calcio mgCa ⁺² /L	8,22	8,50	8,36	0,20	2,35
Amonio mg(NH ₄ ⁺)/L	0,07	0,23	0,15	0,11	71,49
Nitritos mg(NO ₂ ⁻)/L	0,11	0,16	0,13	0,03	25,33
Nitratos mg(NO ₃ ⁻)/L	39,89	33,89	36,89	4,24	11,50
Fosfatos mg(PO ₄ ⁻²)/L	0,15	0,31	0,23	0,11	47,82
Cloruros mg(Cl ⁻)/L	6,67	4,83	5,75	1,30	22,55
Conductividad µMhos/cm	46,83	40,53	43,68	4,45	10,19
Sólidos Disueltos Totales (SDT) mg/L	26,92	21,30	24,11	3,97	16,48
Sólidos Totales (ST) mg/L	145,88	366,63	256,26	156,10	60,91
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) mgO/L	6,08	7,02	6,55	0,66	10,12
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mgO/L	124,11	130,50	127,31	4,52	3,55
Hierro mgFe/L	0,17	0,21	0,19	0,03	13,26
Azufre (S) mgS/L	0,00	0,01	0,00	0,00	66,00
Mercurio (Hg) mgHg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminio (Al) mgAl/L	0,03	0,06	0,04	0,02	40,61
Coliformes totales (NMP, microg./100ml)	1203,33	1467,33	1335,33	186,68	13,98
Coliformes fecales (NMP, microg./100ml)	61,67	6,67	34,17	38,89	113,83

*Prom: promedio; *D.S: Desviación estándar; *C.V: Coeficiente de variabilidad.

6.5 MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS EPICONTINENTALES.

6.5.1 Sinopsis. Para toda la zona y durante todo el periodo estudiado, se encontró un total de 2856 individuos, pertenecientes a 49 géneros, agrupados en 30 familias y 11 órdenes, la Tabla 8, presenta una sinopsis de los taxa encontrados para cada una de las tres estaciones.

Tabla 8. Sinopsis taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos colectados en las tres estaciones.

PHYLUM/ ORDEN	CLASE/ FAMILIA	GÉNERO	EST 1. SITIO DE PRESA	EST 2. GELIMA	EST 3. CONFLUENCIA	
ARTHROPODA Diptera	INSECTA	Simuliidae	<i>Simulium</i>	*	*	*
		Tipulidae	<i>Hexatoma</i>			*
Tricoptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i> Mf 1	*	*	*	
		<i>Chironomus</i> Mf 2			*	
	Dolichopodidae	<i>Rhaphium</i>	*			
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	*	*	*	
		<i>Smicridea</i>	*	*	*	
		<i>Helicopsyche</i>	*			
	Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	*		*	
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	*			
	Plecoptera	Glossosomatidae	<i>Mortoniella</i>	*	*	*
			<i>Anacroneuria</i>	*	*	*
Efemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>	*	*		
		<i>Baetodes</i>	*	*	*	
		<i>Camelobaetis</i>		*		
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	*	*	*	
		<i>Travelera</i>	*	*	*	
		<i>Terpides</i>	*	*	*	
		Mf 3	*	*	*	
	Tricorythidae	<i>Tricorytodes</i>	*	*	*	
	Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	*	*	*	
	Oligoneuridae	<i>Lachlania</i>	*	*		
Hemiptera	Veliidae	<i>Microvelia</i>		*		
		<i>Rhagovelia</i>	*	*	*	
	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>	*	*	*	
		<i>Heleocoris</i>	*			
		<i>Limnocoris</i>	*	*	*	

Tabla 8. (Continuación)

PHYLUM/ ORDEN	CLASE/ FAMILIA	GÉNERO	EST 1. SITIO DE PRESA	EST 2. GELIMA	EST 3. CONFLUENCIA	
Coleoptera	Psephenidae	<i>Psephenops</i>	*		*	
	Dryopidae	<i>Elmoparnus</i>				*
		<i>Macrelmis</i>		*	*	*
		<i>Heterelmis</i>		*		*
		<i>Cylloepus</i>			*	*
		<i>Disersus</i>			*	
		<i>Microcylloepus</i>		*		*
		Mf 4		*		*
		Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	*	*	*
	Lutrochidae	<i>Lutrochus</i>			*	
	Lampyridae	Mf 5		*		
	Neuroptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>	*	*	*
	Odonata	Libellulidae	<i>Macrothemis</i>	*	*	*
<i>Dythemis</i>					*	
<i>Tramea</i>				*	*	
Calopterygidae		<i>Hetaerina</i>	*			
Gomphidae		<i>Progomphus</i>	*	*		
ANNELIDA OLIGOCHAETA Haplotaxida	Glossoscolécidae	<i>Aelosoma</i>	*		*	
	Naididae	<i>Slavina</i>		*		
HIRUDINEA Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	Mf 6	*			
<i>Cylicobdella</i>				*		
PLATYHELMINTHES TURBELLARIA	Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>	*		

En total acumulado para la zona de estudio, durante las dos épocas (**Figura 12**), los géneros más abundantes fueron: *Thraulodes* con el 14,74%, perteneciente a la familia Leptophlebiidae, *Anacroneuria* con 14,6%, perteneciente a la familia Perlidae, seguido en tercer lugar *Leptonema* con 9,84%, perteneciente a la familia Hydropsychidae. En el cuanto a las familias, se encuentran dominantes Leptophlebiidae con 24,30%, Hidropsychidae con 19,19% y Perlidae con 14,60%, la distribución de las familias de encuentra en la **Figura 13**.

Figura 12. Total acumulado de géneros de macroinvertebrados colectados para la zona de estudio y las dos épocas.

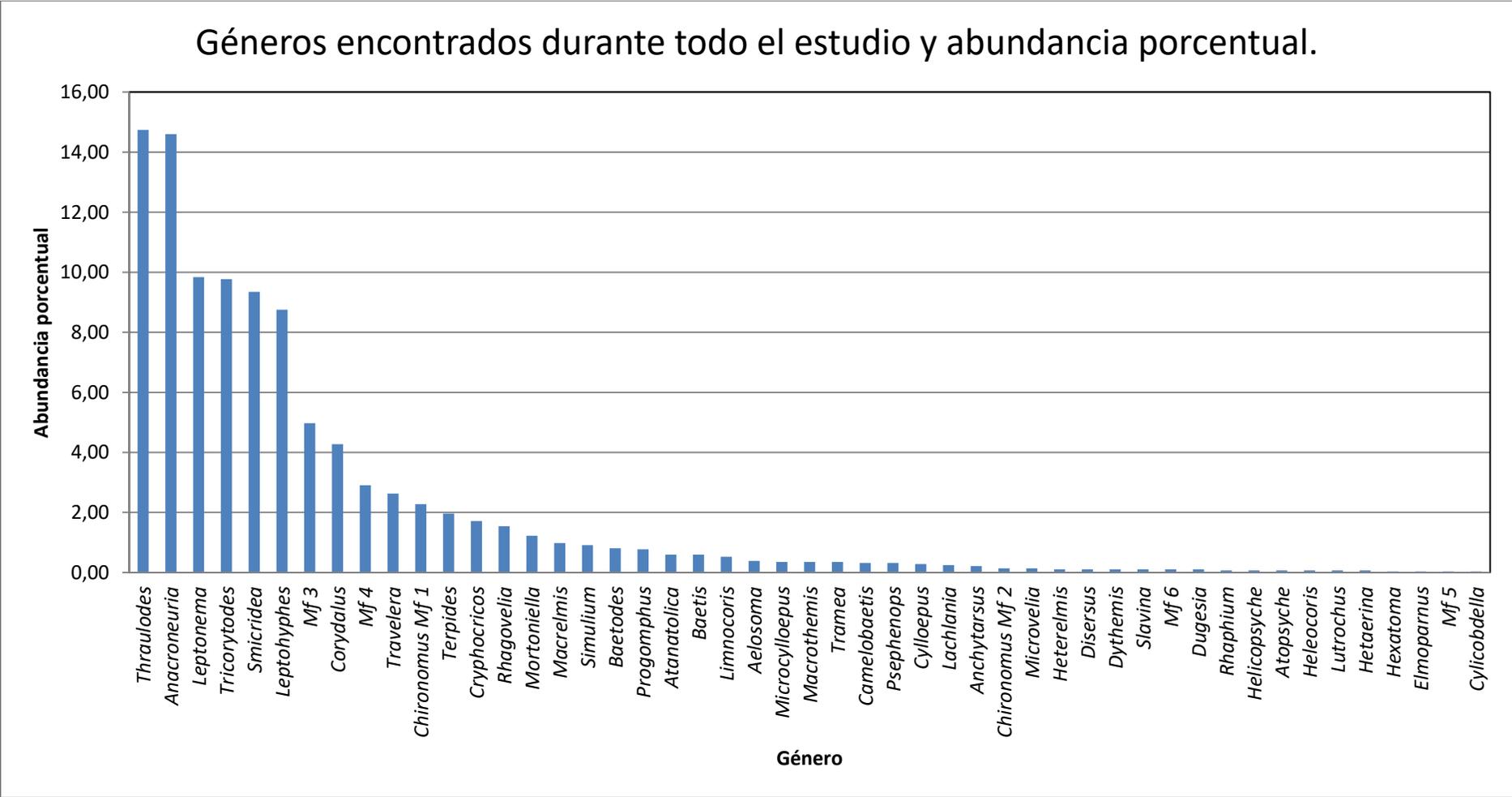
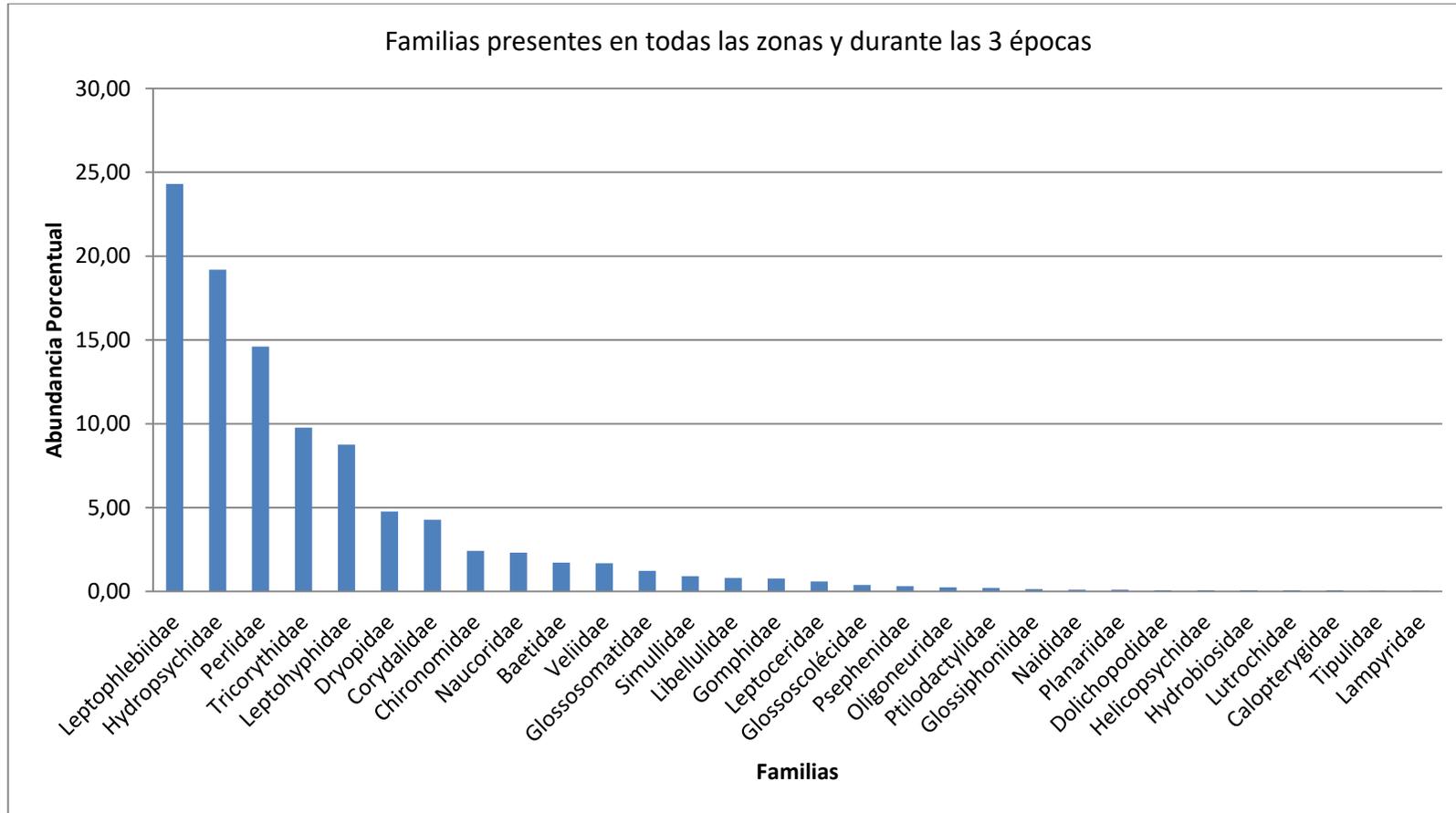


Figura 13. Total acumulado de familias de macroinvertebrados colectados para la zona de estudio y las dos épocas.

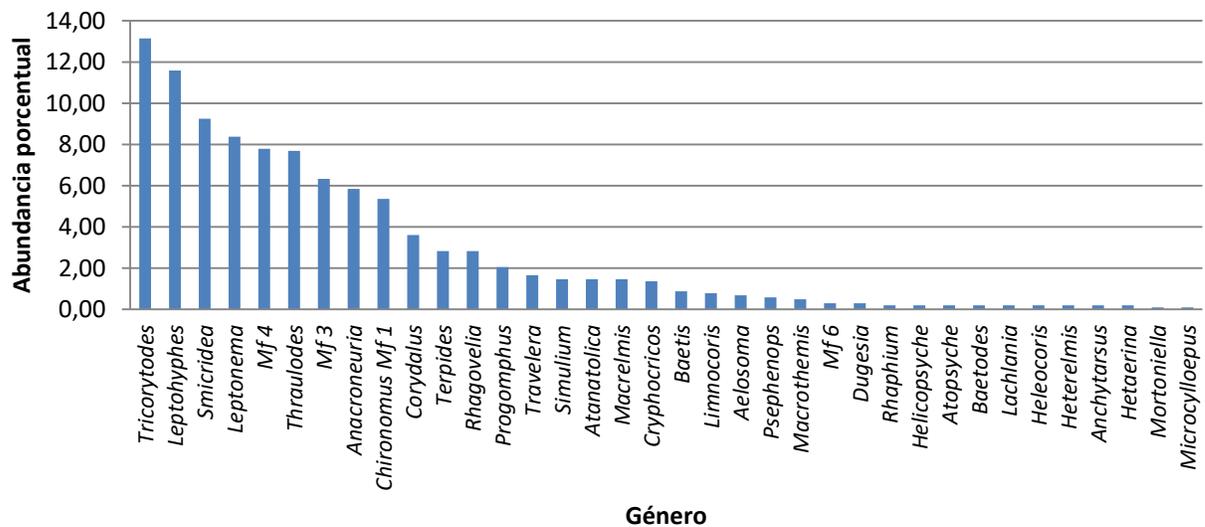


6.5.2 Abundancias relativas o porcentuales

6.5.2.1 Estaciones y épocas.

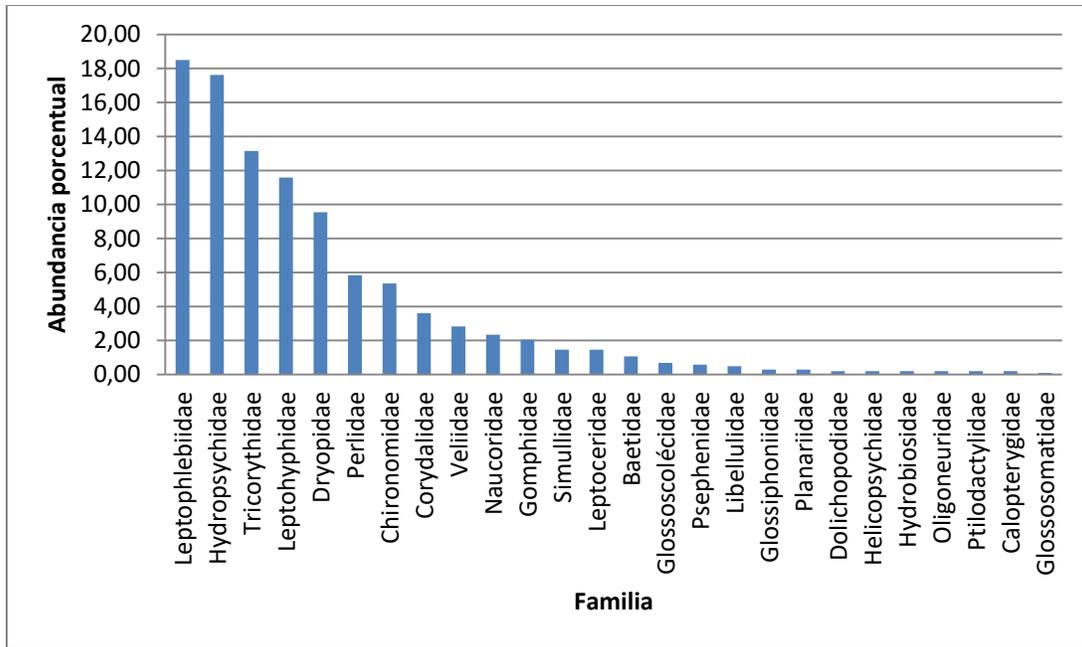
6.5.2.1.1 Sitio de presa o estación 1 para las dos épocas. En total, se hallaron en total de 1027 individuos, pertenecientes a 36 géneros, agrupados en 26 familias y 11 órdenes, siendo los géneros más representativos para las dos épocas *Tricorytodes* con 13,15%, *Leptohyphes* con 11,59% y *Smicridea* con 9,25%, los resultados de encuentran en la Figura 14.

Figura 14. Géneros dominantes en la estación 1 o sitio de presa para las dos épocas.



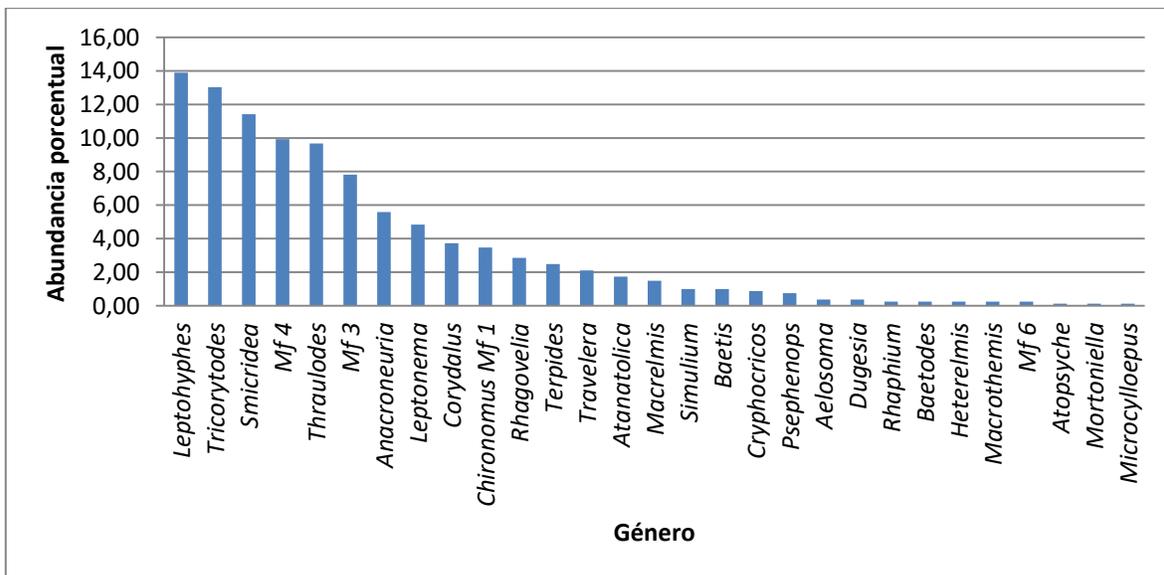
En cuanto a las familias más abundantes para la estación 1, durante las dos épocas, encontramos en su orden, Leptophlebiidae representando el 18.5% de la muestra, seguido por Hydropsychidae con 17.62%, seguida de Tricorythidae con 13.15%, la distribución de todas las familias se encuentran en la Figura 15.

Figura 15. Familias dominantes encontradas en la estación 1 o Sitio de presa, durante todo el estudio.



6.5.2.1.2 Sitio de presa o estación 1 para época baja. Se encuentran dominando para esta época (Figura 16) los géneros *Leptohyphes* con 13,9%, seguido de *Tricorytodes* con 13,03% seguido de *Smicridea* con 11,41%.

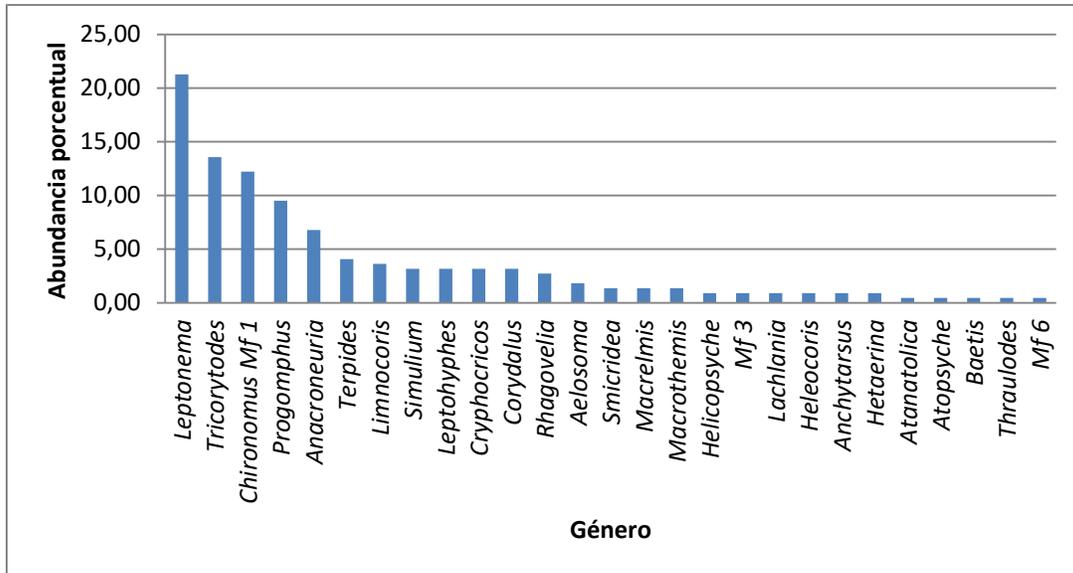
Figura 16. Géneros dominantes para el Sitio1, época baja.



6.5.2.1.3 Sitio de presa o estación 1 para época alta.

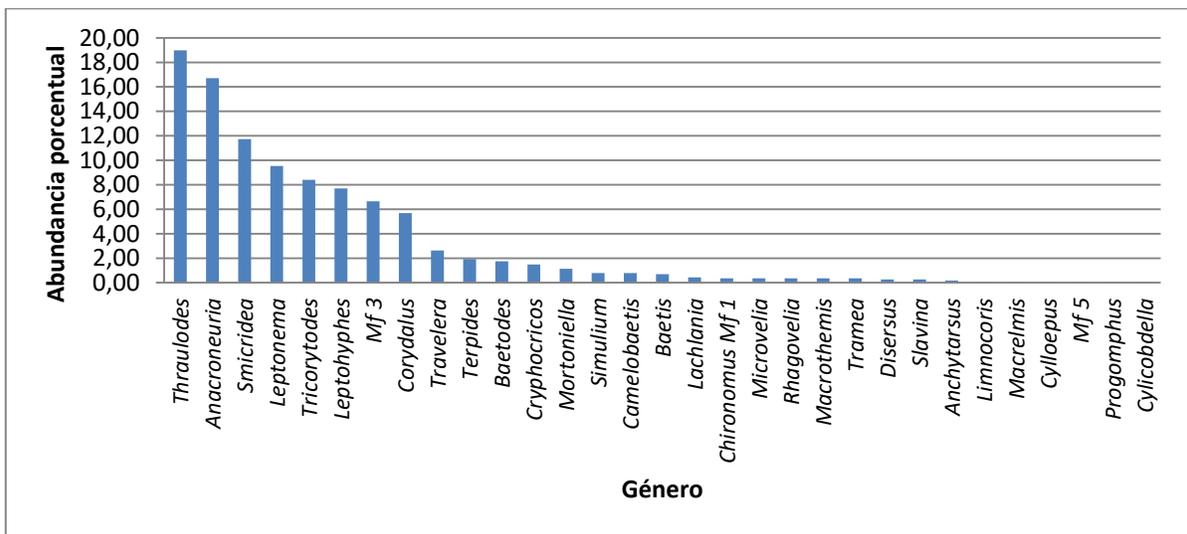
Se encuentran dominando para esta época (Figura 17), los géneros *Leptonema* con 21,27%, *Tricorytodes* con 13,57% y *Chironomus Mf 1* con 12,22%.

Figura 17. Géneros dominantes para la estación 1, época alta.



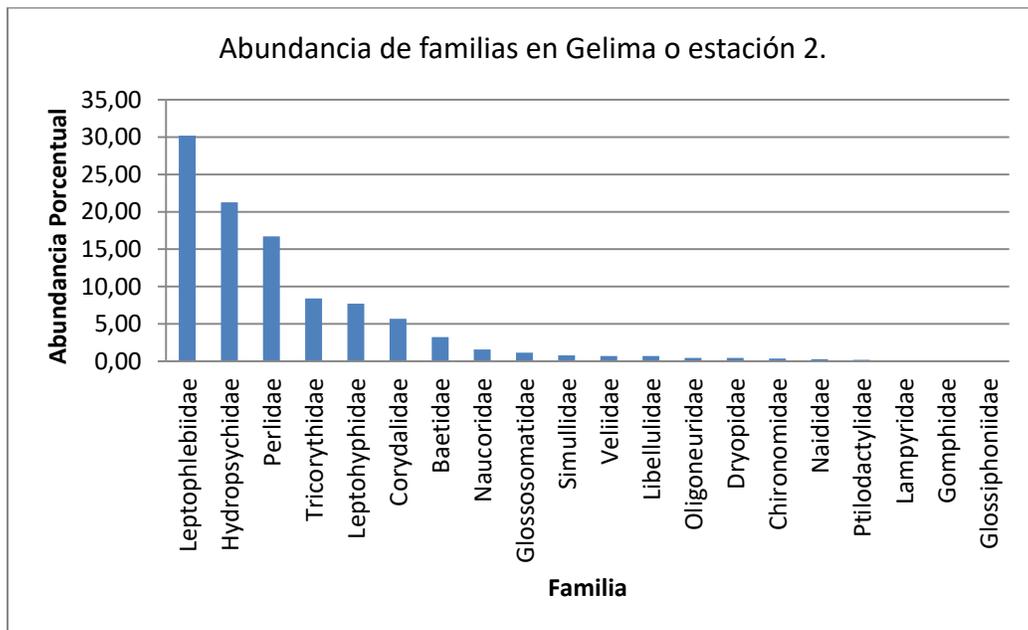
6.5.2.1.4 Sitio de Gelima o estación 2 para las dos épocas. En total se capturaron en total 1143 individuos, pertenecientes a 31 géneros, de 20 familias en 10 órdenes, siendo los géneros más abundantes (Figura 18), *Thraulodes* con 18,99%, *Anacroneuria* con 16,71% y *Smicridea* con 11,72%.

Figura 18. Géneros dominantes para la estación 2, durante las dos épocas.



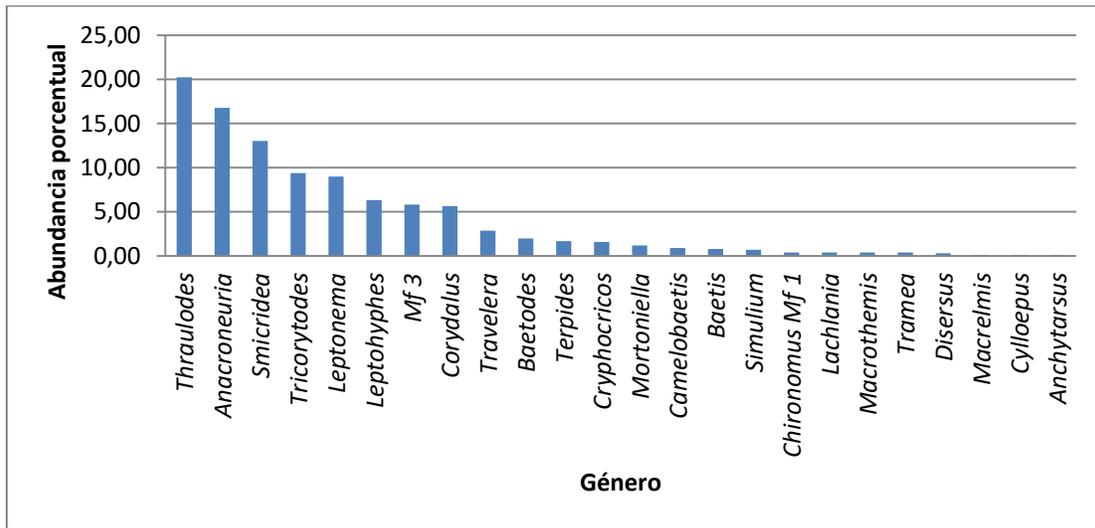
En cuanto a las familias dominantes, estuvieron representadas por Leptophlebiidae 30.18%, Hydropsychidae 21.26% y Perlidae 16.71% (Figura 19).

Figura 19. Familias dominantes encontradas en la estación 2 o Gelima, durante todo el estudio.



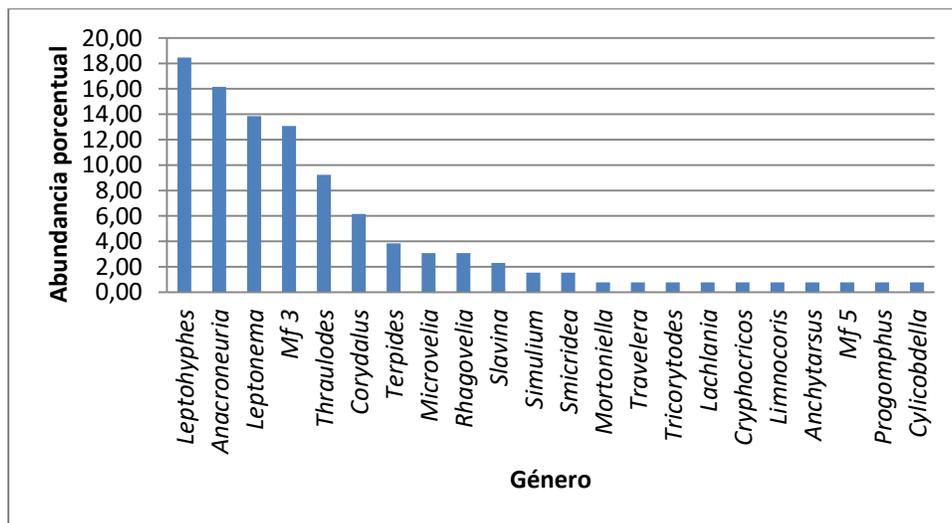
6.5.2.1.5 Sitio de Gelima o estación 2 para la época baja. Dominaron *Thraulodes* con 20,24%, *Anacroneuria* con 16,78 y *Smicridea* con 13,03%, los resultados en la Figura 20.

Figura 20. Géneros dominantes para la estación 2, durante la época baja.



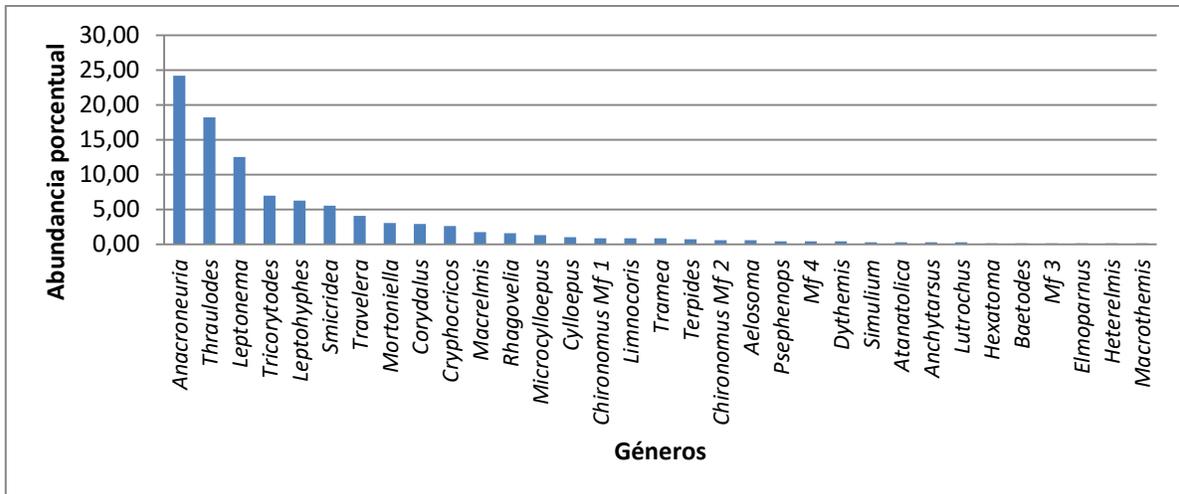
6.5.2.1.6 Sitio de Gelima o estación 2 para la época alta. Se encuentran dominando para esta época *Leptohyphes* con 18,46%, *Anacroneuria* con 16,15 y *Leptonema* con 13,85%, los resultados en la Figura 21.

Figura 21. Géneros dominantes para la estación 2, durante la época alta.



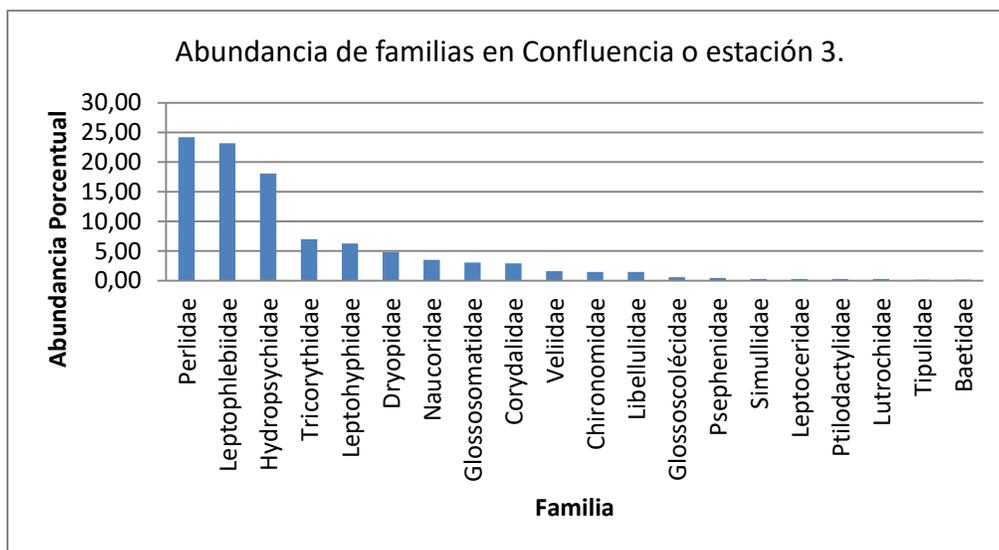
6.5.2.1.7 Sitio de Confluencia o Estación 3 para las dos épocas. Se encontraron para las dos épocas en total de 686 individuos, pertenecientes a 33 géneros, agrupados en 20 familias y 9 órdenes, como se puede observar en la Figura 22, se destacaron en abundancia los géneros *Anacroneuria* con 24,2%, *Thraulodes* con 18,22% y *Leptonema* con 12,54%.

Figura 22. Géneros dominantes para la estación 3, durante las dos épocas.



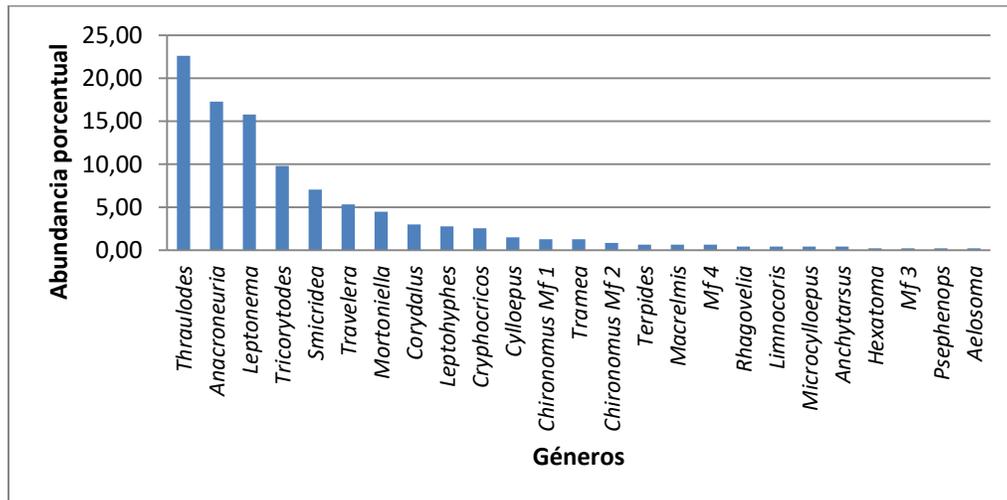
Como podemos observar en la Figura 23, en cuanto a las familias dominantes en esta estación fueron Perlidae 24.20%, Leptophlebiidae 23.18%, e Hydropsychidae con 18.08%.

Figura 23. Familias dominantes encontradas en la estación 3 o Confluencia, durante todo el estudio.



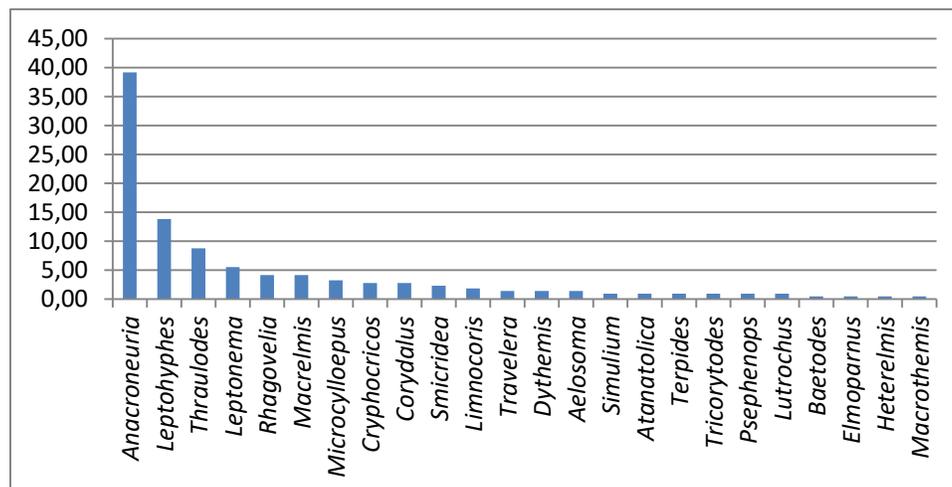
6.5.2.1.8 Sitio de Confluencia o Estación 3 para la época baja. Se encuentran dominando para esta época como se puede observar en la Figura 24, los géneros *Thraulodes* con 22,60%, *Anacroneuria* con 17,27% y *Leptonema* con 15,78%.

Figura 24. Géneros dominantes para la estación 2, durante la época baja.



6.5.2.1.9 Sitio de Confluencia o Estación 3 para la época alta. Se encuentran dominando para esta época como se puede observar en la Figura 25, los géneros *Anacroneuria* con 39,17%, *Leptohyphes* con 13,82% y *Thraulodes* con 8,76%, se destaca marcadamente *Anacroneuria*.

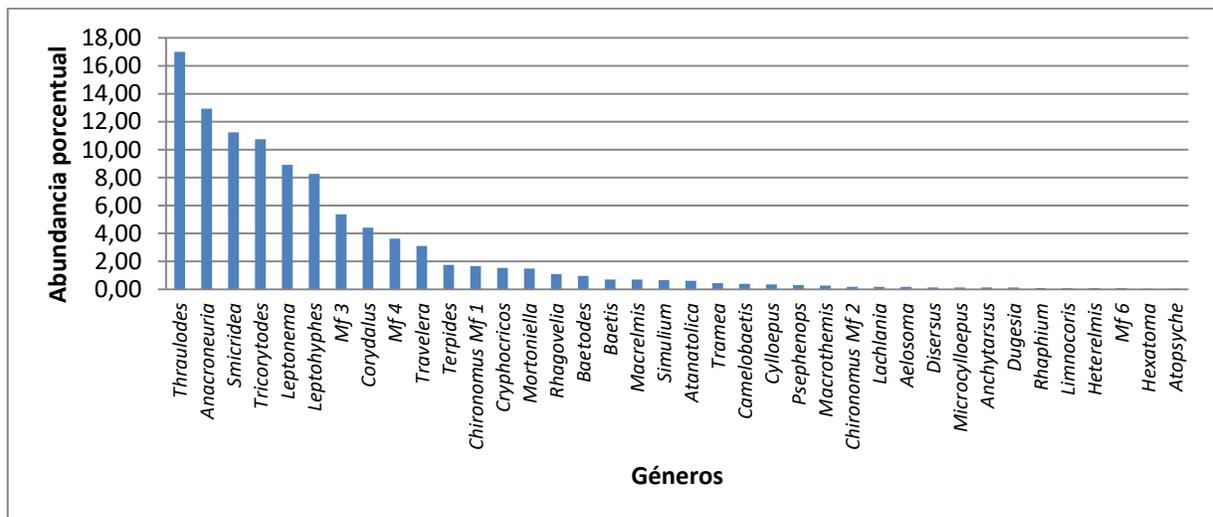
Figura 25. Géneros dominantes para la estación 2, durante la época alta.



6.5.2.2 Diferencia por épocas. Debido a que el estudio abarcó dos épocas climáticas, denominadas como época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales y época de alta intensidad de lluvias con altos caudales, se realizó además una estimación total porcentual de los individuos presentes en todas las estaciones:

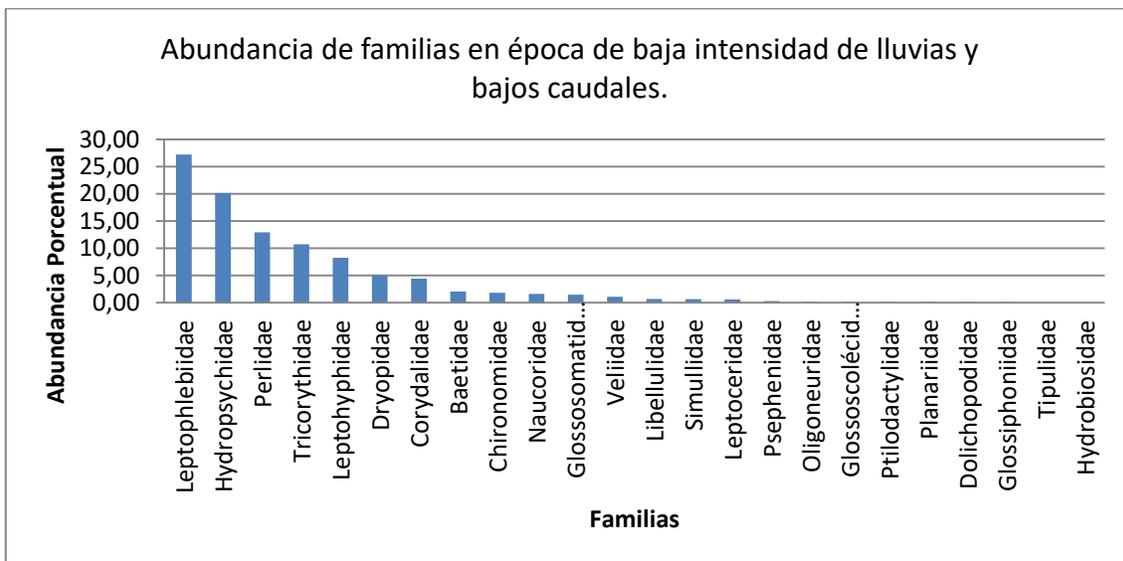
6.5.2.2.1 Época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales. Se encontraron en total de 2288 individuos, pertenecientes a 38 géneros, agrupados en 24 familias, durante esta época se destacó la abundancia de los géneros *Thraulodes* con 17%, *Anacroneuria* con 12,94% y *Smicridea* con 11,23%, los resultados de la distribución de los géneros pueden observarse en la Figura 26.

Figura 26. Géneros más abundantes durante la época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales en las tres estaciones.



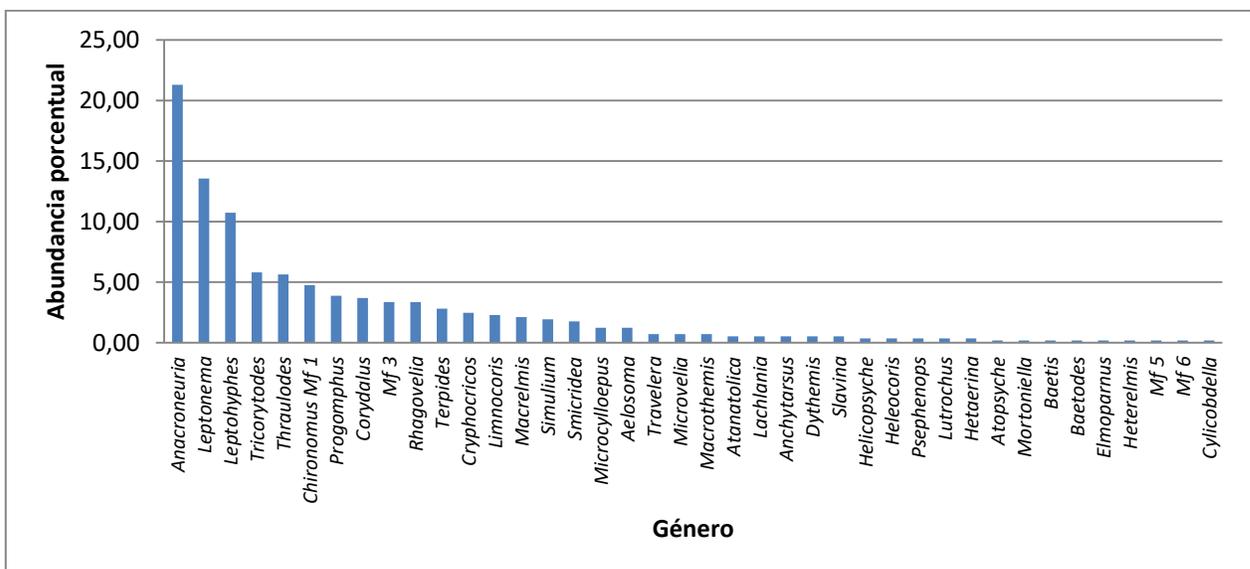
En cuanto a las familias, estuvieron representadas por *Leptophlebiidae* con 27,23%, *Hydropsychidae* con 20,15% y *Perlidae* 12,94% la distribución de las familias se puede observar en la Figura 27.

Figura 27. Familias encontradas en la época de baja intensidad de lluvias y bajos caudales.



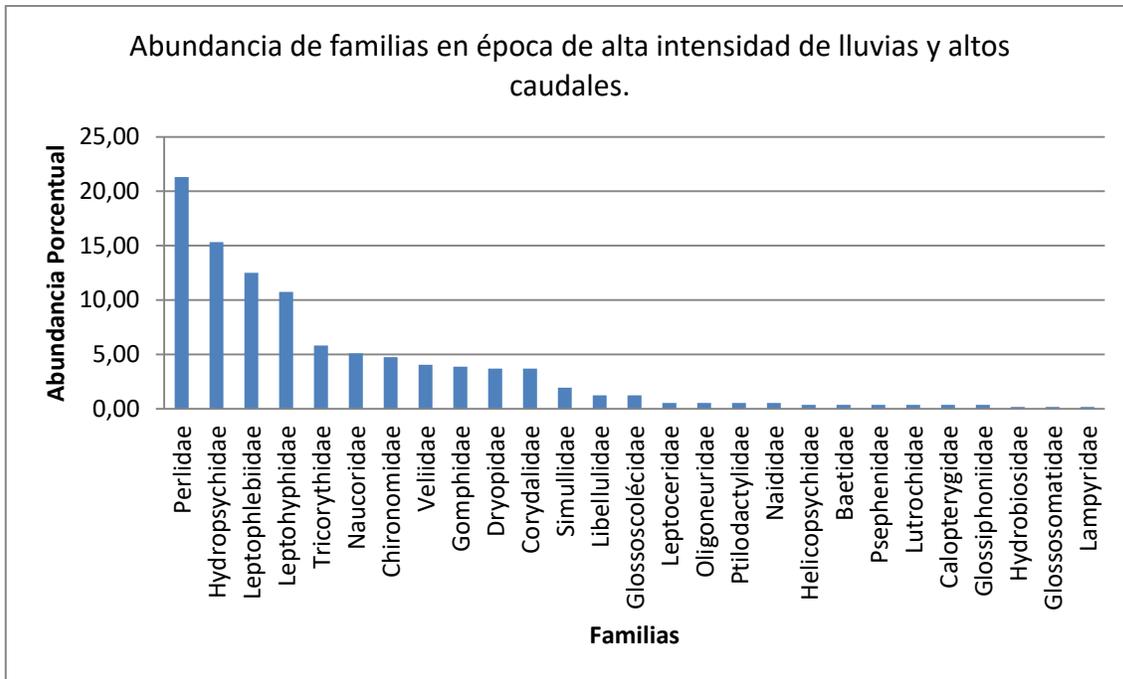
6.5.2.2.2 Época de alta intensidad de lluvias con altos caudales. Se colectaron en total 568 individuos, pertenecientes a 40 géneros, de 27 familias, en esta época, los géneros dominantes estuvieron representados por *Anacroneuria* con 21,30%, *Leptonema* con 13,56%, seguido de *Leptohyphes* con 10,74%, la distribución se encuentra en la Figura 28.

Figura 28. Géneros más abundantes durante la época de alta intensidad de lluvias con altos caudales en las tres estaciones.



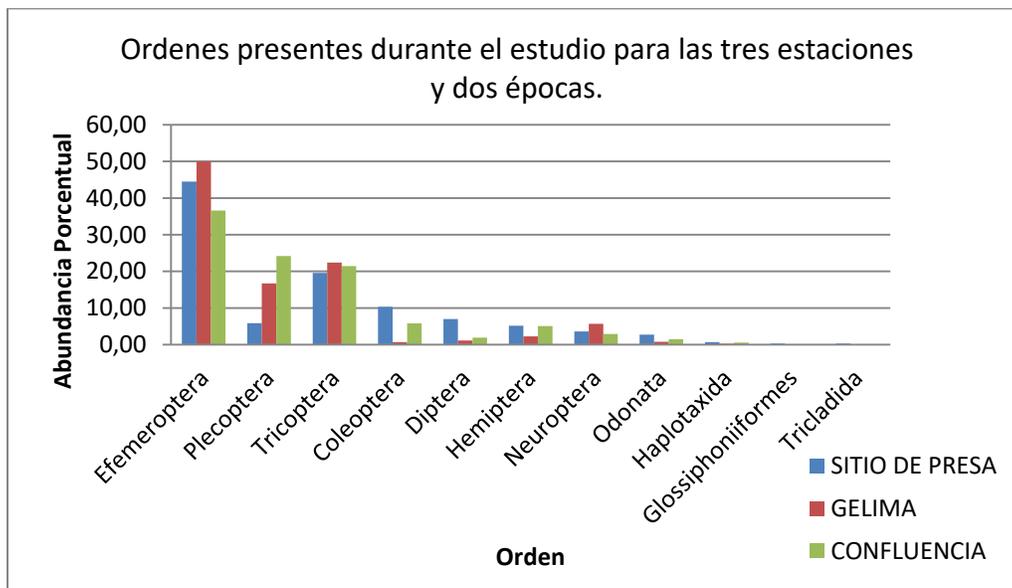
En cuanto a familias, estuvieron representadas como más abundantes la familia Perlidae con un total de 21.30%, Hydropsychidae con el 15,32% y Leptophlebiidae 12,50%, la distribución de las familias para esta época se puede observar en la Figura 29.

Figura 29. Familias encontradas en la época de alta intensidad de lluvias y altos caudales.



Como se puede observar en la Figura 30, en todas las estaciones y para las dos épocas predominan los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Tricoptera.

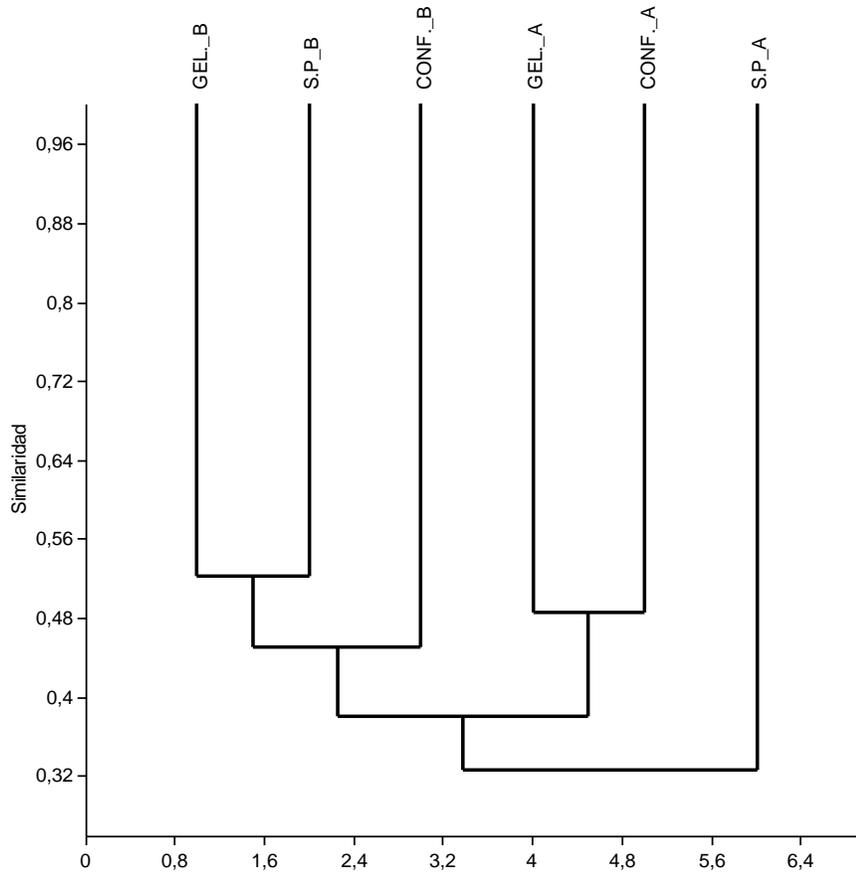
Figura 30. Abundancia de órdenes presentes durante todo el estudio.



6.5.3 Índice de similitud de Bray Curtis. Para determinar la interdependencia o asociación en cuanto a clasificación, se elaboró un dendrograma, basado en el coeficiente de similitud de Bray Curtis, (Figura 31), teniendo en cuenta las estaciones y épocas de muestreo.

Dicha prueba, se aplicó basados en la estructura, producto de las abundancias promedio a nivel de género teniendo en cuenta además las tres estaciones y dos épocas de muestreo.

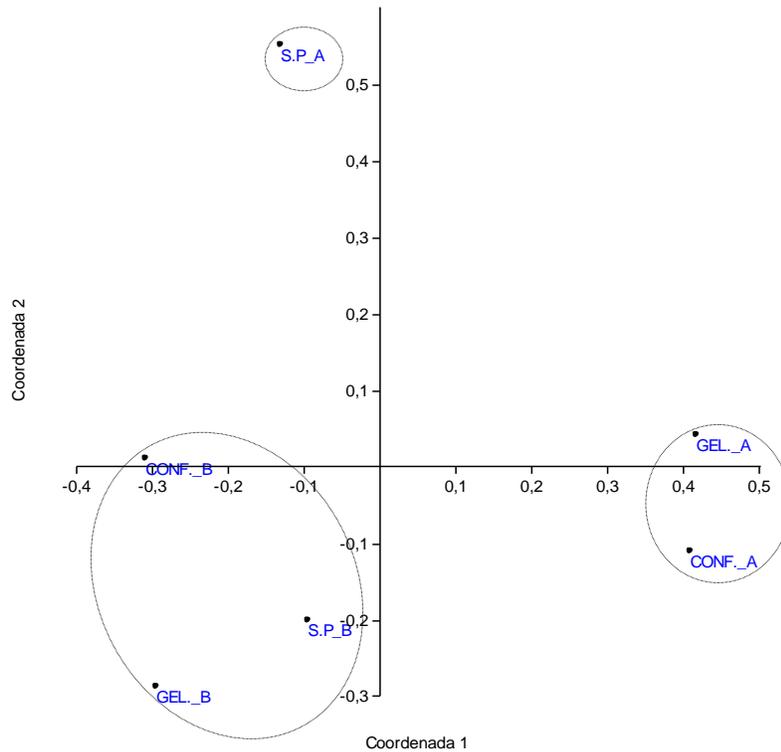
Figura 31. Dendrograma de Similitud con base en el coeficiente de Bray Curtis basado en la estructura biológica.



6.5.4 Análisis de escalamiento no métrico multidimensional MDS. Con el fin de observar la ordenación espacial de cada una de las estaciones y su asociación a cada época, se aplica una prueba multivariante de análisis de escalamiento no métrico multidimensional MDS (Figura 32).

Dicho análisis, el cual opera sobre una matriz de medidas de similitud o disimilitud, está diseñado para encontrar, en cada dimensión especificada, la mejor representación geométrica de los datos en el espacio.

Figura 32. Escalamiento no métrico multidimensional MDS, con base en el coeficiente de Bray Curtis.



6.5.5. Grupos funcionales. De acuerdo con la naturaleza del alimento, el sitio de captura y la consecuente adaptación del aparato bucal para tal función, se analiza la estructura con base en los macroinvertebrados acuáticos encontrados en la cuenca baja del río Ovejas, se establecieron y modificaron los roles tróficos para algunos grupos, con base en Merritt y Cummins (1984) y Vannote y col. (1980), los datos se presentan en la Tabla 9 y Figura 33:

- **Colectores-filtradores (CF):** A esta categoría pertenece: *Elmoparmus*, *Macrelmis*, *Heterelmis*, *Cyloopus*, *Disersus*, *Microcyloopus*, *Mf4* (Dryopidae), *Simulium* (Simuliidae), *Lachlania* (Oligoneuriidae), *Thaulodes*, *Travelera* (Leptophlebiidae), *Smicridea*, *Leptonema* (Hydropsychidae), *Atanatolica* (Leptoceridae), *Mortionela* (Glossosomatidae) *Baetis*, *Baetodes*, *Camelobaetidius* (Baetidae).
- **Colectores de Material de Depósito (CMD):** Colectores que se alimentan de partículas encontradas en el sustrato: *Tricorythodes* (Tricorythidae), *Leptohyphes*, (Leptohyphidae), *Lutrochus* (Lutrochidae), *Aelosoma* (Glossosomatidae), *Slavina* (Naididae), *Cylicobdella*, *Mf6* (Glossiphoniidae).
- **Pastoreadores (P):** Invertebrados con adaptaciones morfo-conductuales para remover algas adheridas y asociadas al detritus-microbial tomado desde la superficie. *Pelonomus* (Dryopidae), *Psephenops* (Psephenidae), y *Helicopsyche* (Helicopsychidae), *Atopsyche* (Hydrobiosidae), *Mf5* (Lampyridae).
- **Desfibradores (DF):** Individuos que deshilachan material vegetal: *Terpides*, *Mf3* (Leptophlebiidae).
- **Predadores (PR):** Organismos especialistas en la captura de presas vivas: *Anacroneuria*, (Perlidae), *Hexatoma* (Tipulidae), *Mf.1*, *Mf.2* (Chironomidae), *Corydalus* (Corydalidae), *Macrothemis*, *Dythemis*, *Tramea* (Libellulidae), *Cryphocricos*, *Heleocoris*, *Limnocoris* (Naucoridae), *Microvelia*, *Rhagovelia* (Veliidae), *Rhaphium* (Dolichopodidae), *Hetaerina* (Calopterygidae), *Progomphus* (Gomphidae), *Dugesia* (Planariidae).
- **Rol-variado (RV):** Individuos que obtienen material particulado fino mediante alguno de éstos roles tróficos y macroinvertebrados que consiguen su alimento empleando cualquier rol trófico: *Anchytarsus* (Ptilodactylidae), *Chironomus* (Chironomidae), *Mf. 6* (Glossiphoniiforme).

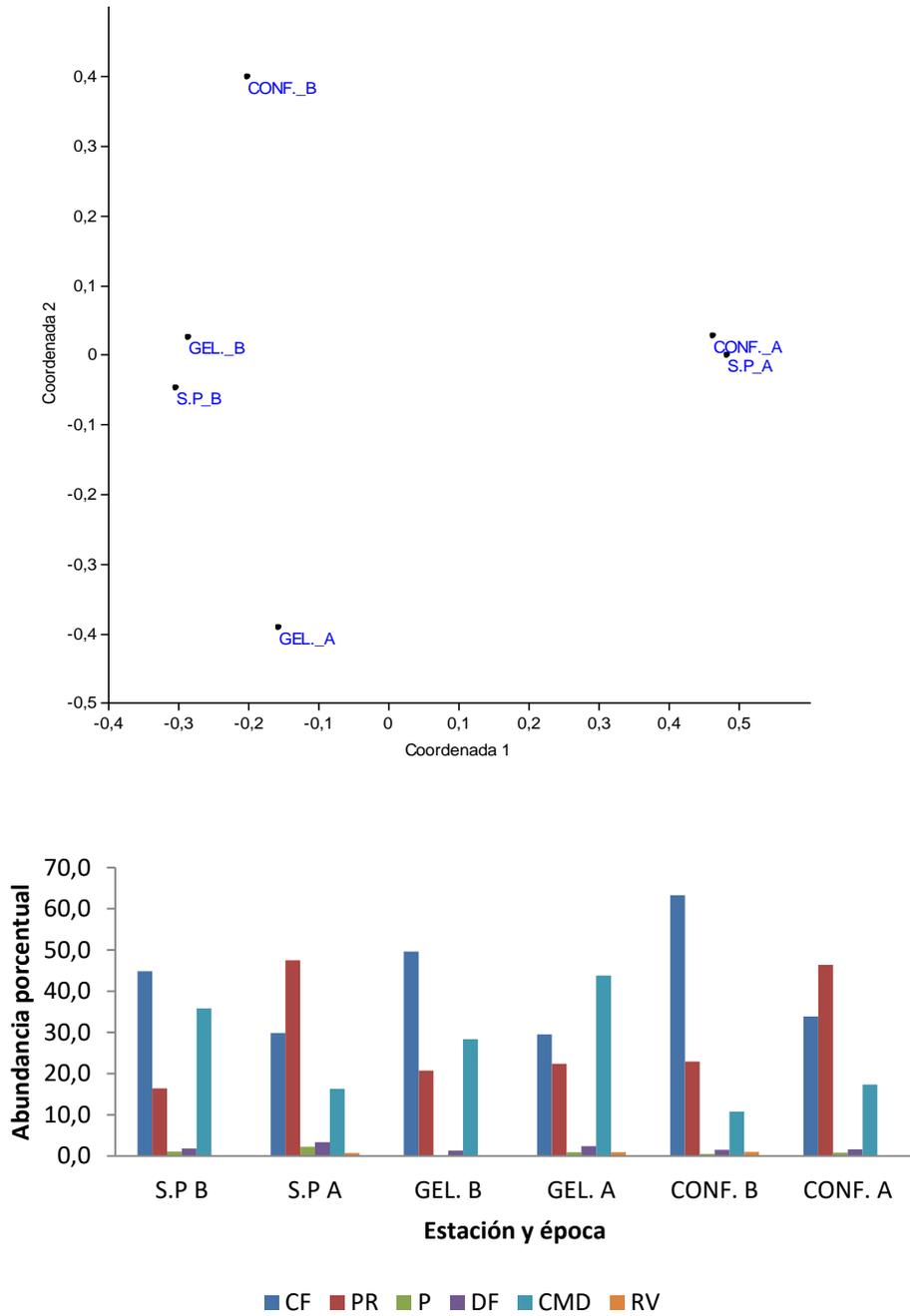
Tabla 9. Grupos Funcionales.

PHYLUM/ ORDEN	CLASE/ FAMILIA	GÉNERO	EST SITIO PRESA	1. DE EST GELIMA	2. EST CONFLUENCIA	3.
ARTHROPODA						
INSECTA			CF	CF	CF	
Diptera	Simuliidae	<i>Simulium</i>				
	Tipulidae	<i>Hexatoma</i>				PR
	Chironomidae	<i>Chironomus Mf 1</i>	PR	PR		PR
		<i>Chironomus Mf 2</i>				PR
	Dolichopodidae	<i>Rhaphium</i>	PR			
Tricoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	CF	CF		CF
		<i>Smicridea</i>	CF	CF		CF
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	P			
	Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	CF			CF
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	P			
	Glossosomatidae	<i>Mortoniella</i>	CF	CF		CF
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	PR	PR		PR
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>	CF	CF		
		<i>Baetodes</i>	CF	CF		CF
		<i>Camelobaetis</i>		CF		
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	CF	CF		CF
		<i>Travelera</i>	CF	CF		CF
		<i>Terpides</i>	DF	DF		DF
		<i>Mf 3</i>	CMD	CMD		CMD
	Tricorythidae	<i>Tricorytodes</i>	CMD	CMD		CMD
	Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	CMD	CMD		CMD
	Oligoneuridae	<i>Lachlania</i>	CF	CF		
Hemiptera	Veliidae	<i>Microvelia</i>		PR		
		<i>Rhagovelia</i>	PR	PR		PR
	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>	PR	PR		PR
		<i>Heleocoris</i>	PR			
		<i>Limnocoris</i>	PR	PR		PR

Tabla 9. (Continuación)

PHYLUM/ ORDEN	CLASE/ FAMILIA	GÉNERO	EST SITIO PRESA	1. DE EST GELIMA	2. EST CONFLUENCIA	3.
Coleoptera	Psephenidae	<i>Psephenops</i>	P		P	
	Dryopidae	<i>Elmoparnus</i>				CF
		<i>Macrelmis</i>	CF	CF		CF
		<i>Heterelmis</i>	CF			CF
		<i>Cylloepus</i>			CF	CF
		<i>Disersus</i>			CF	
		<i>Microcylloepus</i>	CF			CF
		<i>Mf 4</i>	CF			CF
	Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	RV	RV		RV
	Lutrochidae	<i>Lutrochus</i>				CMD
Lampyridae	<i>Mf 5</i>		P			
Neuroptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>	PR	PR		PR
Odonata	Libellulidae	<i>Macrothemis</i>	PR	PR		PR
		<i>Dythemis</i>				PR
		<i>Tramea</i>		PR		PR
	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	PR			
	Gomphidae	<i>Progomphus</i>	PR	PR		
ANNELIDA OLIGOCHAETA Haplotaxida	Glossoscolécidae	<i>Aelosoma</i>	CMD			CMD
	Naididae	<i>Slavina</i>			CMD	
HIRUDINEA Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	<i>Mf 6</i>	CMD			
<i>Cylicobdella</i>				CMD		
PLATYHELMINTHES TURBELLARIA Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>	PR			

Figura 33. Comportamiento de la estructura, de acuerdo a la época y grupo funcional.



6.5.6 Determinación de la diversidad y abundancia con base al índice de Shannon – Weaver (H´). Se aplica este índice para evaluar el estado en cuanto a diversidad y abundancia en cada estación y época climática.

Encontramos un valor de índice de Shannon (H´) promedio para toda la zona de estudio, abarcando las dos épocas de 1,96, correspondiente a una mediana diversidad y aguas medianamente contaminadas, los diferentes valores promedio para las épocas y estaciones se pueden ver en la Tabla 10.

Tabla 10. Promedios de índice de Shannon para cada estación según la época.

SITIO DE PRESA		GELIMA		CONFLUENCIA	
EPOCA BAJA	EPOCA ALTA	EPOCA BAJA	EPOCA ALTA	EPOCA BAJA	EPOCA ALTA
2,10	1,95	1,95	1,89	1,89	2,01

El índice de diversidad de Shannon permitió determinar la composición de la comunidad teniendo en cuenta el número y la igualdad de especies, siendo sensible a los cambios en la abundancia de las especies raras presentes en la muestra (Moreno, 2005).

El valor obtenido se cotejo con los siguientes rangos de diversidad y clasificación de calidad de aguas (Moreno, 2005):

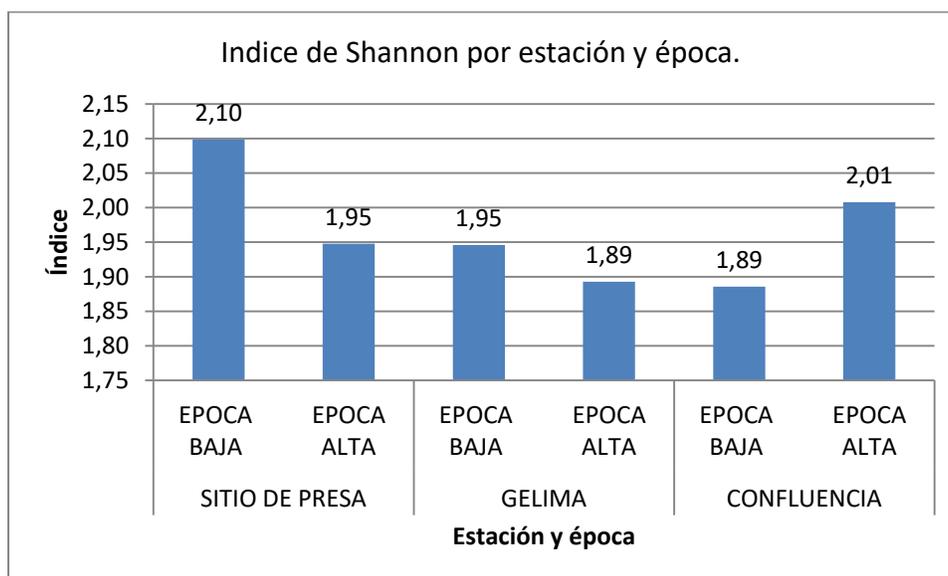
De 0.0 a 1.5: Muy baja diversidad o *aguas contaminadas*

De 1.6 a 3.0: Mediana diversidad o *aguas medianamente contaminadas*

De 3.1 a 5.0: Alta diversidad o *aguas limpias*.

Los datos obtenidos se presentan a en la Figura 34:

Figura 34. Índice de Shannon Weaver por estación y época.



6.5.7 Carácter bioindicador de los macroinvertebrados de la cuenca baja del río ovejas con base en el índice de monitoreo biológico (BMWP). A la información sobre las familias de MAE representadas en las colectas se aplicó el índice de calidad biológica BMWP, adaptado para Colombia (Zamora, H. 2007).

Los resultados promedio del análisis de calidad biológica de la cuenca baja del río Ovejas, empleando el índice BMWP (Zamora 2007), que considera la presencia–ausencia de taxa de macroinvertebrados acuáticos indicadores (familias) se presentan en la figura 35 y Tabla 11, los datos promedio por mes en la Tabla 12, datos promedio de los índices BMWP y Shannon, Tabla 13, caracterización BMWP por épocas, Tabla 14.

Tabla 11. Resultados promedio de análisis de calidad biológica por medio del índice BMWP, para estaciones y épocas.

SITIO DE PRESA		GELIMA		CONFLUENCIA	
EPOCA BAJA	EPOCA ALTA	EPOCA BAJA	EPOCA ALTA	EPOCA BAJA	EPOCA ALTA
79	74	76	58	64	100
76		67		82	

Figura 35. Valores del Índice BMWP por zonas y épocas.

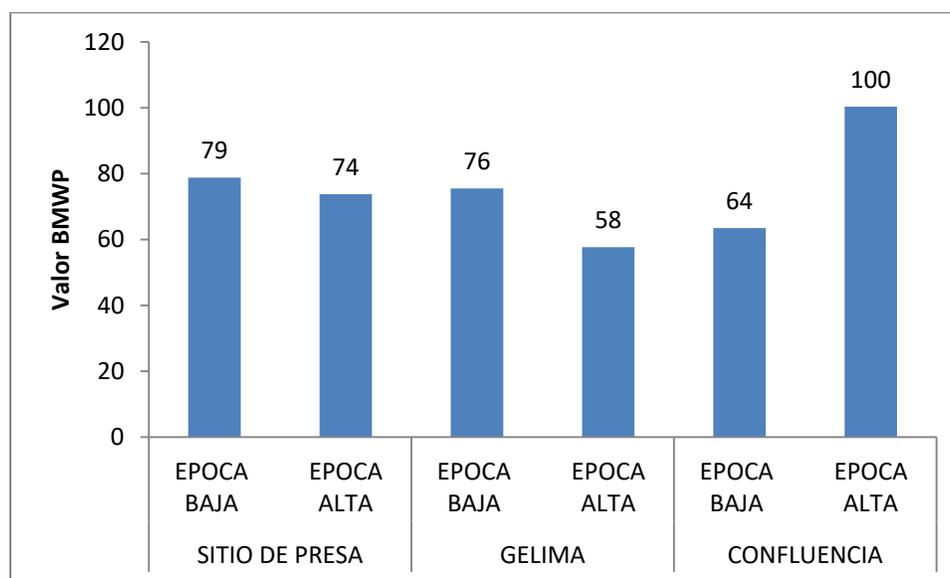


Tabla 12. Calidad biológica de toda la zona, según el índice BMWP, por mes durante el periodo de estudio.

MES	NIVEL DE CAUDAL	PROMEDIO BMWP	CALIDAD DE AGUA	CARACTERÍSTICAS
Octubre 23 2008	BAJO	39,5	DUDOSA	Aguas Contaminadas
Nov 21 2008	ALTO	48	DUDOSA	Aguas Contaminadas
Dic 11 2008	ALTO	66	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas
Enero 29 2009	ALTO	84	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas
Febrero 26 2009	ALTO	73	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas
Marzo 26 2009	ALTO	109	BUENA	Aguas limpias
Abril 23 de 2009	ALTO	74	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas
Mayo 28 de 2009	BAJO	80,5	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas
Junio 25 de 2009	BAJO	64,5	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas
Julio 23 de 2009	BAJO	74,6	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas
Agosto 27 de 2009	BAJO	99	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas
Septiembre 17 de 2009	BAJO	86	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas

Tabla 13. Caracterización del río Ovejas, según la calidad biológica (BMWP) y diversidad (Shannon Weaver) por mes durante el periodo de estudio.

Meses	NIVEL DE CAUDAL	PROMEDIO BMWP	CALIDAD DE AGUA	CARACTERÍSTICAS	PROMEDIO SHANNON	CARACTERÍSTICAS
Octubre 23 2008	BAJO	40	DUDOSA	Aguas Contaminadas	1,27	Baja diversidad
Nov 21 2008	ALTO	48	DUDOSA	Aguas Contaminadas	1,77	Mediana diversidad
Dic 11 2008	ALTO	66	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas	1,83	Mediana diversidad
Enero 29 2009	ALTO	84	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas	2,08	Mediana diversidad
Febrero 26 2009	ALTO	73	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas	2,06	Mediana diversidad
Marzo 26 2009	ALTO	109	BUENA	Aguas limpias	2,31	Mediana diversidad
Abril 23 de 2009	ALTO	74	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas	2,00	Mediana diversidad
Mayo 28 de 2009	BAJO	81	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas	2,17	Mediana diversidad
Junio 25 de 2009	BAJO	65	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas	1,73	Mediana diversidad
Julio 23 de 2009	BAJO	75	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas	2,14	Mediana diversidad
Agosto 27 de 2009	BAJO	99	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas	2,08	Mediana diversidad
Septiembre 17 de 2009	BAJO	86	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas	2,33	Mediana diversidad

Debido a que los diferentes muestreos se realizaron durante 12 meses abarcando dos épocas climáticas de la zona, como época de baja intensidad de lluvias con

bajos caudales y época de alta intensidad de lluvias con altos caudales, se realizó una caracterización promedio y para cada época:

Tabla 14. Caracterización del río Ovejas, según la calidad biológica (BMWP) por épocas durante el periodo de estudio.

EPOCA	BMWP	CALIDAD	CARACTERISTICA
PROMEDIO ANUAL	75	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas
ÉPOCA LLUVIAS BAJAS /PROMEDIO CAUDAL BAJO	73	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas
ÉPOCA DE LLUVIAS ALTAS/ PROMEDIO CAUDAL ALTO	77	ACEPTABLE	Aguas medianamente contaminadas

7. DISCUSION.

7.1 CAUDALES.

Desde el mes de Noviembre de 2008 al mes de Abril de 2009, los caudales del río Ovejas tuvieron una frecuencia alta, lo cual se manifestaba con velocidades altas del río en las tres estaciones, esta situación se ve reflejada en el transporte de material vegetal y sedimentos, los cuales afectaron en cierta medida algunas de las características físico-químicas y biológicas del río. Particularmente se observaron cambios significativos en cuanto a los sólidos suspendidos y la turbiedad.

Podemos decir en cuanto a esto que tanto espacial como temporalmente, el río Ovejas experimentó cambios en relación con el flujo de agua, y la velocidad de la corriente (caudal) en relación directa con los cambios pluviométricos, un incremento en el caudal influye en el cambio de la fisionomía y la disponibilidad de hábitat para los insectos acuáticos, además es un factor que incide sobre el normal desarrollo y distribución de las comunidades de macroinvertebrados y que se evidencia más adelante, soportado en pruebas realizadas para determinar la estructura de la comunidad de acuerdo a la época y estación.

Se han reportado numerosas evidencias de que tanto la calidad como la cantidad de hábitat disponibles afectan la estructura y la composición de las comunidades biológicas residentes (Kay y col, 1999; Pinheiro, 2004).

Según Hynes (1974, tomado de: Silveira, 2004), la distribución de los insectos acuáticos está bastante influenciada por la alimentación, las condiciones físicas y químicas del agua, y por factores como las sequías y las inundaciones.

7.2 FÍSICO-QUÍMICA HÍDRICA.

Según el análisis de componentes principales, se puede determinar de manera general que no existe una tendencia marcada en cuanto a los parámetros y las estaciones de muestreo, salvo los parámetros que caracterizaron a cada sitio, principalmente asociados a sus condiciones de dinámica, como es de esperarse desde el punto de vista limnológico se puede observar como algunos parámetros físico-químicos guardan una estrecha relación entre sí.

En la estación 1 (Sitio de presa), encontramos una alta relación con SDT, Conductividad y DQO, puede deberse al arrastre de material, procedente de la

zona a lo largo del recorrido, caracterizada por un relieve quebrado a escarpado, con pendientes de 50-60%, con suelos profundos, de regular estabilidad geológica y moderada a alta erosión.

En la estación 2 (Gelima), encontramos una asociación en cuanto a sólidos totales, estos presentan una directa relación con los sólidos suspendidos y las coliformes fecales, esto puede deberse a que en dicha estación encontramos una presa la cual disminuye considerablemente el flujo y velocidad del agua, actuando como barrera artificial y “trampa de sedimentos”.

En la estación 3 (Confluencia), encontramos una fuerte relación con la turbidez y nutrientes, esto pudo deberse al aporte de material alóctono representado principalmente por sólidos en suspensión (arrastre de sedimentos) de las quebradas y pequeños tributarios al río Ovejas en el trayecto de estudio, influenciados a la vez, por el régimen pluviométrico.

Se han reportado numerosas evidencias de que tanto la calidad como la cantidad de hábitat disponibles afectan la estructura y la composición de las comunidades biológicas residentes (Kay y col., 1999; Pinheiro, 2004), por tanto se establece una relación entre estos aspectos y la evaluación biológica.

7.2.1 Relación entre la temperatura del aire y la hídrica. La temperatura ambiental tuvo valores de 24.25°C en la estación N°1; 22.25°C en la N°2 y 25.79°C en la N°3, los cuales son valores propios para el trópico de la zona de transición entre el piso basal y el pre-montano, la oscilación de estos valores no es alta, ya que la diferencia altitudinal entre dichas estaciones no sobrepasa los 150 metros. La temperatura del agua tuvo valores entre 20.0°C; 19.86°C y 24.81°C respectivamente, valores que denotan de alguna manera la relación térmica de estos dos factores físicos. Es lógico pensar que por la dinámica hídrica (según componente de hidrología), no se presenten estratificaciones térmicas en la columna de agua. Los registros encontrados permiten inferir que las tasas de degradación de materia orgánica se pueden presentar de manera normal por tratarse de un sistema natural, pero sin afectar negativamente la calidad de las aguas naturales.

7.2.2 Turbiedad. La turbiedad tuvo valores de 102.83 NTU en la zona N° 1; 154.83 NTU en la zona N° 2 y 195.16 NTU en la zona N°3, notándose un incremento gradual a medida que se desciende en el piso altitudinal, esto es debido al aporte de material alóctono representado por sólidos en suspensión (arrastre de sedimentos) propios del sistema, el aportado por las quebradas y pequeños tributarios al río Ovejas en el trayecto de estudio e influenciados a la vez, por el régimen pluviométrico.

En cuanto a la concentración de SST, se encontraron valores entre 148.29 mg SST/L; 316.30 mg SST/L y 264.93 mg SST/L respectivamente, encontramos en la

estación de Gelima (intermedia) un mayor valor, debido a la pequeña presa existente, la cual actúa como “trampa de sedimentos”. De todas maneras, se observa un incremento en la concentración de este parámetro a medida que se desciende en el piso altitudinal, por los factores anteriormente anotados para la turbiedad, lo cual permite inferir que el aporte de sedimentos al río Cauca es significativo.

7.2.3 Gases disueltos. Para el caso específico del tramo en estudio, se analizaron: la concentración de Oxígeno Disuelto (OD), porcentaje de saturación (% Sat. OD) y la concentración del Gas Carbónico Disuelto (CO_2) en el sistema.

En cuanto al Oxígeno disuelto (O.D.), en las aguas naturales las concentraciones de este gas están variando permanentemente debido a los procesos físicos, químicos y biológicos que se dan continuamente. Las fuentes principales de oxígeno en el medio acuático son: el intercambio del medio atmosférico (fundamentalmente en sistemas lóticos) y el proceso bio-energético de la fotosíntesis (más que todo en los leníticos) generado por el fitoplancton y las macrofitas acuáticas (Vásquez, 2009).

Para el sistema del río Ovejas, la concentración de este gas tuvo valores de 7.64 mgO_2/L y 90.17% de saturación en la zona N°1; 7.29 $\text{mg O}_2/\text{L}$ y 89.83% de saturación y 7.16 $\text{mg O}_2/\text{L}$, con 88.52% de saturación en la zona N°3, notándose una leve disminución a lo largo del tiempo a medida que se descendía en el piso altitudinal, pero para propósitos prácticos, el cambio no es significativo y la condición aeróbica tiende a ser estable, por encima del mínimo óptimo de saturación; incluso, en algunas épocas sobrepasaba 100% de saturación.

En cuanto al Gas Carbónico Disuelto, su presencia se debe a procesos naturales de: respiración, degradación de materia orgánica, la fermentación microbiana del metano, la nitrificación del amonio, la oxidación de los sulfuros, y en general, por las reacciones químicas que eventualmente se puedan presentar tanto en la columna de agua como en el sustrato (zona bentónica). Por el contrario, su concentración tiende a disminuir por reacciones de tipo biológico como por ejemplo la fotosíntesis), así como también por la dinámica hídrica (intercambio atmosférico por menor densidad). En las aguas naturales incide en la condición de pH, en la acidez total y en la alcalinidad total.

Para el sistema en estudio, la concentración de este gas tuvo valores de 2.14 $\text{mg CO}_2/\text{L}$ en la estación N° 1; 2.33 $\text{mg CO}_2/\text{L}$ en la N° 2 y 2.65 $\text{mg CO}_2/\text{L}$ en la N° 3, valores que se consideran normales dentro del sistema y no inciden negativamente en la calidad de las aguas naturales. A la vez, están en concordancia con los registros hallados para el pH y la acidez total que se describen más adelante. Se presume que la dinámica hídrica permite la liberación continua de este gas hacia el medio atmosférico evitando efectos sinérgicos nocivos y su presencia obedece fundamentalmente a que por tratarse de un

sistema natural, normalmente ocurren procesos biológicos y químicos que lo producen.

7.2.4 El pH y su relación con la Acidez Total y la Alcalinidad Total. Dada la estrecha relación existente entre estos tres parámetros desde el punto de vista limnológico, se analizaron de manera integrada para facilitar su interpretación y análisis de la condición actual del sistema hídrico.

En la zona de estudio en promedio, encontramos los siguientes valores: pH: 6.93 para la estación N°1; 6.82 en Gelima y 6.73 en su confluencia con el río Cauca. Acidez total: 2.64 mgCaCO₃/L; 2.71 mgCaCO₃/L y 3.03 mgCaCO₃/L respectivamente. Alcalinidad Total: 43.89 mgCaCO₃/L; 44.13 mgCaCO₃/L y 43.83 mgCaCO₃/L respectivamente.

Los registros anteriormente anotados están en concordancia con la relación de los tres parámetros, denotando características de aguas ligeramente ácidas a medida que se desciende en el piso altitudinal, debido primordialmente al incremento del gas carbónico disuelto, más que a una incidencia de tipo mineral; así como también, de alguna manera por acción de la capacidad amortiguadora del sistema por la presencia de bicarbonatos.

De todas maneras, los registros encontrados, no constituyen de ninguna manera un factor limitante para el desarrollo y distribución de la biota acuática.

7.2.5 Dureza total y dureza carbonácea. Estos parámetros están asociados con la presencia de iones Calcio y Magnesio, los cuales son los más abundantes en las aguas naturales epicontinentales y pueden combinarse con iones bicarbonato y carbonato marcando la dureza temporal; o con iones sulfato y cloruros, marcando la dureza permanente. Por lo tanto, la sumatoria de las dos será equivalente a la dureza total. A la vez, es indispensable anotar que la relación en términos de porcentaje de la D. temporal respecto a la D. total, puede indicar la capacidad auto-reguladora o amortiguadora que en un momento dado pueda presentar un sistema hídrico y, por ende, su incidencia en el pH y en la acidez total. (Vásquez, 2009).

Referente a las Durezas, los registros encontrados a lo largo del tiempo de muestreo fueron:

Dureza total: 27.08 mgCaCO₃/L en la estación N° 1; 34.90 mgCaCO₃/L en Gelima y 35.91 mgCaCO₃/L en la confluencia, mientras que para la Dureza carbonácea: 24.71 mgCaCO₃/L; 32.11 mgCaCO₃/L y 33.03 mgCaCO₃/L respectivamente.

Aunque se nota un leve incremento a medida que se desciende en el piso altitudinal, se pueden catalogar las aguas como “blandas” para propósitos sanitarios

y “ligeramente duras” para propósitos acuícolas. Relacionado ambos parámetros en términos de porcentaje de Dureza carbonácea con la Dureza total, se puede corroborar lo anteriormente mencionado en torno a la capacidad amortiguadora del sistema, puesto que más del 90% de la Dureza carbonácea está incluida en la Dureza total.

Lo anterior conlleva a tener en cuenta el análisis integrado con el Calcio (Ca^{2+}), ya que existe una relación de este elemento con la dureza de las aguas, indicando que los ecosistemas acuáticos tropicales, son bajos en este elemento, aunque éste abunda más que el Magnesio.

Para el sistema del río Ovejas, los valores de Calcio oscilaron entre: 7.68 mgCa/L en la estación N°1; para Gelima de 8.07 mgCa/L y en la confluencia con el río Cauca de 7.84 mgCa/L, lo cual indica que bajo el punto de vista de niveles de productividad, las aguas se pueden catalogar como “poco productivas”, con características de tendencia oligotróficas, mirándolo bajo este aspecto exclusivamente (Falta corroborar esta aseveración con el aporte total de nutrientes al sistema).

7.2.6 Nutrientes en el ecosistema acuático. Están fundamentalmente representados por el Nitrógeno y el Fósforo.

Precisamente, algunos de los iones formados a partir del ciclo de desarrollo de ellos, son considerados para los estudios de impacto ambiental como indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica.

En cuanto a los indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica, se considera el análisis integrado de sus componentes, en atención a que la sumatoria de ellos servirá de base para determinar el estado trófico del sistema.

Comparando las estaciones de muestreo, las concentraciones de estos parámetros tuvieron los siguientes valores:

Tabla 15. Concentraciones de nutrientes por estaciones.

	Estación 1. Sitio de presa	Estación 2. Gelima	Estación 3. Confluencia.
Amonio mgNH ₄ /L	0.13	0.129 mgNH ₄ /L	0.24 mgNH ₄ /L
Nitritos mgNO ₂ /L	0.069	0.16 mgNO ₂ /L	0.22 mgNO ₂ /L
Nitratos mgNO ₃ /L	34.46	35.92 mgNO ₃ /L	18.24 mgNO ₃ /L
Fosfatos mgPO ₄ /L	0.246	0.20 mgPO ₄ /L	0.47 mgPO ₄ /L

Los registros anteriores indican que la carga orgánica representada por Amonio, Nitritos, Nitratos y Fosfatos se incrementa progresivamente a medida que se llega a la confluencia con el río Cauca.

Para el caso del Amonio, los valores no sobrepasan el límite de calidad (0.5 mg/L), puesto que los gradientes de oxidación bacteriana son eficientes en atención a la hidrodinámica del sistema, lo cual agiliza el desarrollo del ciclo de los compuestos a base de Nitrógeno. Esto se refleja en las concentraciones de los Nitritos (paso siguiente del ciclo), los cuales superan el valor límite (0.05 mg/L), notándose más hacia la parte terminal de la cuenca baja del río Ovejas.

Lo anterior permite inferir que el arrastre de material con carga orgánica está incidiendo en la calidad del cuerpo de aguas receptor (en este caso, el río Cauca). Esta situación obedece a tensores de origen antrópico por las actividades que a lo largo del sistema de cuenca cotidianamente se desarrollan, como por ejemplo: programas agrícolas, en especial los relacionados con el beneficio del fique, programas pecuarios, vertimientos de aguas residuales domésticas, entre otros.

Para el caso de los Nitritos, el aporte promedio total del sistema osciló entre 0.0029 Kg $\text{NO}_2^{-1}/\text{seg}$ y 0.00932 Kg $\text{NO}_2^{-1}/\text{seg}$., con un promedio total de 0.00634 Kg $\text{NO}_2^{-1}/\text{seg}$.

En cuanto a los Fosfatos, las concentraciones encontradas se incrementan notoriamente hacia la parte final de la cuenca y superan significativamente el valor guía (0.020 mg/L). Esto se debe a que por la dinámica hídrica, el ciclo de degradación se desarrolla permanentemente en la columna de agua y en menor proporción en los sedimentos de la zona bentónica (sin descartar acumulación progresiva).

En relación con los Nitratos, las concentraciones encontradas indican que el ciclo de desarrollo del Nitrógeno se presenta naturalmente, lo cual contribuye con el sostenimiento de los niveles de productividad natural del ecosistema acuático.

7.2.7 Cloruros. Son considerados también como indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica, pero debido a residuos del metabolismo de la biota animal, vía excreción. Su análisis es importante para determinar el global de la carga orgánica que eventualmente se aportaría a las aguas naturales, conjuntamente con los iones resultantes del ciclo del nitrógeno y del fósforo. En las aguas naturales, están representados por sales de sodio, de potasio y de calcio, o sea que incide directamente en el grado de salinidad de las aguas y notablemente en la distribución de la biota acuática, debido a la regulación y balance hídrico celular.

Los valores de este parámetro fueron los siguientes: 5.07 mg Cl/L en la estación N° 1; 5.55 mg Cl/L en Gelima y 5.97 mg Cl/L hacia la confluencia con el río Cauca.

Por las concentraciones registradas, se puede indicar que en el sistema también se desarrollan procesos de excreción originados en especial por parte de la biota animal acuática y no constituyen factor limitante para el normal flujo de materia y energía en el ecosistema acuático, puesto que no llegan a extremos que indiquen alta tasa de degradación, mucho menos de eutrofización.

7.2.8 Conductividad y su relación con los Sólidos Disueltos Totales (SDT). La Conductividad en aguas naturales sirve para medir la cantidad de iones y por lo tanto, se correlaciona con los sólidos disueltos y con la salinidad.

Mediante la conductividad se puede tener una idea acerca del funcionamiento de un ecosistema acuático: actividad iónica, diversidad biótica (relación inversa), proceso de osmoregulación y balance hídrico, productividad natural primaria, procesos de descomposición de materia orgánica, estado trófico, naturaleza geoquímica del sustrato, origen de un proceso de alteración (contaminación - polución), entre otros (Vásquez, 2009).

Los valores encontrados para Conductividad y Sólidos Disueltos Totales (SDT) en la cuenca baja del río Ovejas tuvieron los siguientes valores: 44.1 uMhos/cm y 24.2 mgSDT/L en la estación N° 1; 36.37 uMhos/cm y 18.79 mgSDT/L en Gelima y 44.45 uMhos/cm con 26.41 mgSDT/L hacia la confluencia con el río Cauca.

Aunque se manifiesta una relación directa entre estos dos parámetros, espacialmente no se presentaron variaciones significativas y por los registros determinados, se puede inferir que las aguas desarrollan cierta actividad iónica, pero propia de sistemas de tendencia oligo-mesotrófico. Esto está en correspondencia con lo analizado anteriormente para los indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica, en donde las sustancias tanto inorgánicas como orgánicas entran en actividad iónica, marcando en cierta forma, flujos energéticos y contribuyendo de igual manera con el estado trófico del ecosistema acuático.

7.2.9 Sólidos Totales. Corresponde a la sumatoria entre los SST y los SDT. El resultado de los valores promedio encontrados a lo largo del sistema hídrico objeto de la contratación fue el siguiente: 172.66 mg ST/L en la estación N° 1; 337.06 mg ST/L en la estación N° 2 y 286.94 mg ST/L hacia la confluencia con el río Cauca.

Lo anterior permite indicar que la zona de mayor concentración es la estación N° 2 (Gelima), quizás debido a la presencia de la pequeña presa para la captación, derivación de aguas y generación de energía, la cual actúa como “trampa” de materiales tanto en suspensión como en actividad iónica; y por variaciones en el régimen pluviométrico, eventualmente se presentan variaciones temporales de

estos registros. De todas maneras, se advierte el incremento hacia la parte terminal del sistema de cuenca, lo cual está en correspondencia con lo analizado tanto para SST como para SDT.

7.2.10 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅ – 20°C) y Demanda Química de Oxígeno DQO. La DBO₅ corresponde a la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos, principalmente las bacterias, para el desarrollo de los procesos de degradación de materia orgánica en medio aeróbico y producir gas carbónico más agua. Este es el resultado de la actividad biológica y dependerá de la caracterización de los microorganismos, cantidad de ellos y de la temperatura del agua. Con base en este análisis, se puede inferir acerca de la cantidad de materia orgánica presente y los niveles de degradación en el ecosistema acuático.

La **DQO** corresponde a la cantidad del oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica en una muestra, la cual es susceptible de oxidación. Esto se puede dar tanto en la columna de cómo en los sustratos de los ecosistemas acuáticos epicontinentales, así como también, en las aguas subterráneas.

Las concentraciones para DBO₅ y DQO respectivamente encontradas en el sistema de la cuenca baja del río Ovejas fueron las siguientes: 7.37 mgO₂/L y 134.0 mgO₂/L en la estación N° 1; 8.25 mgO₂/L y 110.38 mgO₂/L en Gelima y 4.81 mgO₂/L y 129.91 mgO₂/L en la confluencia con el río Cauca.

De igual manera, por los registros de estos parámetros encontrados a lo largo del tiempo de estudio, se puede indicar que en el sistema existe actividad iónica y procesos de degradación de materia orgánica, con sus respectivas demandas de O.D. Los valores de DBO₅ no son indicadores de alteraciones drásticas por alta carga orgánica, de ahí la tendencia oligo-mesotrófica del sistema. Puede decirse que están dentro de niveles normales para un sistema acuático natural, en donde hay aportes a través de la biota acuática e incidencia de acciones de origen antrópico que se desarrollan en la zona.

7.2.11 Hierro. En la aguas superficiales y subterráneas, con valores de pH de 7.5 a 7.7, se alcanza un umbral en el cual el hierro precipita automáticamente en forma de Fe(OH)₃, lo que indica que el hierro se encuentra en aguas ácidas a neutras, pero es más notorio en aguas con valores de pH inferiores a 5.0, con bajo contenido de oxígeno y aumenta su concentración en función de la profundidad de la columna de agua. En aguas bien oxigenadas, el hierro se encuentra en forma férrica, pero es raro ya que es en forma insoluble. Cuando se presentan mecanismos de recirculación de aguas y por ende, mayor oxigenación de ellas, el hierro se oxida y precipita.

En aguas tropicales poco intervenidas, la presencia de este elemento indica valores bajos (<0.1 mg Fe/L); pero por factores edáficos, por aportes de material

alóctono y por procesos de eutroficación, las concentraciones pueden aumentar hasta valores cercanos a 5.0 mg Fe/L.

Las concentraciones de este elemento en el sistema de la cuenca baja del río Ovejas variaron entre 0.16 mgFe/L en la zona N°1; 0.21 mgFe/L en Gelima; y en la zona de confluencia con el río Cauca de 0.19 mgFe/L.

El marco conceptual establece que en aguas tropicales cálidas poco intervenidas, las concentraciones deben ser menores a 0.1 mg Fe/L; sin embargo, las tres estaciones de muestreo presentaron valores superiores, y la estación de Gelima es la de mayor concentración. Posiblemente su presencia en el sistema obedezca a la naturaleza geoquímica de los sustratos (factores edáficos) y a procesos de extracción minera de carbón. Además, hay que considerar que en la mayoría de las épocas de muestreo, se observó la presencia de maquinaria pesada representada por retroexcavadoras, dragas y equipos afines para faenas de extracción aurífera, lo que ocasionaba remoción continua de sedimentos en el cauce principal del río y de las zonas de protección ribereña. De tal manera que las concentraciones encontradas inciden directamente en los valores de acidez total por acidez mineral.

7.2.12 Aluminio. La presencia de este elemento en las aguas naturales se debe al aporte de desechos industriales, erosión causada por tala de cabeceras de cuencas, precipitación, lixiviación de minerales y suelos, explotación de minas de bauxita; y contaminación por polvo atmosférico. El nivel de Al varía frecuentemente, sobrepasando 10.0 mg Al/L en zonas de influencia de plantas donde es elaborado. Como tensor ambiental, incide notablemente en la acidez mineral, con valores de pH < 4.5 incrementándose en f(x) profundidad, especialmente en sistemas lénticos, debido a la presencia de lixiviados, beneficio de la bauxita y aporte de material alóctono. Se recomienda valor guía de 0.2 mg Al/L para agua potable.

Las concentraciones promedio de este parámetro fueron: 0.044 mgAl/L en la estación N° 1; 0.040 mgAl/L en Gelima y 0.057 mgAl/L en inmediaciones de su confluencia con el río Cauca.

Realmente, las concentraciones registradas son bajas, notándose un leve incremento hacia la parte terminal del sistema de cuenca, aspecto de similar consideración y análisis con el planteado para el Hierro, ya que contribuye con la acidez mineral del sistema hídrico. Es de notar que como resultado del beneficio de la bauxita en la zona de influencia del proyecto, eventualmente los niveles aumentan.

7.2.13 Sulfatos. La forma más común de encontrar en las aguas naturales compuestos a base de azufre, es en la de sulfatos (SO_4^{2-}) y reviste importancia en los estudios de calidad, ya que se encuentra en aguas con buen contenido de

oxígeno y es la forma como lo incorpora el fitoplancton a su citoplasma y forma parte integral bioquímica de metionina, cistina y cisteína, que son aminoácidos esenciales para la biota acuática e ictiofauna.

La concentración en aguas naturales epicontinentales tropicales fluctúa entre 2.0 mgSO₄²⁻/L y 10.0 mgSO₄²⁻/L (Roldán, 1992); y el aporte principal de este elemento son las aguas lluvias, principalmente las ácidas, y por sustratos que contengan sulfato de calcio (CaSO₄) y sulfuro de hierro (FeS₂ = "Pirita"). Necesario considerar su análisis en zonas de influencia volcánica, mineras e industria metal-metalúrgica, química y petroquímica.

Los valores de azufre en la forma de sulfatos en el sistema en estudio estuvieron entre: 0.005 mgSO₄²⁻/L en la estación N° 1; 0.005 mgSO₄²⁻/L en inmediaciones de Gelima y en la zona de confluencia de 0.002 mgSO₄²⁻/L, los cuales son relativamente bajos ya que no hay incidencia directa de la cadena volcánica de los "Coconucos" muy rica en materiales azufrados. Por tal razón, no se detectaron efectos adversos hacia las condiciones de calidad de las aguas naturales del sistema referente a la acidez mineral; y se estima que tampoco incidirá con la desviación hacia Salvajina.

7.2.14 Metales pesados. Para el propósito del presente informe, solamente se consideró el análisis de la eventual presencia de Mercurio (Hg) en la cuenca baja de la zona de estudio, ya que puede actuar como eventual tensor originado por acciones antrópicas debido a las actividades mineras auríferas que ahí se desarrollan. Por tal razón, se recurrió a algunos muestreos puntuales en el espacio y en el tiempo con base en los resultados preliminares a obtener.

Solamente se realizaron los tres muestreos a lo largo de la cuenca baja del sistema del río Ovejas durante los meses de noviembre de 2008 y febrero de 2009, encontrándose para todos los casos la misma concentración, equivalente a 0.001 mg Hg/L. A pesar de desarrollarse actividades mineras auríferas en la zona, no se detectaron concentraciones altas, quizás debido a la dinámica hídrica que facilita el "lavado" de este elemento aguas abajo del sistema; y probablemente, el efecto se "solape" y se manifieste negativamente pero en un sector del río Cauca, posterior a la confluencia del río Ovejas.

7.2.15 Cianuros. Como una observación muy puntual acerca de la presencia de cianuros como tensores de calidad de aguas, solamente se realizó un solo muestreo de Cianuro Total en la zona de la confluencia del río Ovejas al río Cauca en el mes de febrero de 2009, dando como resultado 0.01 mg/L. Posiblemente, actividades agrícolas del beneficio de la yuca para la obtención del almidón que eventualmente se dan en la cuenca media del sistema, sea su origen. La verdad es que no hay una buena base de datos para analizar en detalle su presencia e incidencia global en la condición actual del sistema; simplemente se anota, como una información adicional, sin ningún valor estadístico.

7.3 MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS EPICONTINENTALES.

7.3.1 Abundancia durante el estudio. En total acumulado para toda la zona y durante las dos épocas que comprendieron el periodo de estudio, encontramos algunos géneros dominantes, los que se destacan son:

Thraulodes, perteneciente a la familia Leptophlebiidae, cuya diversidad es una de las más altas en America del sur con aproximadamente 40 géneros, es una de las familias mejor conocidas y comunes en todos los ríos y arroyos desde el nivel del mar hasta 4500m (Dominguez 2009).

Las ninfas de esta familia se caracterizan por tener un aparato bucal herbívoro generalizado y son considerados detritívoros o recolectores filtradores.

Anacroneuria, perteneciente a la familia Perlidae, con una distribución amplia en toda América del Sur. Este organismo en forma inmadura es casi que exclusivamente acuático y de aguas corrientes limpias, es un bioindicador por excelencia de sistemas con buena calidad, pueden ser encontradas asociados a piedras, troncos, hojas y partes subacuáticas de plantas, en cuanto a los hábitos alimenticios, son organismos oportunistas carnívoros que predan a otros insectos (Dominguez 2009).

Leptonema, perteneciente a la familia Hydropsychidae, caracterizado de igual manera que el anterior por ser dominante en aguas corrientes tanto por su abundancia como diversidad, este organismo construye redes y refugios de seda fijos de variados tipos, en cuanto a sus hábitos alimenticios, al ser organismos que cuentan con piezas masticadoras, tienden a cazar o también filtran lo que atrapan con las redes (Dominguez 2009).

En general para todo el sistema estudiado, estos tres tipos de organismos dominantes son característicos de ecosistemas con buena calidad de agua, propios de aguas corrientes y que se ubican en diferente tipo de sustrato.

7.3.2 Abundancia por estaciones.

7.3.2.1 Estación 1 o Sitio de presa. Este sitio presentó una mejor disponibilidad de hábitat, al ofrecer mayor variedad de sustratos de adherencia, como: cantos rodados y guijarros, material orgánico particulado fino y grande, vegetación herbácea, arbustiva, arbórea y hojarasca en el fondo del lecho, los cuales sirven como refugio y alimento para los MAE.

El lecho, tiene un elevado porcentaje del sustrato combinado entre piedra-hojarasca y vegetación ribereña, tiende a ser rocoso en el centro del río y pedregoso-arenoso en los márgenes.

Encontramos una mayor abundancia de *Leptonema*, catalogado como colector filtrador, seguido de *Tricorytodes* colector material de depósito y *Chironomus* Mf 1 predador, en cuanto a las familias más abundantes, estuvieron representadas por: Leptophlebiidae, familia muy común en ríos y arroyos desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 4500m, (Dominguez 2009), tienen un aparato bucal herbívoro generalizado y en cuanto a sus hábitos alimenticios son considerados detritívoros o recolectores filtradores, Hydropsychidae, familia de organismos que construyen redes y refugios de seda de tipo fijo y de variados tipos, son organismos masticadores que cazan o filtran lo que atrapan con las redes, están asociados a zonas de rápidos (Dominguez 2009), Tricorythidae, organismos caracterizados por cavar túneles debajo de piedras sumergidas en ríos o arroyos como estrategia para no dejarse arrastrar por la corriente.

7.3.2.2 Estación 2 o Gelima. Con un total de 1143 individuos, pertenecientes a 31 géneros, de 20 familias en 10 órdenes, los géneros más abundantes *Thraulodes*, catalogado como colector filtrador, seguido de *Anacroneuria* predador y *Smicridea* colector filtrador.

En cuanto a las familias dominantes, estuvieron representadas por Leptophlebiidae, familia muy común en ríos y arroyos desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 4500m (Dominguez 2009), con aparato bucal herbívoro generalizado considerados detritívoros o recolectores filtradores Hydropsychidae, familia de organismos que construyen redes y refugios de seda de tipo fijo y de variados tipos, masticadores que cazan o filtran lo que atrapan con las redes (Dominguez 2009) y Perlidae, familia de organismos de aguas corrientes limpias, bioindicador por excelencia de sistemas con buena calidad, asociado principalmente a piedras, troncos, hojas y partes subacuáticas de plantas (Dominguez 2009), en cuanto a los hábitos alimenticios, no son organismos monofagos, por lo que son oportunistas carnívoros que predan a otros insectos.

7.3.2.3 Estación 3 o Confluencia. Con un total de 686 individuos, pertenecientes a 33 géneros, agrupados en 20 familias y 9 órdenes, se destacaron en abundancia los géneros *Simulium*, catalogado como colector filtrador, *Hexatoma*, catalogado como predador de igual manera *Chironomus* Mf 1, en cuanto a las familias encontramos dominantes a Perlidae, caracterizada por vivir en aguas rápidas bien oxigenadas, debajo de diversos sustratos como piedras, troncos, ramas y hojas (Dominguez 2009), Leptophlebiidae, organismos caracterizados por tener un aparato bucal herbívoro generalizado, considerados detritívoros o recolectores filtradores, su alimentación está basada principalmente en algas y tejidos de plantas acuáticas, viven por lo regular en aguas limpias con buenas condiciones de oxígeno, se encuentran adheridos principalmente a rocas, troncos, hojas o vegetación sumergida (Dominguez 2009) e Hydropsychidae familia de organismos los cuales habitan principalmente debajo de piedras, troncos y material vegetal, estos organismos construyen redes y refugios de seda fijos de variados tipos, son organismos masticadores que cazan o filtran lo que atrapan con las redes, (Dominguez 2009) en resumen, este grupo de dominantes corresponden a los órdenes Plecoptera, Ephemeroptera y Trichoptera.

7.3.3 Abundancia por épocas.

7.3.3.1 Época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales. En esta época se colectó un total de 2288 individuos, pertenecientes a 38 géneros, agrupados en 24 familias, durante esta época se destacó la abundancia de *Thraulodes*, catalogado como colector filtrador, seguido de *Anacroneuria*, predador y *Smicridea* organismo colector filtrador, en cuanto a las familias, las dominantes son Leptophlebiidae, familia de organismos caracterizados por tener un aparato bucal herbívoro generalizado, considerados detritívoros o recolectores filtradores, con una alimentación basada principalmente en algas y tejidos de plantas acuáticas, viven por lo regular en aguas limpias con buenas condiciones de oxígeno, se encuentran adheridos principalmente a rocas, troncos, hojas o vegetación sumergida (Dominguez 2009), Hydropsychidae, familia de organismos los cuales habitan principalmente debajo de piedras, troncos y material vegetal, estos organismos construyen redes y refugios de seda fijos de variados tipos, son organismos masticadores que cazan o filtran lo que atrapan con las redes (Dominguez 2009) y por último la familia Perlidae, caracterizada por vivir en aguas rápidas bien oxigenadas, debajo de diversos sustratos como piedras, troncos, ramas y hojas (Dominguez 2009).

Como podemos observar que para la época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales, los organismos dominantes, corresponden a los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera respectivamente.

7.3.3.2 Época de alta intensidad de lluvias con altos caudales. Para esta época, se colectaron en total 568 individuos, pertenecientes a 40 géneros, de 27 familias, los grupos dominantes estuvieron representados por *Anacroneuria*, catalogado como predador, seguido de *Leptonema*, catalogado como colector filtrador y *Leptohyphes* organismo colector de material de depósito, en cuanto a las familias, tenemos a Perlidae, caracterizada por vivir en aguas rápidas bien oxigenadas y ser encontrada en diversos sustratos como piedras, troncos, ramas y hojas (Dominguez 2009), Hydropsychidae, familia caracterizada por habitar principalmente debajo de piedras, troncos y material vegetal, estos organismos construyen redes y refugios de seda fijos de variados tipos, son organismos masticadores que cazan o filtran lo que atrapan con las redes (Dominguez 2009) y Leptophlebiidae, familia de organismos caracterizados por tener un aparato bucal herbívoro generalizado, considerados como detritívoros o recolectores filtradores, con alimentación basada principalmente en algas y tejidos de plantas acuáticas, por lo regular se encuentran adheridos principalmente a rocas, troncos, hojas o vegetación sumergida en aguas limpias con buenas condiciones de oxígeno (Dominguez 2009).

Como podemos observar, para la época de alta intensidad de lluvias con altos caudales, los organismos dominantes, corresponden a los órdenes Plecoptera, Trichoptera y Ephemeroptera, respectivamente.

De acuerdo a la abundancia calculada a partir de los datos acumulados, para las tres estaciones y durante todo el estudio podríamos decir que existe una tendencia a una mayor abundancia por parte de organismos pertenecientes a los órdenes Plecóptera, Epheméroptera y Trichóptera, dichos organismos comparten algunas condiciones ecológicas semejantes como es el hecho de habitar en sitios bien oxigenados y ser encontrados en diversos tipos de sustratos asociados a piedras, troncos, ramas y hojas, en términos generales, se configura de esta manera el índice Plecoptera-Ephemeroptera-Trichoptera, PET, de amplia utilización para bioindicación en Norteamérica y que cataloga a las aguas como de aguas en términos generales de buena calidad.

Este tipo de relación, la cual tiene correspondencia con los datos fisico-químicos encontrados, inicialmente nos expresa que no hay un efecto marcado, producto de la contaminación sobre la comunidad biológica, conformándose una estructura, la cual refleja que las características o condiciones ambientales del medio en que se encuentran, son aptas para el desarrollo de la biota acuática en general.

De otra parte, cabe anotar que la presencia o ausencia de una especie o familia, así como su densidad o abundancia son los parámetros utilizados como indicadores de calidad. La mayor diferencia con los índices fisicoquímicos es el

hecho de permitir indicar el estado del agua en un periodo prolongado de tiempo, definido por la duración del ciclo vital de cada individuo. Sin embargo este tipo de análisis debe ser respaldado con los registros de análisis físico-químicos, en caso de pretender identificar agentes contaminantes en particular.

7.3.4 Análisis de distribución y estructura.

7.3.4.1 Índice de Similitud de Bray Curtis Esta prueba, se aplicó basándose en la estructura de la comunidad de MAE, producto de las abundancias promedio a nivel de género, teniendo como variables las tres estaciones y dos épocas de muestreo.

Al aplicar dicha prueba de similitud, se puede observar una clara separación entre las dos épocas (alta y baja), lo que nos puede indicar que las condiciones brindadas por cada una de las épocas, afectan la estructura y composición taxonómica de la comunidad, este fenómeno puede ser explicado principalmente por los cambios en el nivel del caudal o dinámica hídrica, ya que bajo el punto de vista físico-químico no hay cambios significativos.

Es así como el cambio de caudal en los ríos provoca numerosos y complejos cambios, tanto en sus características bióticas como abióticas (PEÑAZ, 1968).

Como lo expresan (WARD & STANFORD, 1979), en la mayoría de los ríos no contaminados se considera que la temperatura, el caudal y el tipo de sustrato son los principales parámetros ambientales que determinan las poblaciones de macroinvertebrados.

De otra parte como consecuencia de los incrementos de la velocidad y niveles del caudal, conllevan a producir una disminución en la variabilidad de los hábitats o nichos disponibles por los macroinvertebrados (DYNESIUS & NILSSON, 1994), observándose un empobrecimiento de la comunidad, siendo menor la diversidad (ARMITAGE, 1977; ARMITAGE et al., 1987; WARD & STANFORD, 1979).

De tal manera podemos observar como también las estaciones más semejantes, se presentan para la época baja al haber una mayor estabilidad del medio, de tal manera para la época baja tenemos la estación 2 (Gelima) y la estación 1 (Sitio de presa) con el porcentaje mas alto en similitud (52,2%), seguidos de confluencia en la misma época, de otra parte encontramos un el segundo grupo para la época de alta conformado por la estación 2 (Gelima) y la estación 3 (confluencia) con el 48,35% y por último se encuentra la estación 1 (Sitio de presa) con 39,57%.

Según Hynes (1974, tomado de: Silveira, 2004), la distribución de los insectos acuáticos está bastante influenciada por la alimentación, las condiciones físicas y químicas del agua, y por factores como las sequías y las inundaciones.

7.3.4.2 Análisis métrico multidimensional (MDS) Encontramos una correspondencia con el análisis de Clusters de Bray Curtis, se definen dos grupos en cuanto a época y se evidencia que en época de alta pluviosidad y altos caudales tienden a ser menos semejantes las estaciones, de tal manera que la época hidrológica si está afectando la estructura de los macroinvertebrados.

7.3.4.3 Grupos Funcionales. De acuerdo con el grado de adaptación morfológica y comportamiento de los macroinvertebrados que les permite explorar los diversos recursos alimenticios, éstos pueden ser obligatorios o facultativos (Merrit y Cummins, 1978).

Las formas especialistas obligatorias (especies con dietas alimenticias muy restringidas), desaparecen más rápido que las generalistas facultativas (especies que se alimentan de diversas fuentes vegetales y/o animales). Éstas últimas son las más tolerantes, debido a que pueden adaptarse más fácilmente al movimiento y al cambio de dieta. La presencia y abundancia de varios grupos funcionales de alimentación, es un reflejo directo de la disponibilidad de recursos alimenticios necesarios (tanto en cantidad como en calidad) y de las condiciones de los parámetros ambientales relacionados (Cummins, 1996). Un ejemplo claro de este comportamiento sería el movimiento de las diferentes especies hacia la zona adyacente o el hecho de ocupar diferente tipo de sustrato para no ser arrastrados cuando aumenta el nivel de caudal.

Como se puede observar y de acuerdo a la distribución de los organismos encontrados, se puede deducir que la mayoría no eligen un hábitat determinado, y por el contrario pueden encontrarse en cualquier sitio, ya sea adheridos o posados sobre o debajo de las rocas, troncos, en las raíces y tallos de la vegetación ribereña, en madrigueras sobre la hojarasca o nadando sobre la superficie del agua.

Con el fin de evaluar el cambio presentado, de acuerdo a la disponibilidad de ambientes y recursos, se realiza un análisis basado en el grupo funcional para cada una de las épocas.

Encontramos una tendencia al incremento de los predadores en la época de alto nivel, este es el caso por ejemplo de *Plecoptera*, caracterizada por vivir en aguas rápidas bien oxigenadas y ser encontrado en diversos sustratos como piedras, troncos, ramas y hojas, el hecho de disminuir la velocidad del caudal en época de baja, puede conllevar a una severa reducción de plecópteros y pone de manifiesto la escasa tolerancia de este grupo en cuanto al tipo de hábitat y, en particular, a las condiciones hidrológicas que requiere (WARD & SHORT, 1978).

En la estación 1 o Sitio de presa, se observa un incremento en los organismos pastoreadores y predadores, esto pudo deberse a que en este sitio, se presenta

mejor disponibilidad de tipos de hábitat, al ofrecer mayor variedad de sustratos de adherencia, como: cantos rodados, guijarros, material orgánico particulado mediano y grande, vegetación herbácea, arbustiva, arbórea y hojarasca en el fondo del lecho, los cuales sirven como refugio y alimento para los MAE.

En la estación 2 o Gelima, se observa una disminución en la abundancia relativa de los organismos de hábitos colectores filtradores y predadores, no hay incremento de ningún otro grupo, esto puede deberse a la disminución en el flujo y la velocidad de la corriente, producido por la presa para generación de energía en este sitio.

Varios autores han considerado que el flujo de la corriente es el factor más importante para la estructura de la comunidad de los invertebrados bentónicos en los ecosistemas lóticos (Ward, 1992; Allan, 1998). El poder hidrodinámico del flujo actúa como un mecanismo directo que influye en la distribución de los organismos, al tener implicaciones indirectas sobre las variables que determinan los nichos. A la vez, las irregularidades de los componentes del lecho fluvial (sustratos, plantas vasculares, hojarasca, etc.) alteran los patrones de la corriente y permiten la formación de interacciones complejas entre los diversos grupos funcionales.

En la estación 3 o Confluencia, a pesar de disminuir el número de órdenes en 1 unidad y tener un número de individuos, inferior a las otras 2 estaciones, se mantiene la diversidad y no denota ningún incremento en alguno de ellos, esto también puede demostrar una recuperación del sistema en este sitio.

7.3.5 Análisis de diversidad y abundancia.

7.3.5.1 Índice de Shannon Weaver. En ecología, el término diversidad, en general se refiere a la diversidad de especies, expresando el número de poblaciones y sus abundancias relativas.

La idea de diversidad de especies está basada en la suposición que las especies influyen unas a las otras y al medio, y esto se puede ver con los números de especies presentes y sus abundancias relativas (McNaughton y Woelf, 1979; Boughey, 1968).

La diversidad de especies tiene dos componentes: El número de especies presente, que se puede llamar de riqueza; y la abundancia relativa de las especies, llamada en general de regularidad o equidad. El índice H trabaja con uno de esos dos componentes, y es uno de los más utilizados (Qinghong, 1995).

7.3.5.2 Análisis de diversidad entre zonas. La estación 1 o sitio de presa, presentó mejor disponibilidad de hábitat, al ofrecer mayor variedad de sustratos de adherencia, como: piedras medianas, grandes, guijarros, material orgánico

particulado fino y grande, vegetación herbácea, arbustiva, arbórea y hojarasca en el fondo del lecho, los cuales sirven como refugio y alimento para los MAE, situación por la cual se obtuvo un valor por encima del promedio anual (2.02) correspondiente a mediana diversidad, aguas medianamente contaminadas, en este sitio encontramos el mayor número de órdenes, familias y géneros.

La estación con más bajo índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') fue la estación 2 o Gelima, con un valor de 1,92, el cual se encuentra por debajo del promedio anual (1,96). El valor obtenido, corresponde a un valor de Mediana diversidad y aguas medianamente contaminadas, aunque el valor obtenido no difiere considerablemente de las otras dos estaciones, esta condición puede deberse a la presencia de una presa, ya que según Silveira (2004) y McCafferty y Provonsha (1981), entre los factores que determinan considerablemente la composición cualitativa y cuantitativa de los MAE en los diversos sustratos y épocas hidrológicas durante el año, están los tipos de sustrato ubicados donde la corriente del agua es mayor, de esta manera muchos organismos de acuerdo con sus necesidades de oxígeno se ubican en las zonas de rápidos, como algunos miembros de las familias Philopotamidae y Simuliidae. Dicha presa actúa como una barrera artificial que disminuye considerablemente la velocidad, el flujo del agua, favorece la acumulación de partículas finas, por lo que en este sitio podemos encontrar representantes de Oligoquetos, característicos de este tipo de sustrato, los cuales son detritívoros.

De otra parte, se encuentra la estación 3 o confluencia, caracterizada por ser una zona donde confluyen la quebrada "Los Cafés" el río Ovejas y el Cauca, con un valor de 1,95, correspondiente a mediana diversidad. Encontramos en este sitio una disminución en cuanto al número de individuos colectados, pero con una diversidad que se mantiene muy semejante a la estación 2.

La variación de la diversidad entre zonas para el periodo de estudio, con respecto a este índice es baja, encontrándose dentro de la desviación estándar del promedio, las tres zonas se caracterizan por tener valores alrededor de 2,0 que corresponden a una mediana diversidad, incluidos en el rango 1,6-3,0, caracterizando la zona como aguas medianamente contaminadas, de esta manera hay una correspondencia desde el punto de vista físico-químico hídrico.

7.3.5.3 Diversidad entre épocas. Para la época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales, se encontró un valor promedio de 1,98 por encima pero muy cercano del promedio total de la zona y las dos épocas; para la época de alta intensidad de lluvias con altos caudales, se encontró un valor de 1,95, por debajo pero muy cercano del promedio de la zona, aunque la diferencia no es significativa, este fenómeno puede deberse a la inestabilidad y el estrés producido por el aumento de la velocidad y nivel de caudal. Para las dos épocas, los dos valores corresponden a una mediana diversidad, caracterizando la zona como aguas con mediana diversidad y medianamente contaminadas.

La variación de la diversidad entre épocas para el periodo de estudio, con respecto a este índice es mínima, caracterizándose de igual manera las dos épocas como de mediana diversidad y aguas medianamente contaminadas ya que los valores están comprendidos entre el rango de 1,6 y 3,0.

De acuerdo a lo anterior podríamos decir que según el análisis de diversidad de Shannon, existe una concordancia entre los valores fisicoquímicos encontrados característicos de una cuenca media a baja y nos expresa que no hay un efecto de contaminación severo sobre la comunidad biológica, reflejando que las características o condiciones ambientales del medio en que se encuentran no están muy contaminadas.

7.3.6 Bioindicación y Calidad del agua.

7.3.6.1 Índice BMWP. Las tres estaciones de muestreo, a pesar de tener ciertas diferencias con respecto a la oferta de hábitat, velocidad de corriente entre otros, presentan una calidad biológica de agua de tipo aceptable, correspondiente a aguas medianamente contaminadas clase III. Sin embargo la estación 3 confluencia, tiene una puntuación mayor 82, en relación con las otras dos estaciones, la estación 3 o confluencia obtiene su más alto valor en época de alta pluviosidad y alto nivel de caudal, donde la dinámica hídrica favorecida por la pendiente del lecho y el aporte de los tributarios, puede favorecer las condiciones y se corrobora lo que según Silveira (2004) y McCafferty y Provonsha (1981), entre los factores que determinan considerablemente la composición cualitativa y cuantitativa de los MAE en los diversos sustratos y épocas hidrológicas durante el año, están los tipos de sustrato ubicados donde la corriente del agua es mayor permitiendo el desarrollo y establecimiento de taxa más diversos.

El valor promedio de este índice de calidad, para toda la zona y periodo de estudio fue de 75, dando una caracterización de calidad aceptable con características de aguas medianamente contaminadas, demostrando una alta relación en cuanto a la fisico-química y el valor del índice de diversidad de Shannon Weaver, que caracteriza al sistema como de mediana diversidad y aguas medianamente contaminadas.

7.3.6.2 Análisis de calidad biológica entre zonas. La zona con más bajo índice de calidad biológica (BMWP) fue Gelima (zona 2) con 68, valor por debajo del promedio anual correspondiente a una calidad aceptable, aguas medianamente contaminadas, seguido del sitio de presa (zona 1) con 77 por encima del promedio anual correspondiente a una calidad aceptable, aguas medianamente contaminadas, por último encontramos a la confluencia (zona 3) con 79 por encima del promedio anual correspondiente a una calidad aceptable, aguas medianamente contaminadas.

La variación del índice de calidad biológica (BMWP) entre zonas para el periodo de estudio es mínima, ya que se encuentra dentro de la desviación estándar del promedio, las tres zonas se caracterizan por tener una calidad aceptable, aguas medianamente contaminadas.

7.3.6.3 Análisis de calidad biológica entre épocas. Teniendo en cuenta el promedio anual (75); Para la época de baja intensidad de lluvias con bajos caudales, y se encontró un valor por debajo de este promedio, con 73, correspondiente a la caracterización de calidad aceptable, aguas medianamente contaminadas y para la época de alta intensidad de lluvias con altos caudales, se encontró un valor por encima del promedio anual 77, correspondiente a la caracterización de calidad aceptable, aguas medianamente contaminadas.

La variación del índice de calidad biológica para el periodo de estudio, con respecto a este índice es mínima, ya que se encuentra dentro de la desviación estándar del promedio, podríamos caracterizar las dos épocas con una calidad aceptable, aguas medianamente contaminadas.

La calidad biológica determinada mediante el índice BMWP para el tramo estudiado durante el año de trabajo, tanto por zonas como por épocas, es muy similar u homogénea, tendiendo a aceptable, aguas medianamente contaminadas, guardando correspondencia con los otros análisis realizados como el de Shannon Weaver y la caracterización físico-química hídrica.

Cabe destacar que este índice es específico para contaminación de naturaleza orgánica, y se basa en el concepto de organismo indicador, permite la valoración del estado ecológico afectado por este proceso de contaminación y los valores encontrados son normales para una cuenca baja, además las variaciones en el caudal, no parecen afectar de manera decisiva la calidad biológica en las diferentes estaciones.

CONCLUSIONES.

- A pesar que el río Ovejas en su cuenca alta y media está siendo impactado por varias actividades antrópicas, entre las cuales se destacan el lavado de fique y las rallanderías, el tramo de estudio presenta características fisicoquímicas y biológicas normales para un cuerpo de agua natural.
- El factor que influye sobre la estructura de la comunidad de MAE, está dado por la época y no por la fisicoquímica del sistema.
- Existe una correspondencia entre la calidad biológica encontrada y los datos físico-químicos del sistema.
- La variabilidad del índice de diversidad Shannon Weaver entre zonas de muestreo y entre épocas durante el periodo de estudio, fue mínima y las tres zonas se caracterizan por tener valores correspondientes a mediana diversidad y aguas medianamente contaminadas durante las dos épocas.
- La calidad biológica del río ovejas determinada mediante el índice biótico BMWP, durante el período de estudio (un año) en el tramo tratado, presenta un nivel o grado aceptable con tendencia a buena, lo que se refleja en los MAEs mediante una diversidad media con tendencia a alta.
- La calidad biológica determinada mediante el índice BMWP para el tramo estudiado durante el año de trabajo, tanto por zonas como por épocas, es muy similar u homogénea.
- No se presenta cambio significativo en la calidad biológica del río entre una y otra época climática, razón por la cual la diversidad es relativamente constante.
- El cambio significativo se presenta en la abundancia de organismos detectados a nivel de Géneros, sin embargo la riqueza a nivel de Órdenes y Familias se mantiene constante.
- Las tres zonas del tramo estudiado, presentan características de hábitat similares, por cuanto a la estructura de comunidad de MAEs se refiere son también similares.

- La mayor similitud se presentan en época de baja, esto puede deberse a la estabilidad del sistema, por el contrario en época de alta, dicha similitud disminuye considerablemente, lo que se ve reflejado en la estructura de la comunidad MAE.
- Tanto por zonas como por épocas, las familias con mayor abundancia de organismos pertenecen a los órdenes Plecóptera, Efemeróptera y Tricóptera, configurándose de esta manera el índice PET, de amplia utilización para bioindicación en Norteamérica para sistemas con buena calidad del agua.

BIBLIOGRAFIA.

ALBA - TERCEDOR J. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos IV simposio del agua en Andalucía (SIAGA), 1996. Almería, Vol. II : 203 – 213. ISSN: 84 – 7840.

-----, and Sánchez-Ortega. Un Método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 1988; 4: 51-56.

-----.. & Jiménez – Millán F. Evaluación de las variaciones estacionales de la calidad de las aguas del río Guadalfeo, basada en el estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. *Lucdeme III. ICONA, Monografía 1987; 48: 1 – 91.*

ALLAN, J. D. *Stream Ecology Structure and Function of Running Waters.* Chapman & Hall, New York, 1998, 388 pp.

ARMITAGE, P. D., R. J. M. GUNN, M. T. FURSE, J. F. WRIGHT & D. MOSS. The use of prediction to assess macro invertebrate response to river regulation. *Hydrobiology*, 1987, 144: 25-32.

-----, B. Moss, D., Wright, J.F. & Furse, M.T. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running – water. *Water Res.* 1983. 17(3): 333 – 347.

-----, D. Invertebrate drift in the regulated river Tees, and unregulated tributary Maize beck, below Cow Green dam. *Freshwat. Biol.*, 1977, 7: 167-183.

BOHORQUEZ A, J. L. Ardila., L.A. Franco. Contribución al estudio Limnológico por bioindicación con Macroinvertebrados bentónicos en aguas continentales de Colombia; Fase I Río Bogotá. 1993.

-----, A. Acuña. Inventario de las Morfofamilias de las Clases Gasterópoda y Clitelata, como bioindicadores limnológicos de la Laguna de la Herrera p. 22. *Memorias XIX Congreso Nacional. Y III Grancolombiano de Ciencias Biológicas.* 1994. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 1984. 70 pp.

CHRISTIE, C. & J. SMOL. Diatom Assemblages as Indicators of Lake Trophic Status in Southeastern Ontario Lakes. *J. Phycol.* 1993. 29: 575-586

CUMMINS, K. W. and KLUG, M. J., Feeding ecology on stream invertebrates. *In: An. Ver. Ecol. Syst.*, 10: 147-172. Tomado de: CALLISTO, M., MORENO, P. and BARBOSA, F. A 2000. Habitat diversity and benthic functional trophic groups at serra do cipó, southeast Brazil. *In: Rev. Brasil. Biol.*, 1979. 61(2): 259-266.

DOMINGUEZ, E & H. R. Fernández., Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología.* Fundación Miguel Lilo, Tucumán, Argentina. 2009 656 pp.

DYNESIUS, M. & C. NILSSON. Fragmentation and flow regulation of river systems in the Northern Third of the world. *Scierzce*, 1994.266: 753-762.

HELLAWELL, J.M. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier, England. 1986. 546 pp.

HOLDRIDGE, L., *Ecología basada en las zonas de vida.* Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica. 1978.

INFORME: Actualización de la caracterización hídrica e hidrobiológica del área de influencia del proyecto de trasvase del río Ovejas al embalse La Salvajina, para identificar y evaluar posibles impactos ambientales.

JUNK, W.J. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. *In: L.B. Holm-Nielsen, I.C. Nielsen & H. Balslev eds. Tropical forests: Botanical dynamics, speciation and diversity.* London, Academic Press. pp. 47-64. Mentioned for: JUNK, W.J. and WANTZEN, K.M. 2004. The Flood Pulse Concept: New aspects, approaches and applications – an update. 1989. 117-140 pp.

KAY, W. R.; SMITH, M. J.; PINDER, A. M.; McRAE, J. M.; DAVIS, J. A.; HALSE, S. A.. Patterns of distribution of macroinvertebrate families in rivers of north-western Australia. *In: Freshwater Biology.* 1999. 41: 299-316 pp.

KELLY, M. & B. WHITTON. The Trofic Diatom Index: a New Index for Monitoring Eutrofication in River. *Journal of Applied Phycology* 1995, 7: 433-444 pp.

McCAFFERTY, W., and PROVONSHA, A. *Acuatic Entomology.* Science Books International. Boston, Massachusetts 1981..

McNAUGHTON, S.J.; Woef, L.L. *General ecology.* 2ed. New York: Holt, Rinehart & Winston. 1979, 702p.

MERRIT, R.W., and CUMMINS, K.W. (Eds.). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt. Publ. Co. 1984.

MINSHALL, G.W.. Developments in stream ecosystem theory. **In:** Journal of Fisheries and Aquatic Science. 1985, 42: 1045-1055 pp.

MORENO, C.E. Métodos para medir la biodiversidad, M&T - Manuales y Tesis SEA. Vol. 1. Zaragoza (España). 2005. 84 p.

ORTEGA C, J. Y. Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de las aguas negras tratadas a través del sistema de eriales de oxidación. 1998; Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta.

PEÑAZ, M., F. KUBICEK. P. MARVAN & M. ZELINKA. Influence of the Vir Valley Reservoir on the hydrobiological and ichthyological conditions in the River Svratka. Acta Sci. Nat. Brno, 1968. 2: 1-60 pp.

PINHEIRO, M. S. Aplicação do Biomonitoramento para Avaliação da Qualidade da Água em Rios. ISSN 1516-4691. Jaguariúna, SP. Disponible en internet: <http://www.cnpma.embrapa.br> 2010.

POSADA G., José A., ROLDAN P., Gabriel y RAMIREZ R., John J. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Rev. biol. trop.* [online]. mar. 2000, vol.48, no.1 [citado 26 Octubre 2009], p.59-70. Disponible en la World Wide Web: <http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442000000100008&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0034-7744.

PRAT, N. y A. Muné, , *Delimitación de regiones ecológicas de la cuenca del Ebro*, Universidad de Barcelona, Departamento de Ecología, Barcelona. 1999.

QINGHONG, L. A model for species diversity monitoring at community level and its applications. *Environmental Monitoring and Assessment*, Dordrecht, v.34, n.3, 1995. .271-287 pp.

ROLDAN G, J. Builes, C.M. Trujillo, A. Suarez Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna bentica del río Medellín. *Act. Biol.* 1973; 2(5): 54-64 pp.

----- . Estudios limnológicos de cuatro ecosistemas neotropicales diferentes, con especial referencia a su fauna de Ephemeropteros. *Act. Biol.* 1980; 9 (34): 103-117.

----- . Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Dpto de Antioquia. 217 pag Bogotá, Fondo FEN. Colombia – Colciencias – Universidad de Antioquia; 1988.

-----.. Fundamentos de limnología Neotropical. Universidad de Antioquia. 1992. 251-454 pp.

-----.. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 23 (88): 375-387. 1999.

-----, et al.,. Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. Rev. Acad. Col. Cien. Exac. Fis. y Nat.; Colección Jorge Álvarez Lleras, 2001; n° 9 , 152 p.

-----.. 2003. Bioindicación de la calidad del aguas en Colombia. Uso del método BMWP/Col, 170 p. Primera edición. Medellín. Colombia :Editorial Universidad de Antioquia; 2003.

SAWYER, cn y pl. Mccarty, Chemistry for sanitary engineers. McGraw-Hill Book Company, N.Y. 1967.

SHANNON, C.E., and W. WEAVER,. The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press, Urbana. 1949

SILVEIRA, M. P., BUSS, D. F., NESSIMIAN, J. L. and BAPTISTA, D.F. Spatial and temporal distribution of Benthic macroinvertebrates in a southeastern Brazilian river. In: Brazilian Journal of Biology. 2006. 66 (2B): 623-632 pp.

SORENSEN, T.,. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of organisms symposium. D.A. Wolfe. 1948. 78 – 94 pp.

TER BRAAK, C.J.F. y F.M. Verdonshot. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in Aquatic Ecology. Aquatic Sciences 57: 255-286 pp.

VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL, and C. E. CUSHING. The river continuum concept. In: Can. J. Fish Aquat. Sci. 1980. 37: 130–137 pp.

VÁSQUEZ, G.L Cap 6 CAUDAL AMBIENTAL CONCEPTOS EXPERIENCIAS Y DESAFIOS, Editorial: Universidad del Valle (Cali, Colombia), Diciembre de 2009. ISBN: 978-958-670-768-8.

VASQUEZ, G.L. “Evaluación de la calidad de las aguas naturales” significado y alcances en la determinación y análisis de parámetros físico-químicos y biológicos fundamentales. Guía de clases. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Universidad del Cauca. 1992.

WARD, J.V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. In: Journal of the North American Benthological Society 1989. 8: 2-8.

-----, and STANFORD, J.A. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. Dynamics of lotic ecosystems. T.D. Fontaine & S.M. Bartell eds. In: *Ann Arbor Science Publishing*. pg. 29-42. Mentioned for: JUNK, W.J. and WANTZEN, K.M. 2004. The Flood Pulse Concept: New aspects, approaches and applications an update. 1983. pág. 117-140.

WARD, J. V. & J. A. STANFORD. Ecological factors controlling stream zoobentos with emphasis on thermal modification of regulated streams. In: The Ecology of Regulated Strenms (J. V. WARD & J. A. STANFORD, ed) 35-55. Plenum Publishing. New York. 1979.

WARD, J. V. & R. A. SHORT. Macroinvertebrate community structure of four special lotic habitats in Colorado, U.S.A. *Verlz. Internat. Vereh. Linzraol.*, 1978, 20: 1382- 1387 pp.

ZAMORA, G.H. El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. En: Memorias XL Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Universidad del Valle y Universidad Autónoma. ISSN 0120-4173. Vol. 17. Santiago de Cali (Colombia). Octubre. 2005. 231 p.

-----, Evaluación Rápida de la Calidad ambiental en Ecosistemas lóticos mediante el análisis de sus macroinvertebrados. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas ACCB*. 1998.

-----, Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Rev. Unicauca-Ciencia*, 1999; 4: 47-60.

-----, Aspectos Bioecológicos de las comunidades de macroinvertebrados dulceacuícolas en el Departamento. del Cauca. *Unicauca-Ciencia* 1996; 1 (1): 9-11.

-----, Macroinvertebrados dulceacuícolas en los diferentes pisos altitudinales del Dpto. del Cauca. Fase I. 1991. Universidad del Cauca – Colciencias, Depto de Biología, Popayán.

-----, Macroinvertebrados dulceacuícolas en los diferentes pisos altitudinales del Dpto. del Cauca. Fase II. 1993. Universidad del Cauca – Colciencias , Depto de Biología, Popayán.

-----, Relaciones de Similitud entre comunidades de macroinvertebrados dulceacuícolas de ecosistemas lóticos ubicados entre la Costa Pacifica Caucana y

el Piedemonte Amazonico. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas 1995; 9 (1-2): 7-21.

-----, Macroinvertebrados dulceacuícolas del Parque Natural Nacional, Isla Gorgona, dpto. Cauca. Unicauca-Ciencia, 1996; 1(1): 9-11

-----, H. Sarria. Calidad biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderías de yuca, mediante la utilización de sus macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, comparando además la aplicación de los índices de Shannon-Weaver y BMWP. Rev. Unicauca-Ciencia, 2001; 6: 21-41.

ZAMORA-MUÑOZ C., C.E. Sáinz-Cantero., a. Sanchez-Ortega, and J. Alba-Tercedor. Are biological indices BMWP an ASPT and their significance regarding water quality seasonally dependent? Factors explaining their variations. Water Research 1995; 29: 285-290.

ZUÑIGA de Cardozo M. C., Estudio de la Ecología del río Cali con énfasis en su fauna bentónica como indicador biológico de la calidad. Rev. AINSA. 1985; 8(2): 91-105

-----, A.M. Rojas G. Caicedo. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del Río Cauca. Memorias segundo Seminario Nacional de limnología. Asociación Colombiana de Limnología. 1994; Pags 125-135. Medellín.

Anexo 1. Lista de géneros, abundancias absolutas y relativas (%) encontradas durante todo el estudio en las dos épocas y las tres zonas.

GÉNERO	ESTACION 1. SITIO DE PRESA				ESTACION 2. GELIMA				ESTACION 3. CONFLUENCIA			
	EPOCA BAJA		EPOCA ALTA		EPOCA BAJA		EPOCA ALTA		EPOCA BAJA		EPOCA ALTA	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<i>Simulium</i>	8	0,99	7	3,17	7	0,69	2	1,54	0	0,00	2	0,92
<i>Hexatoma</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,21	0	0,00
<i>Chironomus</i> Mf 1	28	3,47	27	12,22	4	0,39	0	0,00	6	1,28	0	0,00
<i>Chironomus</i> Mf 2	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	4	0,85	0	0,00
<i>Rhaphium</i>	2	0,25	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>Leptonema</i>	39	4,84	47	21,27	91	8,98	18	13,85	74	15,78	12	5,53
<i>Smicridea</i>	92	11,41	3	1,36	132	13,03	2	1,54	33	7,04	5	2,30
<i>Helicopsyche</i>	0	0,00	2	0,90	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>Atanatolica</i>	14	1,74	1	0,45	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	0,92
<i>Atopsyche</i>	1	0,12	1	0,45	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>Mortoniella</i>	1	0,12	0	0,00	12	1,18	1	0,77	21	4,48	0	0,00
<i>Anacroneuria</i>	45	5,58	15	6,79	170	16,78	21	16,15	81	17,27	85	39,17
<i>Baetis</i>	8	0,99	1	0,45	8	0,79	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>Baetodes</i>	2	0,25	0	0,00	20	1,97	0	0,00	0	0,00	1	0,46
<i>Camelobaetis</i>	0	0,00	0	0,00	9	0,89	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>Thraulodes</i>	78	9,68	1	0,45	205	20,24	12	9,23	106	22,60	19	8,76
<i>Travelera</i>	17	2,11	0	0,00	29	2,86	1	0,77	25	5,33	3	1,38
<i>Terpides</i>	20	2,48	9	4,07	17	1,68	5	3,85	3	0,64	2	0,92
<i>Mf 3</i>	63	7,82	2	0,90	59	5,82	17	13,08	1	0,21	0	0,00
<i>Tricorytodes</i>	105	13,03	30	13,57	95	9,38	1	0,77	46	9,81	2	0,92
<i>Leptohyphes</i>	112	13,90	7	3,17	64	6,32	24	18,46	13	2,77	30	13,82
<i>Lachlania</i>	0	0,00	2	0,90	4	0,39	1	0,77	0	0,00	0	0,00
<i>Microvelia</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	4	3,08	0	0,00	0	0,00
<i>Rhagovelia</i>	23	2,85	6	2,71	0	0,00	4	3,08	2	0,43	9	4,15

Continuación **Anexo 1**. Lista de géneros, abundancias absolutas y relativas (%) encontradas durante todo el estudio en las dos épocas y las tres zonas.

GÉNERO	ESTACION 1. SITIO DE PRESA				ESTACION 2. GELIMA				ESTACION 3. CONFLUENCIA			
	EPOCA BAJA		EPOCA ALTA		EPOCA BAJA		EPOCA ALTA		EPOCA BAJA		EPOCA ALTA	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<i>Cryphocricos</i>	7	0,87	7	3,17	16	1,58	1	0,77	12	2,56	6	2,76
<i>Heleocoris</i>	0	0,00	2	0,90	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>Limnocoris</i>	0	0,00	8	3,62	0	0,00	1	0,77	2	0,43	4	1,84
<i>Psephenops</i>	6	0,74	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,21	2	0,92
<i>Elmoparnus</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,46
<i>Macrelmis</i>	12	1,49	3	1,36	1	0,10	0	0,00	3	0,64	9	4,15
<i>Heterelmis</i>	2	0,25	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,46
<i>Cylloepus</i>	0	0,00	0	0,00	1	0,10	0	0,00	7	1,49	0	0,00
<i>Disersus</i>	0	0,00	0	0,00	3	0,30	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>Microcylloepus</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	0,43	7	3,23
<i>Mf 4</i>	80	9,93	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,64	0	0,00
<i>Anchytarsus</i>	0	0,00	2	0,90	1	0,10	1	0,77	2	0,43	0	0,00
<i>Lutrochus</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	0,92
<i>Mf 5</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,77	0	0,00	0	0,00
<i>Corydalus</i>	30	3,72	7	3,17	57	5,63	8	6,15	14	2,99	6	2,76
<i>Macrothemis</i>	2	0,25	3	1,36	4	0,39	0	0,00	0	0,00	1	0,46
<i>Dythemis</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	1,38
<i>Tramea</i>	0	0,00	0	0,00	4	0,39	0	0,00	6	1,28	0	0,00
<i>Hetaerina</i>	0	0,00	2	0,90	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>Progomphus</i>	0	0,00	21	9,50	0	0,00	1	0,77	0	0,00	0	0,00
<i>Aelosoma</i>	3	0,37	4	1,81	0	0,00	0	0,00	1	0,21	3	1,38
<i>Slavina</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	2,31	0	0,00	0	0,00
<i>Mf 6</i>	2	0,25	1	0,45	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<i>Cylicobdella</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,77	0	0,00	0	0,00
<i>Dugesia</i>	3	0,37	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00

Anexo 2. Lista de familias, abundancias absolutas y relativas (%) encontradas durante todo el estudio en las dos épocas y las tres zonas.

FAMILIAS.	ESTACION 1. SITIO DE PRESA				ESTACION 2. GELIMA				ESTACION 3. CONFLUENCIA			
	EPOCA BAJA		EPOCA ALTA		EPOCA BAJA		EPOCA ALTA		EPOCA BAJA		EPOCA ALTA	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Simuliidae	8	0,99	7	3,17	7	0,69	2	1,54	0	0,00	2	0,92
Tipulidae	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,21	0	0,00
Chironomidae	28	3,47	27	12,22	4	0,39	0	0,00	10	2,13	0	0,00
Dolichopodidae	2	0,25	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Hydropsychidae	131	16,25	50	22,62	223	22,01	20	15,38	107	22,81	17	7,83
Helicopsychidae	0	0,00	2	0,90	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Leptoceridae	14	1,74	1	0,45	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	0,92
Hydrobiosidae	1	0,12	1	0,45	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Glossosomatidae	1	0,12	0	0,00	12	1,18	1	0,77	21	4,48	0	0,00
Perlidae	45	5,58	15	6,79	170	16,78	21	16,15	81	17,27	85	39,17
Baetidae	10	1,24	1	0,45	37	3,65	0	0,00	0	0,00	1	0,46
Leptophlebiidae	178	22,08	12	5,43	310	30,60	35	26,92	135	28,78	24	11,06
Tricorythidae	105	13,03	30	13,57	95	9,38	1	0,77	46	9,81	2	0,92
Leptohyphidae	112	13,90	7	3,17	64	6,32	24	18,46	13	2,77	30	13,82
Oligoneuridae	0	0,00	2	0,90	4	0,39	1	0,77	0	0,00	0	0,00
Veliidae	23	2,85	6	2,71	0	0,00	8	6,15	2	0,43	9	4,15
Naucoridae	7	0,87	17	7,69	16	1,58	2	1,54	14	2,99	10	4,61
Psephenidae	6	0,74	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,21	2	0,92
Dryopidae	95	11,79	3	1,36	5	0,49	0	0,00	15	3,20	18	8,29
Ptilodactylidae	0	0,00	2	0,90	1	0,10	1	0,77	2	0,43	0	0,00
Lutrochidae	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	0,92
Lampyridae	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,77	0	0,00	0	0,00
Corydalidae	30	3,72	7	3,17	57	5,63	8	6,15	14	2,99	6	2,76
Libellulidae	2	0,25	3	1,36	8	0,79	0	0,00	6	1,28	4	1,84
Calopterygidae	0	0,00	2	0,90	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Gomphidae	0	0,00	21	9,50	0	0,00	1	0,77	0	0,00	0	0,00
Glossoscolécidae	3	0,37	4	1,81	0	0,00	0	0,00	1	0,21	3	1,38
Naididae	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	2,31	0	0,00	0	0,00
Glossiphoniidae	2	0,25	1	0,45	0	0,00	1	0,77	0	0,00	0	0,00
Planariidae	3	0,37	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00