

**CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS EN UN HUMEDAL EN AVANZADO ESTADO DE SUCESIÓN, EN
LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAUCA**



VIVIANA GARCÉS RIASCOS

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2016**

**CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS EN UN HUMEDAL EN AVANZADO ESTADO DE SUCESIÓN, EN
LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAUCA**

VIVIANA GARCÉS RIASCOS

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Bióloga

DIRECTOR

M. Sc. HILLDIER ZAMORA GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2016**

Nota de Aceptación

Director _____
M.Sc. Hildier Zamora Gonzales

Jurado _____
M.Sc. Jhan Alejandro Sandoval

Jurado _____
Dr. Camilo Andrade Sossa

Lugar y fecha de sustentación: Popayán, 11 de mayo de 2016

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Pregunta de investigación	5
2. JUSTIFICACIÓN	6
3. OBJETIVOS	7
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
4. MARCO TEÓRICO.....	8
4.1 Ecosistema lenítico.....	8
4.2 Humedales	8
4.3 Sucesión y eutrofización.....	9
4.4 Macroinvertebrados Acuáticos	10
4.5 Calidad biológica del agua.....	10
4.6 BMWP Adaptado para Colombia	11
4.7 Índice de estado trófico (IET).....	12
5. ANTECEDENTES	14
6. METODOLOGÍA.....	17
6.1 Descripción del área de estudio	17
6.2 Fase de campo	18
6.2.1 Colecta de Macroinvertebrados acuáticos.....	18
6.2.2 Registro de parámetros físico-químicos	19
6.3 Fase de laboratorio.....	20
6.4 Análisis de datos.....	21
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
7.1 Usos del suelo.....	23

7.2 Composición y estructura de macroinvertebrados acuáticos.....	25
7.3 Variación en el nivel hídrico del humedal El Chuchal en cada periodo climático.....	33
7.4 Calidad biológica del agua mediante bioindicación en el humedal El Chuchal	35
7.5 Variación temporal de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el humedal El Chuchal.....	36
7.4.1 Prueba de Mann-Whitney.....	41
7.5 Caracterización físico-química del humedal El Chuchal.....	46
7.5.1 Nutrientes en el ecosistema acuático	48
7.6 Relación de los macroinvertebrados acuáticos con los parámetros físico-químicos medidos en el humedal El Chuchal	50
7.6.1 Correspondencia Canónica.....	50
7.7 Índice de estado trófico.....	52
8. CONCLUSIONES	54
9. RECOMENDACIONES.....	56
10. BIBLIOGRAFÍA.....	57
11. ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP/Col.	11
Tabla 2. Estructura y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el humedal El Chuchal.	29
Tabla 3. BMWP/Col para el humedal El Chuchal	36
Tabla 4. Valores del índice de diversidad de Shannon-Weaver, Dominancia de Simpson y géneros encontrados en cada muestreo.	38
Tabla 5. Rangos - Prueba de Mann Whitney.....	41
Tabla 6. Estadísticos de contraste - Prueba de Mann Withnney	42
Tabla 7. Parámetros físico-químicos medidos en el humedal El Chuchal.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio	17
Figura 2. Colecta de macroinvertebrados acuáticos en el humedal El Chuchal ..	18
Figura 3. Medición de parámetros físico-químicos con sonda multiparametrica ..	19
Figura 4. Puntos de muestreo. Humedal el Chuchal.....	20
Figura 5. Identificación y conteo de Macroinvertebrados acuáticos	21
Figura 6. Usos del suelo alrededor del humedal El Chuchal.....	24
Figura 7. Abundancia porcentual de ordenes	25
Figura 8. Abundancia porcentual de géneros	32
Figura 9. Distribución del número de géneros por familia	33
Figura 10. Punto 1.....	34
Figura 11. Punto 2.....	34
Figura 12. Punto 3.....	35
Figura 13. Porcentaje de abundancia de las familias encontradas en los muestreos de época seca.....	39
Figura 14. Porcentaje de abundancia de las familias encontradas en los muestreos de época de lluvias.....	40
Figura 15. Riqueza de géneros encontrados en las diferentes épocas de muestreo	43
Figura 16. Dominancia de macroinvertebrados acuáticos en las diferentes épocas de muestreo	44
Figura 17. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en las diferentes épocas de muestreo	44
Figura 18. Porcentaje de abundancia de ordenes en las diferentes épocas de muestreo.....	45
Figura 19. Análisis de correspondencia canónica (CCA).....	51

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero que todo a Dios por permitirme culminar esta meta. A mis padres por su apoyo incondicional en todo momento y por su esfuerzo para brindarme siempre lo mejor. A mi hermano Sergio Garcés. También a Alex Martínez por ser parte importante de mi vida, por apoyarme en los momentos difíciles y motivarme a seguir adelante con este proyecto de vida.

A los profesores del departamento de Biología en especial al profesor Hildier Zamora por ser mi Director en este proyecto y por sus enseñanzas a lo largo de la carrera, igualmente al profesor Leónidas Zambrano, al profesor Camilo Andrade por ayudarme en la parte estadística del trabajo. A mis compañeros por hacer de esta experiencia la mejor.

DEDICATORIA

A mis padres:

Ángel María Garcés

Aura Nelly Riascos Angulo

RESUMEN

Los humedales son ecosistemas de gran importancia por los múltiples bienes y servicios ambientales que brindan a la humanidad, desde suministro de agua dulce, alimentos y biodiversidad, hasta control de crecidas. Son fuentes de productividad primaria de las que innumerables especies vegetales y animales dependen para subsistir. Este trabajo se enfocó en el humedal El Chuchal, un ecosistema con intervención antrópica, asociado al valle geográfico del río Cauca.

Este estudio se realizó con el objetivo principal de determinar la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (MAE) del humedal teniendo en cuenta el estado de sucesión en que se encuentra. También se determinó la variación temporal de los MAE donde no se encontraron diferencias significativas, para ello se realizaron seis muestreos entre septiembre de 2013 y junio de 2014 teniendo en cuenta la época del año, se realizaron tres muestreos en época seca y tres en época de lluvias. La comunidad de macroinvertebrados acuáticos encontrada estuvo conformada por 9 órdenes, 28 familias y 58 géneros. El orden más abundante fue Coleóptera con una representación del 50.20% de la muestra total obtenida, seguido de Díptera con el 12,13%, Basommatophora 11,47%, Hemíptera 11,21%, Mesogastropoda 7,43%, Ephemeroptera 4,43%, Odonata 3,04%, Haplotaxida 0,07% y Glossiphoniiformes igualmente con 0,07% de representatividad. Estos resultados se asocian a la alta concentración de materia orgánica encontrada en el humedal.

Los valores de los índices ecológicos analizados: diversidad de Shannon-Weaver y dominancia de Simpson en los diferentes periodos climáticos, indicaron baja diversidad de MAE.

También se realizó la caracterización físico-química hídrica del humedal, para ello se efectuaron mediciones de algunos parámetros como: Temperatura Hídrica, Oxígeno disuelto (OD), porcentaje de saturación de OD, Dióxido de carbono

(CO₂), pH, Turbiedad, Conductividad, Solidos disueltos totales (SDT), Nitritos (NO₂), Nitratos (NO₃), y Amonio (NH₄) en época seca y en época de lluvias, sin presentarse variaciones drásticas en las diferentes épocas de muestreo. Según los valores registrados de las variables físico-químicas y el valor del índice de estado trófico (IET) aplicado, el humedal El Chuchal puede catalogarse como un sistema eutrófico. Por otro lado el índice BMWP/Col que en promedio tuvo valores de 88, indica aguas medianamente contaminadas para ambos periodos de muestreo.

Por otro lado el análisis de correspondencia canónica (CCA) mostró que la abundancia del género *Physa* en época de lluvias se relacionó con las concentraciones de oxígeno disuelto, pH, turbiedad, nitratos y amonio. Mientras que en época seca la significativa abundancia de *Tropisternus* se relacionó con la conductividad y el dióxido de carbono.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas muy productivos, son cunas de diversidad biológica y desempeñan diversas funciones como control de inundaciones, puesto que actúan como esponjas almacenando y liberando lentamente el agua de lluvia; recarga de acuíferos (aguas subterráneas); retención de sedimentos y nutrientes; recreación y turismo. La interacción del suelo, el agua, las especies animales, los vegetales y los nutrientes permiten que los humedales desempeñen estas funciones y generen vida silvestre, pesquería, recursos forestales, abastecimiento de agua y fuentes de energía. Los humedales son sumideros de CO₂, que contribuyen así a la disminución del efecto invernadero y por ende, a la atenuación del cambio climático. La combinación de estas características permite que los humedales sean importantes para la sociedad. En estos ecosistemas vive una variada comunidad de macroinvertebrados bentónicos, limnéticos y litorales (Roldán, 2012; PNN de Colombia, 2013). Estos organismos son fundamentales en el funcionamiento de los ecosistemas dulceacuícolas ya que permiten la transferencia de energía desde los productores a los niveles tróficos superiores ofreciendo una base alimenticia para peces y aves acuáticas (Valdovinos, 2006).

En Colombia estos ecosistemas de gran importancia ecológica han sufrido cambios negativos, debido directa o indirectamente a los patrones de distribución de los asentamientos humanos. El cambio de una economía basada en la agricultura extensiva y el pastoreo de ganado vacuno a un sistema dominado por la agricultura de monocultivo y a la concentración de las poblaciones urbanas durante las últimas décadas, ha sido responsable por la completa destrucción de considerables sistemas acuáticos (Naranjo *et al.* 1996).

El humedal El Chuchal, objeto de estudio hace parte de la cuenca alta del río Cauca, está ubicado en la zona plana del norte del departamento del Cauca, alrededor de este ecosistema se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas. El

rio Cauca nace en el Macizo Colombiano cerca al Páramo de Sotará, en el departamento del Cauca y desemboca en el brazo de Loba, sobre el río Magdalena, en el departamento de Bolívar. Presenta una longitud de 1350 Km y drena una cuenca de 63300 Km². El rio cruza alrededor de 183 municipios pertenecientes a los departamentos de Cauca, Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre y Bolívar. En el río Cauca se destacan tres tramos: alto, medio y bajo Cauca. El Alto Cauca comprende desde su nacimiento hasta el municipio de La Virginia en el departamento de Risaralda, el Cauca Medio va desde La Virginia hasta el municipio de Puerto Valdivia en el departamento de Antioquia; y el Bajo Cauca va desde Puerto Valdivia hasta el Brazo de Loba en el departamento de Bolívar (CVC, Universidad del Valle, 2007).

En el departamento del Cauca, la cuenca alta del rio Cauca ocupa un lugar estratégico y excepcional, dado que en ella se localizan parte de la industria azucarera, uno de los embalses de importancia para el país La Salvajina (Suárez, Cauca) y una cantidad de humedales de paramo y ribereños.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las sucesiones ecológicas se presentan en ecosistemas terrestres y acuáticos, que aunque suceden de manera natural, muchas veces este proceso se ve acelerado por la entrada de nutrientes producto de actividades antrópicas. En el humedal El Chuchal se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas como el monocultivo de caña de azúcar y el pastoreo de ganado, aspectos que ocasionan gran presión antrópica, lo que conlleva a la alteración de las características físicas, químicas y biológicas del ecosistema.

Los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan adaptaciones a unas determinadas condiciones ambientales, y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Los macroinvertebrados acuáticos (MAE) ocupan un hábitat a cuyas exigencias ambientales están adaptados y cualquier cambio en estas condiciones, se reflejará por tanto, en la estructura de las comunidades que allí habitan (Roldán, 1992). Por lo anterior se plantea esta investigación para determinar tanto la composición como la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del humedal El Chuchal, teniendo en cuenta las condiciones en las que se encuentra este ecosistema.

1.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del humedal El Chuchal, teniendo en cuenta su avanzado estado sucesional?

2. JUSTIFICACIÓN

Los macroinvertebrados acuáticos juegan papeles importantes dentro de básicamente todos los procesos de los ecosistemas acuáticos. Son un enlace importante para mover la energía a diversos niveles tróficos de las cadenas alimentarias acuáticas, al mismo tiempo sirven como alimento para diversos organismos superiores que dependen de éstos, como aves, anfibios y peces, también funcionan como indicadores biológicos de la calidad del agua (Hanson *et al.* 2010). La conservación de los humedales, su uso y valoración como un recurso sustentable valioso para el hombre y su entorno requieren de un profundo conocimiento ya que muchos de estos ambientes acuáticos se han perdido por el incremento de la agricultura, los drenajes, la polución y el desarrollo urbano.

El humedal El Chuchal, es un ecosistema muy intervenido, se encuentra en avanzado estado de sucesión y aún conserva un reducido espejo de agua que está próximo a desaparecer. En la actualidad no se cuenta con registros de estudios sobre los macroinvertebrados acuáticos de dicho ecosistema y los trabajos realizados en sistemas leníticos son muy escasos. Con interés en contribuir al conocimiento de este tipo de fauna acuática, importante en los procesos ecológicos de los ecosistemas acuáticos se plantea este trabajo de investigación, ya que permitirá establecer un registro de los macroinvertebrados acuáticos del humedal. Se pretende además establecer bases para futuras investigaciones en este campo aplicables en este tipo de ecosistemas tan importantes para la humanidad e incentivar la generación de propuestas para la recuperación y conservación del humedal.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el humedal El Chuchal, Municipio de Villa Rica, Cauca.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar la variación temporal de la estructura de la comunidad de MAE en el humedal.
- Establecer posibles relaciones entre la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y algunas variables fisicoquímicas hídricas.
- Determinar el estado trófico actual del humedal.
- Evaluar la calidad biológica del ecosistema aplicando el índice BMWP/Col.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Ecosistema lenítico

Son aquellos de aguas relativamente quietas o estancadas como lagos, humedales y represas. Regularmente en ellos se presentan tres zonas, las cuales dependen del estado de sucesión en que se encuentren: zona litoral que presenta abundante vegetación acuática, lo que favorece el desarrollo de gran número de especies de macroinvertebrados acuáticos; la zona limnética, de aguas abiertas y donde solo unas pocas especies flotantes pueden vivir allí; y la profunda, que por lo general esta desprovista de luz y el oxígeno existente es poco, lo que limita la cantidad de especies en ella, pero alcanza a menudo un alto número de individuos de una misma especie por área (Roldán & Ramírez, 2008).

4.2 Humedales

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas. Existen varios conceptos de humedales, todos ellos muy similares y complementarios entre sí. La convención Ramsar los define como aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros (Ramsar, 2007; Naranjo *et al.* 1999).

Los humedales son ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, leníticos o lóticos, dulces salobres o salados, incluyendo las extensiones marinas hasta el límite posterior

de fanerógamas marinas o arrecifes de coral o en su ausencia, hasta seis metros de profundidad marea baja (Bravo & Windevoxhel, 1997 citado por Roldán y Ramírez, 2008).

4.3 Sucesión y eutrofización

Los ecosistemas se caracterizan por una interrelación continua entre su componente biótico (organismos) y el abiótico (ambiente). La sucesión es el conjunto de cambios paulatinos que experimenta un ecosistema a través del tiempo. Se puede considerar a la sucesión como un proceso de auto organización con ciertas características de irreversibilidad. En los ecosistemas acuáticos, particularmente en los lagos de agua dulce, se observa otro componente de la sucesión, es el fenómeno conocido como eutrofización (Margalef, 1974). Donde el sistema va cambiando lentamente a través de los ciclos anuales, como resultado de la interacción entre el lago y los ecosistemas terrestres circundantes, intensificada por la acción del hombre.

La palabra eutrofia procede del adjetivo griego “eutrophe” y se refiere a “rico en nutrientes”. El termino eutrofización designa al proceso que presentan algunos sistemas acuáticos dado por el aumento del aporte de fósforo y nitrógeno, que se manifiesta en una intensa proliferación y acumulación excesiva de microalgas y plantas superiores (Ryding & Rast, 1992). Los lagos y lagunas son ambientes que sufren procesos de envejecimiento o colmatación. Estos sistemas reciben el aporte de materiales provenientes de la cuenca, los cuales van sedimentando con el transcurso del tiempo, reduciendo el volumen de los cuerpos de agua. La causa primordial de la eutrofización es el incremento de la carga de nutrientes por diversas vías, fundamentalmente de las diferentes fracciones de fosforo y nitrógeno. El aumento del estado trófico de un sistema puede ser el resultado de aportes externos o internos. La carga externa se genera a partir de materiales

arrastrados por la acción de la precipitación y la erosión de la cuenca (Esteves, 1988; Mazzeo *et al.* 2002). A ello se suman el vertido de efluentes industriales y domésticos y el uso de fertilizantes en la explotación agrícola.

4.4 Macroinvertebrados Acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos se definen como aquellos organismos que se pueden ver a simple vista; es decir, todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0.5 mm de longitud (Roldán, 1992). Dentro de esta categoría están los poríferos, hidrozooos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos, insectos, arácnidos, gasterópodos y bivalvos (Roldán, 2008). Estos organismos viven sobre el fondo de lagos y ríos, enterrados en el fondo, sobre rocas, y troncos sumergidos, adheridos a vegetación flotante o enraizada, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre la superficie (Roldán, 1992). La fauna de MAE recibe diferentes nombres de acuerdo al lugar en que se encuentren, fauna bentónica o bentos: todos aquellos organismos que viven en fondos de lagos y ríos adheridos a diferentes sustratos; Neustón: aquellos organismos que viven en la superficie del agua caminando, patinando o brincando y Necton: todos aquellos organismos que nadan activamente en el agua (Roldán, 1992).

4.5 Calidad biológica del agua

En un ecosistema acuático, está determinada por la dominancia de las poblaciones de organismos adaptados, característicos, o propios de la calidad de sus aguas, los cuales utilizamos como bioindicadores bien sea cualitativamente o cuantitativamente, según el índice que se aplique (Zamora, 2007). Los macroinvertebrados acuáticos han sido uno de los grupos más usados en los estudios de bioindicación, por su capacidad natural de responder a los efectos de perturbaciones eventuales o permanentes, es decir, estas comunidades cambian

su estructura y funcionamiento al modificar las condiciones ambientales de sus hábitats (Bonada *et al.* 2006). Las razones fundamentales de esta preferencia radican en su tamaño relativamente grande (apreciable a simple vista), su fácil captura y a que reflejan las posibles alteraciones existentes en el medio (Alba-Tercedor 1996).

4.6 BMWP Adaptado para Colombia

El Biological Monitoring Working Party Score System o Sistema para la determinación del índice de Monitoreo Biológico (Índice BMWP), es un método que solo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia) (Roldán, 2003), se ordenan las familias en diez grupos en una escala de mayor a menor tolerancia a las alteraciones de las condiciones normales naturales de los cuerpos de agua, asignando valores entre 1 y 10 puntos, respectivamente. La sumatoria se compara con una tabla de calidad de agua, determinando su nivel de contaminación (Zamora, 2007).

Tabla 1. Clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP/Col.

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

Tomado de: Zamora H. 2007

4.7 Índice de estado trófico (IET)

Carlson (1977) propuso este índice, es uno de los más utilizados varía entre 0 y 100, es decir de oligotrófico a hipereutrófico. Es un índice que puede ser calculado empleando tres parámetros diferentes de la transparencia (disco secchi, fosforo total y clorofila a) (Moreno *et al.* 2010). En este caso se utilizó el fosforo total y la fórmula de cálculo es la siguiente:

$$\text{IET} = 10 \{6 - (\ln (48 / \text{ft}) / \ln 2)\}$$

Dónde:

ln: significa logaritmo natural

ft: significa fósforo total.

Para efectos de la clasificación del estado trófico, se emplean los siguientes valores del índice de estado trófico, según las adaptaciones de Kratzer y Brezonik al trabajo de Carlson (en guía de campo productividad primaria, Naundorf G. I. 2013. Línea de énfasis en recursos hidrobiológicos continentales):

<20: Ultraoligotrófico

21-40: Oligotróficos

41-50: Mesotrófico

51-60: Eutrófico

>61: Hipereutrófico

Mayor detalle en este sistema propone:

- TSI < 30 Oligotrofia clásica. Aguas claras y oxigenadas a través de todo el año, incluso en el hipolimnion.
- TSI 30 - 40 Lagos profundos exhiben oligotrofia clásica, pero algunos lagos poco profundos pueden experimentar condiciones anóxicas en el hipolimnion, especialmente en épocas cálidas.
- TSI 40 - 50 Aguas moderadamente claras pero aumenta la probabilidad de anoxia, particularmente en el hipolimnion.
- TSI 50 - 60 Nivel bajo de eutrofia clásica. La transparencia disminuye, el hipolimnion es anóxico y se presentan macrófitas acuáticas que afectan la calidad hídrica.
- TSI 60 - 70 Dominan las cianobacterias y se presentan crecimientos extensivos de macrófitas.
- TSI 70 - 80 Crecimientos algales severos con abundancia de macrófitas. Limitación en la penetración lumínica. Se presentan condiciones de hipereutrofia.
- TSI > 80 Crecimientos algales excesivos, sistema hipereutroficos y afectación general del sistema.

5. ANTECEDENTES

El tema de los MAE ha sido tratado desde hace varios años en Colombia. Roldán (1988), realizó la guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos de Antioquia aplicable en buena parte a medios neotropicales similares, constituyéndose como referente para nuevas investigaciones a nivel nacional. Hasta ahora se han llevado a cabo diversos trabajos que brindan un considerable aporte al conocimiento de la fauna acuática, el desarrollado de este tipo de trabajos es cada vez más común en diferentes regiones del país, sobre todo en ecosistemas loticos ya que los trabajos realizados en ecosistemas leniticos como humedales son más escasos. Rivera (2011) estudio las condiciones biológicas y ecológicas del humedal Jaboque en Bogotá, por medio de la medición de variables físicas y químicas en períodos climáticos contrastantes y evaluó la composición, biomasa y estructura trófica de los macroinvertebrados, concluyendo que la riqueza tuvo diferencias significativas espacial y temporalmente, con mayor valor en época lluviosa. Mientras que la abundancia y la biomasa fueron mayores en épocas de bajas lluvias. Estas variaciones entre estaciones y periodos se debieron a las fluctuaciones físicas y químicas del agua y a la heterogeneidad de hábitats.

Por otro lado, Carrillo (2002) evaluó los aspectos bioecológicos de los macroinvertebrados del Embalse de Hidroprado, en el Tolima, concluyendo que la comunidad de macroinvertebrados bénticos encontrados, mostró una tendencia del embalse hacia el estado eutrófico, ya que los organismos que la conforman son indicadores de éste tipo de ecosistema como los Coleópteros, Dípteros, Gastrópodos, Hemípteros y Odonatos.

A nivel internacional los macroinvertebrados acuáticos han sido estudiados ampliamente. Peralta *et al* (2014) estudiaron la diversidad de la entomofauna acuática en humedales de Villa en Lima (Perú), donde realizaron un análisis de los

cambios espaciales y temporales de la entomofauna acuática. Se reportaron 53 especies para los humedales estudiados y determinaron diferencias significativas de la comunidad de insectos a nivel espacial, explicada por el tamaño de las lagunas y a nivel temporal, explicada por la hidrología del humedal.

En Costa Rica Trama *et al.* (2009). Determinaron la composición y estructura de macroinvertebrados acuáticos del humedal Palo Verde. Encontraron diferencias no significativas en cuanto a la abundancia y la riqueza taxonómica de invertebrados entre las épocas seca y lluviosa. Guevara (2011), realizó una caracterización de la población de insectos acuáticos y la calidad del agua tomando en cuenta las alteraciones humanas y naturales en la cuenca y embalse del río Peñas Blancas. Durante los muestreos mensuales se hicieron mediciones de variables fisicoquímicas. Los índices biológicos abundancia, riqueza de especies y el BMWP, se evaluaron para determinar la calidad del agua. No se detectaron relaciones entre las variables ambientales y los insectos acuáticos, pero las diferencias espaciales y temporales en la abundancia y riqueza fueron asociadas con las crecidas del río (temporal) y a la presencia del embalse Peñas Blancas (espacial).

Se referencia además el trabajo de Muñoz *et al.* (2001), en el cual determinaron la biodiversidad de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, en cinco ecosistemas leníticos en la región central de Chile, donde establecieron la asociación de estos organismos a distintos niveles tróficos. La mayoría de las especies registradas correspondieron a larvas de Insecta y Acari. Según los datos obtenidos, la abundancia de Acari se incrementa desde la oligotrofia a la eutrofia, pudiendo ser potenciales bioindicadores en lagos de Chile central. Por otro lado Iannacone *et al.* (2003) realizaron un estudio para evaluar la biodiversidad y similaridad de los macroinvertebrados del bentos de las lagunas de Puerto Viejo en Lima (Perú). Realizaron muestreos en sus lagunas naturales y artificiales. Los valores de diversidad alfa mediante los Índices de diversidad de Shannon-Wiener,

de Equidad de Pielou y de Simpson no variaron significativamente entre los siete muestreos realizados y entre las ocho estaciones censadas.

Reyes (2013) Estudió la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en ocho cuerpos leníticos ubicados en la región Maya al norte de Guatemala. Se recolectaron muestras de macroinvertebrados con una draga Ekman. Se tomaron mediciones de oxígeno disuelto, temperatura, pH, salinidad, conductividad, sólidos disueltos totales, nutrientes, sulfatos y profundidad. Se registró un total de 38 taxa, siendo los grupos más diversos Odonata, Coleóptera, Trichoptera y Ephemeroptera. Encontró que la diversidad de especies es alta en sitios donde no hay una influencia antropogénica y tiende a decrecer a medida que empieza a haber cierto grado de perturbación humana y que la distribución de los macroinvertebrados acuáticos está influenciada por el tipo de sustrato y las variaciones fisicoquímicas.

Villagrán *et al.* (2006) Evaluaron la relación entre características del hábitat y la estructura del ensamble de insectos en siete humedales palustres del centro-sur de Chile, con el fin de determinar los efectos de la urbanización sobre los patrones de diversidad en estos ecosistemas. Encontró que la disminución de la diversidad de insectos determinada por características del hábitat asociadas con la pérdida, fragmentación, homogeneización, eutrofización y/o contaminación de los humedales indica que los insectos podrían ser utilizados como indicadores de los efectos de la urbanización sobre el funcionamiento de estos ecosistemas.

6. METODOLOGÍA

6.1 Descripción del área de estudio

El humedal El Chuchal se encuentra ubicado a tres kilómetros del municipio de Villa Rica, al norte del departamento del Cauca, dentro de los predios de la Hacienda Dinamarca sobre la margen izquierda de la carretera panamericana a 100 m antes de llegar al puente Guillermo León Valencia que separa los departamentos Cauca y Valle (3° 12' 19.4" N y 76° 29' 43.4" O), a 985 msnm.

La temperatura promedio es de 25°C, el terreno de la región se caracteriza por ser en su totalidad plano. Estas características hacen de Villa Rica una zona dedicada a la agricultura, en esta región se cultiva: caña de azúcar, frutas, verduras, entre otros. En cuanto a los recursos hídricos el municipio cuenta con el río Cauca, el río Palo y las siguientes quebradas: La Vieja, Tabla, La Quebrada, saladillo y Potoco. (Alcaldía de Villa Rica, 2013).

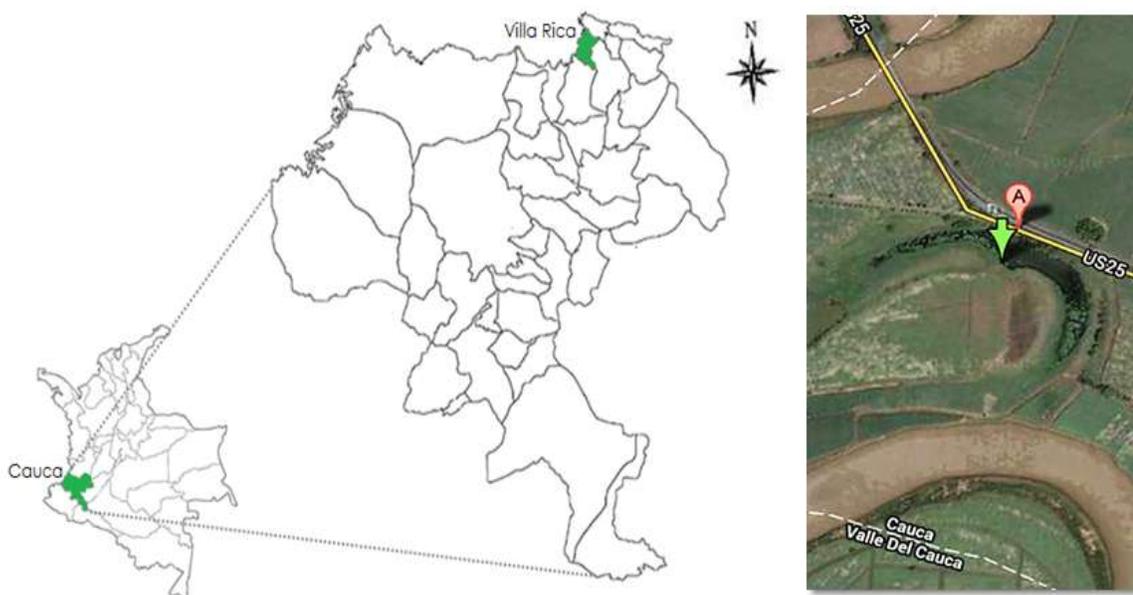


Figura 1. Localización del área de estudio. A. Humedal El Chuchal (Adaptado de www.google.com/maps)

6.2 Fase de campo

Inicialmente se hizo una visita para identificar el área de estudio y definir los puntos de muestreo, posterior a esto se realizaron seis muestreos entre septiembre de 2013 y junio de 2014. Se hicieron tres muestreos en época seca y tres en época de lluvias teniendo en cuenta además los diferentes niveles de agua alcanzados por el humedal.

6.2.1 Colecta de Macroinvertebrados acuáticos

La toma de muestras se realizó en tres puntos del humedal (Figura 4) pero finalmente se trataron como una sola muestra debido a que hubo cierta homogeneidad en los puntos propuestos. Para la colecta de los macroinvertebrados acuáticos se utilizó una red de mano tipo D-net o triangular para cubrir la zona litoral del ecosistema removiendo con esta la vegetación existente, también se utilizaron coladores para facilitar la recolección de estos organismos (Figura 2), el tiempo de muestreo en cada punto fue en promedio de 45 min.



Figura 2. Colecta de macroinvertebrados acuáticos en el humedal El Chuchal

6.2.2 Registro de parámetros físico-químicos

Los parámetros físico-químicos se midieron in situ utilizando kits colorimétricos aquamerck, con estos kits se midieron, Nitritos (NO_2), Nitratos (NO_3), Amonio (NH_4) y Dióxido de carbono (CO_2), también se utilizaron sondas multiparametricas (Figura 3) YSI y HACH con las que se realizaron mediciones de temperatura hídrica, Oxígeno disuelto (OD), % de saturación de OD, pH, Conductividad y Solidos disueltos totales (SDT). La medición de la turbidez se hizo mediante un espectrofotómetro, en el laboratorio de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad del Cauca. Estas mediciones se realizaron una en época seca y otra en época de lluvias.



Figura 3. Medición de parámetros físico-químicos con sonda multiparametrica

6.2.2.1 Medición de fosforo total

La medición de fosforo total se realizó en época seca donde el humedal alcanzo su más baja profundidad. La muestra de agua se recolecto en un recipiente

plástico, se rotulo indicando el lugar y la fecha y se llevó al laboratorio de Análisis de aguas Ecoquímica Ltda, en Cali (Valle), para su respectivo estudio.



Figura 4. Puntos de muestreo. Humedal el Chuchal. (Adaptado de Google earth)

6.3 Fase de laboratorio

Los macroinvertebrados acuáticos colectados fueron separados manualmente e identificados en el laboratorio de Recursos Hidrobiológicos Continentales de la Universidad del Cauca, mediante observaciones bajo el estereoscopio (Figura 5), la determinación taxonómica se realizó hasta género utilizando guías y claves específicas para el estudio de estos organismos como las de Merritt & Cummins, 1979; Roldan, 1988; Machado, 1989; Epler, 1996; 2010; Domínguez & Fernández, 2009, entre otras.



Figura 5. Identificación y conteo de Macroinvertebrados acuáticos

6.4 Análisis de datos

Los datos fueron estandarizados y se trataron en porcentajes. La composición y estructura de la comunidad de MAE se definió a partir de los índices de diversidad de Shannon y dominancia de Simpson utilizando el programa PAST (PAleontological STatistics). V 2,17. La relación entre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y los parámetros físico-químicos hídricos, se determinó mediante un análisis de correspondencia canónica (CCA), con el programa PAST.

Para establecer las diferencias entre los macroinvertebrados acuáticos encontrados en las diferentes épocas de muestreo se aplicó la prueba de Mann Whitney, una prueba no paramétrica para muestras independientes con el programa SPSS. V 19. Las variaciones en número de géneros, diversidad y

dominancia de MAE para cada época de muestreo, se analizaron con diagramas de caja.

La calidad biológica del ecosistema se evaluó mediante el índice BMWP/col propuesto por Zamora (2007). Se estableció el estado trófico del humedal según la concentración de fosforo total, aplicando el índice de estado trófico de Carlson (1977).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Usos del suelo

El humedal El Chuchal está situado en el límite de dos departamentos Cauca y Valle, esta región es considerada como el sector azucarero colombiano, ubicada en el valle geográfico del río Cauca. El uso del suelo alrededor del ecosistema acuático es netamente agropecuario (Figura 6), en este sector se han venido utilizando grandes extensiones de tierra para el monocultivo de caña de azúcar y explotación ganadera, cambiando así estos sistemas naturales a sistemas agropecuarios. Esta continua expansión de la frontera agrícola, la concentración industrial, así como el constante crecimiento poblacional, son algunos de los factores que han incidido en una transformación del paisaje natural en grado tal que muchos de los bosques nativos de la zona plana están prácticamente extintos, mientras que otros que aún subsisten, se encuentran seriamente amenazados (Perafán, 2011).

Se aprecia que la agroindustria cañicultora ha ido incrementando su frontera agrícola, dando lugar a una homogeneización paisajística de la zona plana, donde prácticamente no existen bosques, sólo quedan algunas reservas ubicadas en su mayoría en haciendas, es decir en predios de propiedad privada. En los años ochenta se produjo una reducción del 72% de los humedales naturales, los cuales han soportado muchos cambios perjudiciales debido a los patrones de ocupación y uso del suelo, a los procesos de adecuación de terrenos para el desarrollo agropecuario, a la contaminación por residuos agroquímicos, industriales y pecuarios, y el crecimiento urbano (Perafán, 2011). Algunos de estos factores han incidido en la degradación del humedal El Chuchal, generando alteraciones en la diversidad y abundancia de la biota acuática ya que el monocultivo de caña de azúcar y el pastoreo de ganado que se desarrolla en la zona aportan residuos de agroquímicos y fertilizantes (nutrientes), excretas del ganado que llegan por

infiltración y escorrentía superficial al espejo de agua afectando la calidad hídrica y desencadenando cambios biológicos en el ecosistema.



Figura 6. Usos del suelo alrededor del humedal El Chuchal

De igual forma la compactación del suelo y erosión del mismo generada por el pisoteo diario del ganado provoca también aporte de nutrientes al cuerpo de agua, igual que la quema y la siembra de caña, todas estas prácticas contribuyen a la destrucción de hábitats, pérdida de biodiversidad y sedimentación del humedal.

Otro factor que ha incidido en la sedimentación del humedal es la pérdida de conexión hídrica superficial con el río Cauca, el cual redujo su nivel de agua desde

la construcción del embalse la Salvajina mediante el Proyecto de Regulación del río Cauca, lo que ha provocado cambios sobre los recursos leníticos asociados a su valle geográfico (CVC, Universidad del Valle, 2007).

7.2 Composición y estructura de macroinvertebrados acuáticos

Los organismos colectados estuvieron repartidos en 9 órdenes, 28 familias y 58 géneros. El orden más abundante fue Coleóptera con una representación del 50,20% de la muestra obtenida, el otro 50% estuvo distribuido entre los órdenes Díptera con el 12,13%, Basommatophora 11,47%, Hemíptera 11,21%, Mesogastropoda 7,43%, Ephemeroptera 4,43%, Odonata 3,04%, Haplotaxida 0,07% y Glossiphoniiformes igualmente con 0,07% de representatividad (Figura 7).

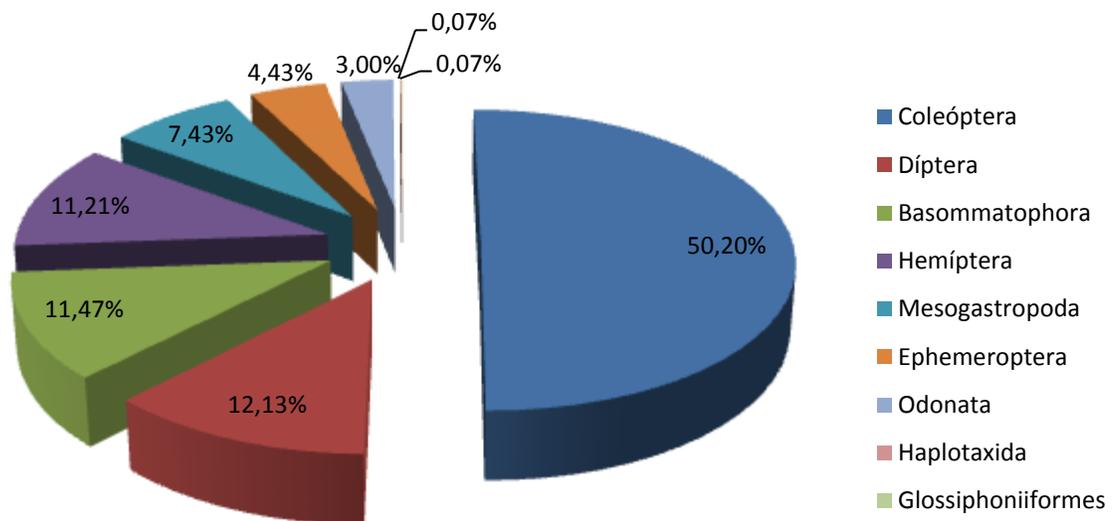


Figura 7. Abundancia porcentual de ordenes

A lo largo de este estudio se observó que el orden Coleóptera fue el más abundante. Según Roldán, *et al.* (2008); Constituye uno de los órdenes más grandes y complejos, esto se debe a que ocupan una gran diversidad de hábitats acuáticos y semi-acuáticos como ecosistemas de aguas de corrientes rápidas, salobres y aguas estancadas en estuarios y ciénagas. Roldán (1988), menciona que suelen ser muy comunes en sistemas leníticos poco profundos como el humedal objeto de estudio a lo cual se atribuye su importante presencia. Otro factor que se relaciona es la capacidad que tienen los coleópteros de tolerar bajas concentraciones de oxígeno disuelto en los ecosistemas leníticos, esto por ciertos mecanismos evolutivos que poseen algunas familias para obtener el oxígeno atmosférico como Hydrophilidae y Dytiscidae entre otras (Roldán, 1988). Estos organismos juegan un papel importante en las cadenas tróficas de ecosistemas acuáticos ya que van desde el nivel de consumidor primario hasta el de descomponedor (Merritt & Cummins 1996), se les encuentra principalmente en las zonas ribereñas, ya sea nadando libremente en la superficie o sobre la vegetación sumergente. La familia con mayor abundancia fue Hydrophilidae seguida de Dytiscidae (Tabla 2). De acuerdo con Trémouilles *et al.* (1995) estas familias son las más frecuentes en este tipo de ecosistemas y presentan larvas y adultos totalmente acuáticos lo que explica su reveladora presencia en el humedal, la mayoría de las especies de ditiscidos son depredadoras, mientras que los hidrophilidos lo son únicamente en su estado larval y los adultos se alimentan de material vegetal y detritus (Merritt & Cummins, 1984).

Los dípteros constituyen uno de los órdenes de insectos más abundantes y más ampliamente distribuidos en el mundo. Viven en hábitats muy variados; se encuentran en ríos, arroyos, lagos, embalses, brácteas de bromelias y demás plantas que acumulen agua, en orificios de troncos viejos y aun en las costas marinas (Roldán, *et al.* 2008), suelen ser frecuentes en sistemas como el humedal El Chuchal donde las aguas quietas, la alta cantidad de materia orgánica derivada de la vegetación en descomposición y de las actividades agropecuarias, las zonas

de deposición y la adquisición de alimento facilitan su establecimiento (González *et al* 1992) este fue uno de los órdenes con mayor número de familias de las cuales se encontró dominancia de culícidos (Tabla 2), en menor porcentaje de abundancia le siguió Chironomidae lo que se relaciona con su capacidad de colonización y tolerancia a ciertos grados de contaminación, estos organismos además son considerados indicadores de aguas de mala calidad (Gamboa *et al.* 2008).

De los gastrópodos el orden Basommatophora fue el más abundante, también asociado a lugares con mucha vegetación acuática y materia orgánica en descomposición; se desarrollan en gran cantidad en las orillas de los lagos por lo cual abundan en aguas quietas y poco profundas (Roldán, *et al.* 2008), aspectos que convierten el humedal El Chuchal, en un hábitat óptimo para estos organismos. Physidae fue la familia más abundante con gran representación del género *Physa*. Por su parte Mesogastropoda que fue un poco menos abundante tuvo total dominancia de *Pomacea*, estos organismos son resistentes a la contaminación y su gran abundancia en el humedal evidencia las condiciones del mismo (Tabla 2). La mayoría de los gastrópodos son herbívoros y se alimentan de algas y residuos vegetales.

Los hemípteros también tuvieron gran representatividad, son considerados muy comunes en remansos de ríos y en ecosistemas leníticos con abundante vegetación. Estos organismos son depredadores de otros insectos acuáticos y terrestres; las especies más grandes pueden alimentarse de peces pequeños y crustáceos (Roldán, *et al.* 2008), En menor porcentaje se encontraron efemerópteros que por lo regular viven en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas lo cual explica su baja abundancia en el humedal, de acuerdo con lo mencionado por Roldán, (1996) algunos pocos pueden resistir moderados grados de contaminación orgánica como los géneros *Tricorythodes* y *Terpides* encontrados en el humedal. Las ninfas son esencialmente herbívoras y a su vez son alimento potencial de gran variedad de depredadores dentro del ecosistema

acuático (Flowers & De La Rosa, 2010). Los Odonatos también presentaron muy bajo porcentaje a pesar de ser más frecuentes en sistemas con poca velocidad de corriente y poco profundos; por lo regular rodeados de mucha vegetación acuática como El Chuchal. Estos organismos también se encuentran en una amplia variedad de hábitats desde aguas limpias hasta ligeramente eutrofizadas (Roldán, 1988).

La familia más diversa en el humedal fue Dytiscidae con 12 géneros, considerada la mejor adaptada a la vida acuática y la más diversificada de los coleópteros acuáticos (Merritt & Cummins, 1984), seguida de Hydrophilidae con 7 y Libellulidae con 5, siendo esta última la más ampliamente representada de los Odonatos, la mayoría de familias presentaron solo entre uno y dos géneros (Figura 9). *Tropisternus* el género más abundante en todo el estudio con 19,3% del porcentaje promedio de la abundancia total (Figura 8), se convierte en el grupo dominante de la comunidad seguido de *Physa* e *Hydrocanthus*, con representaciones de 9,6% y 7,2% respectivamente. *Tropisternus* se asocia con ambientes lodosos poco profundos y con mucha materia orgánica (García 2008), esto como característica principal del humedal influyó en la abundancia de este género ya que se convierte en un ambiente idóneo para el establecimiento de dichos organismos.

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos encontrada mostro tendencia del humedal hacia la eutrofia. Los grupos taxonómicos más abundantes registrados en este estudio, han sido reportados en otros trabajos por Carrillo *et al.* (2002) y Peralta *et al.* (2014) como organismos propios de ecosistemas leníticos como humedales con algún tipo de alteración, adaptados a concentraciones altas de materia orgánica y bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua.

Tabla 2. Estructura y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el humedal El Chuchal.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Promedio		
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i>	29,1%	7,3%	9,5%	14,4%	18,1%	37,3%	19,3%		
				<i>Hydrophilus</i>	0,8%	1,8%	4,6%	1,5%	0,0%	0,9%	1,6%		
				<i>Berosus</i>	16,5%	0,0%	3,0%	3,7%	1,1%	0,0%	4,0%		
				<i>Cymbiodyta</i>	3,1%	4,9%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%		
				<i>Enochrus</i>	0,0%	0,0%	0,8%	0,4%	1,1%	0,6%	0,5%		
				<i>Helophorus</i>	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		
				<i>Laccobius</i>	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		
			Dytiscidae	<i>Copelatus</i>	9,4%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,7%
				<i>Celina</i>	0,8%	1,2%	0,8%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%
				<i>Laccophilus</i>	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
				<i>Hoperius</i>	1,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%
				<i>Pachydrus</i>	1,6%	2,4%	1,4%	5,9%	23,8%	2,2%	6,2%		
				<i>Acilius</i>	0,0%	1,2%	4,1%	0,0%	1,1%	0,0%	1,1%		
				<i>Thermonectus</i>	0,0%	0,0%	0,3%	3,0%	0,4%	1,2%	0,8%		
				<i>Hydrocolus oblitus</i>	0,0%	0,0%	0,3%	0,4%	0,0%	0,0%	0,1%		
				<i>Hydrovatus</i>	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%		
				<i>Megadytes</i>	0,0%	0,6%	3,5%	1,8%	2,5%	0,9%	1,6%		
			<i>Neobidessus</i>	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%			
			<i>Graphoderus</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%	0,0%	0,2%			
			Noteridae	<i>Hydrocanthus</i>	12,6%	9,8%	4,6%	4,8%	4,6%	6,8%	7,2%		
			Scirtidae	<i>Elodes</i>	0,0%	2,4%	0,0%	0,4%	1,1%	0,0%	0,6%		
				<i>Prionocyphon</i>	0,8%	0,6%	9,3%	3,3%	3,6%	0,0%	2,9%		
			Scarabaeidae	<i>Ataenius</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,1%		
Curculionidae	<i>Onychilis longulus</i>	0,0%	6,1%	2,5%	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%					

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Promedio
		Hemiptera	Belostomatidae	<i>Lethocerus</i>	2,4%	3,7%	4,4%	13,3%	3,2%	2,5%	4,9%
				<i>Belostoma</i>	0,0%	0,6%	0,5%	4,4%	5,3%	0,0%	1,8%
			Naucoridae	<i>pelocoris</i>	0,8%	1,2%	0,3%	0,0%	1,8%	0,0%	0,7%
			Notonectidae	<i>Buenoa</i>	4,7%	0,0%	0,8%	0,0%	4,6%	0,0%	1,7%
				<i>Notonecta</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	10,3%	0,0%	1,7%
			Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i>	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,7%	0,0%	0,2%
		Veliidae	<i>Microvelia</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,1%	
	Diptera	Culicidae	<i>Culex</i>	2,4%	0,6%	18,0%	1,1%	0,0%	0,3%	3,7%	
			<i>Aedes</i>	0,0%	6,1%	4,4%	2,6%	1,1%	3,1%	2,9%	
			<i>Anopheles</i>	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	0,0%	0,0%	0,2%	
		Chironomidae	<i>Chironomus</i>	0,0%	2,4%	0,5%	0,7%	0,0%	5,2%	1,5%	
			<i>Ablabesomyia</i>	1,6%	1,2%	0,3%	0,0%	0,0%	0,3%	0,6%	
		Syrphidae	<i>Eristalis tenax</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,1%	
		Ephydriidae	<i>Brachydeutera</i>	0,0%	0,0%	6,8%	0,4%	0,0%	0,0%	1,2%	
		Stratiomyidae	<i>Odontomyia</i>	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,0%	0,0%	0,2%	
		Tabanidae	<i>Chrysops</i>	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Terpides</i>	3,1%	2,4%	0,0%	19,2%	0,0%	2,2%	4,5%
	Tricorythidae		<i>Tricorythodes</i>	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	
	Odonata	Libellulidae	<i>Erythemis</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	1,1%	0,0%	0,2%	
			<i>Perithemis</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	0,1%	
			<i>Macrothemis</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	0,1%	
			<i>Tramea</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	1,1%	0,9%	0,4%	
			<i>Sympetrum</i>	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	0,9%	0,3%	
			Coenagrionidae	<i>Acanthagrion</i>	0,0%	1,2%	0,0%	0,4%	0,4%	2,5%	0,7%
			<i>Ischnura</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	2,2%	0,5%	

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Promedio
			Aeshnidae	<i>Anax amazili</i>	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,3%	0,1%
				<i>Coryphaeshna</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,1%
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae	<i>Gyraulus</i>	1,6%	2,4%	1,4%	10,0%	2,5%	0,3%	3,0%
			Physidae	<i>Physa</i>	0,8%	35,4%	12,5%	4,8%	1,8%	2,2%	9,6%
		Mesogastropoda	Ampullariidae	<i>Pomacea</i>	4,7%	1,2%	1,9%	0,0%	5,3%	25,6%	6,5%
			Hydrobiidae	<i>Amnicola</i>	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Naididae	<i>NN1</i>	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
		Glossiphoniiformes	glossiphoniidae	<i>NN2</i>	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%

M1 = Septiembre, **M2** = Noviembre, **M3** = Diciembre, **M4** = Enero, **M5** = Febrero, **M6** = Junio

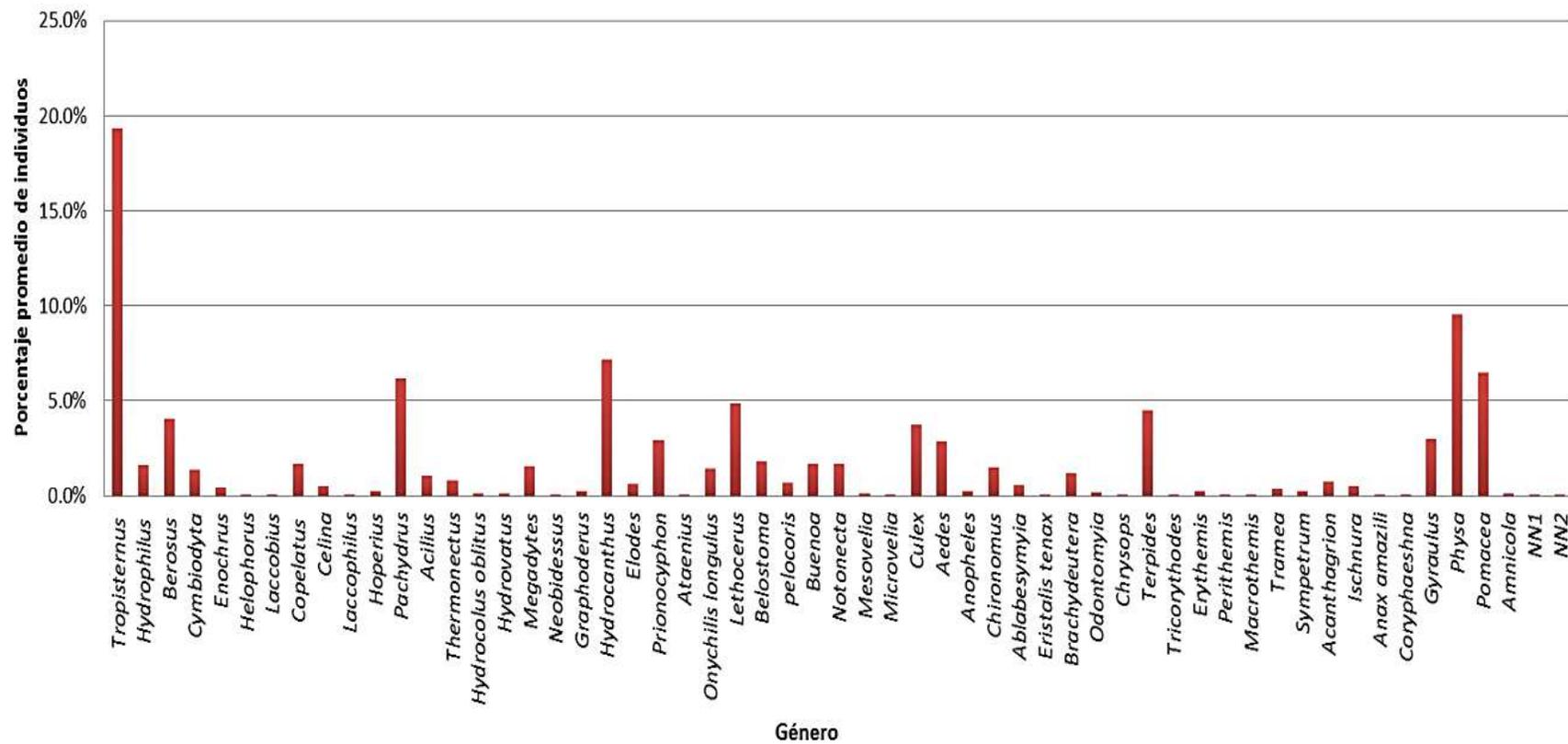


Figura 8. Abundancia porcentual de géneros

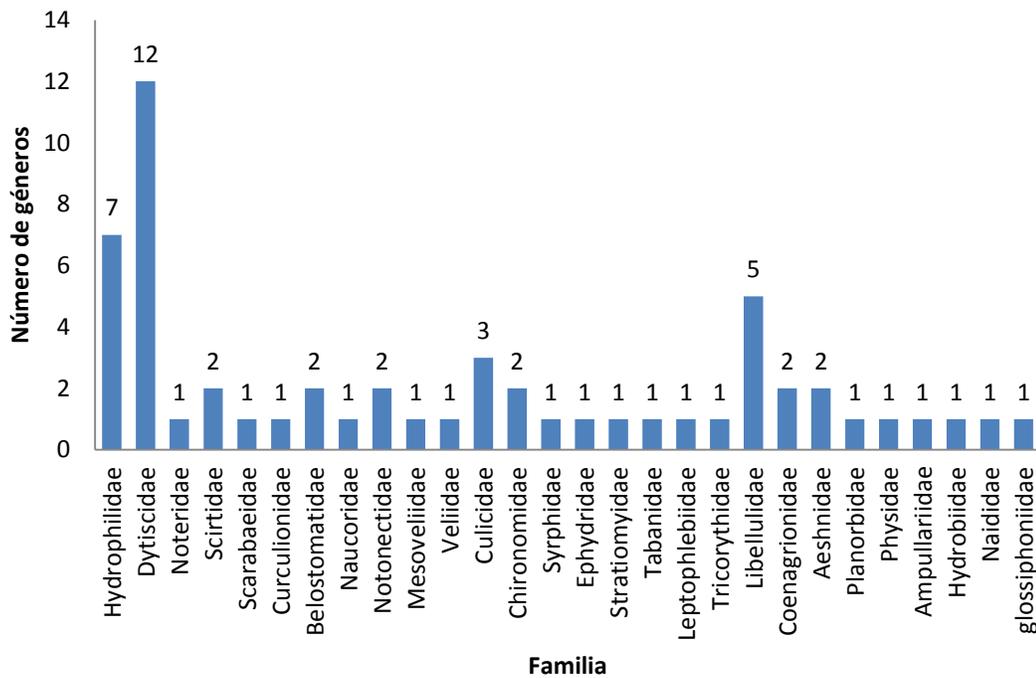


Figura 9. Distribución del número de géneros por familia

7.3 Variación en el nivel hídrico del humedal El Chuchal en cada periodo climático

El humedal presenta un gran deterioro hidrológico producto de las actividades antrópicas que se realizan a su alrededor, esto sumado a la pérdida de conexión hídrica superficial con el río Cauca que también ha provocado la disminución del nivel de agua del sistema, acelerando los procesos de sedimentación y sucesión ecológica al interior del espejo de agua.

Este ecosistema se encuentra sometido a cambios temporales en su componente hídrico (Figuras 10, 11 y 12), durante los muestreos realizados en época seca, el nivel de agua del ecosistema disminuyó notablemente provocando la fragmentación de este cuerpo de agua en pequeños pozos de 0,26 a 0,39 m. de profundidad y la colmatación del humedal fue mucho más evidente. En época de lluvias aumentó considerablemente su profundidad, oscilando entre 0,48 y 0,62 m.

para el muestreo cuatro realizado en enero de 2014 el humedal alcanzó su nivel más alto de profundidad, siendo esta la única ocasión en que hubo una entrada significativa de aguas superficiales del río Cauca, lo cual permitió que el humedal homogenizara su espejo de agua.

ÉPOCA SECA



ÉPOCA DE LLUVIAS



Figura 10. Punto 1

ÉPOCA SECA



ÉPOCA DE LLUVIAS



Figura 11. Punto 2

ÉPOCA SECA



ÉPOCA DE LLUVIAS



Figura 12. Punto 3

7.4 Calidad biológica del agua mediante bioindicación en el humedal El Chuchal

Se considera que un organismo es un buen indicador de la calidad del agua cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es en porcentaje superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat (Roldán & Ramírez, 2008). En los últimos años los estudios de evaluación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos se ha incrementado debido a las ventajas que presentan: su distribución prácticamente universal, sus hábitos relativamente sedentarios, la alta sensibilidad de algunos a las perturbaciones, sus ciclos de vida que tienden a ser relativamente largos, sus reacciones rápidas frente a determinados impactos (Rosenberg & Resh 1996).

La calidad biológica del ecosistema se evaluó mediante el índice biológico BMWP/Col adaptado para aguas epicontinentales en Colombia (Zamora 2007), el cual alcanzo un valor promedio de 88 para época seca, lo mismo para época de

lluvias (Tabla 3), ocupando la clase III, lo que indica que el humedal presenta aguas medianamente contaminadas. Estos valores alcanzados en el BMWP/Col, se deben al estado de eutrofia que presenta el humedal.

Tabla 3. BMWP/Col para el humedal El Chuchal

Muestreo	Valor BMWP	Clase	Características
Época seca			
M1	88	III	Aguas medianamente contaminadas
M5	92		
M6	84		
Promedio	88		
Época de lluvias			
M2	92	III	Aguas medianamente contaminadas
M3	96		
M4	77		
Promedio	88		

7.5 Variación temporal de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el humedal El Chuchal.

El humedal El Chuchal presentó cambios en su nivel de agua en relación con el régimen pluviométrico generando habitats inestables para los macroinvertebrados acuáticos y afectando ligeramente las características físico-químicas del recurso hídrico.

Para el periodo de lluvias la abundancia de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos fue mayor (Figura 18). La población de basomatoforos aumento considerablemente en este periodo mostrando su mayor porcentaje en el muestreo dos (M2) (Figura 18) donde las lluvias fueron mas intensas, predominando el genero *Physa*. También hubo un incremento en la población de dipteros la cual fue notablemente mayor en M3 (Figura 18) donde el genero *Culex* fue el mas abundante. Los efemeropteros también tuvieron su mayor representación en esta epoca especificamente en el muestreo cuatro (M4). En el periodo seco Coleoptera se mostro un poco mas abundante, siendo el orden con mayor porcentaje de abundancia en ambas epocas de muestreo (Figura 18) lo que permite pensar que este grupo es el mejor adaptado a las condiciones actuales del humedal. Los hemipteros por su parte mostraron la mayor abundancia en M5, esto por la presencia de gran catidad de vegetación en descomposición que pudo haber creado un ambiente propicio para su desarrollo.

En la epoca seca a nivel de familias se encontró que la mayor abundancia se presento en Hydrophilidae y Dytiscidae, la cual disminuyó considerablemente en M6 (Figura 13). En la epoca de lluvias hubo un significativo aumento en la población de individuos de las familias Physidae, Culicidae, Leptophlebiidae y Belostomatidae, estas dos ultimas muy abundantes en M4. Hydrophilidae a diferencia de las otras familias mantuvo gran porcentaje de abundancia en la mayoria de los muestreos (Figura 14), esto indica que los cambios presentados en el ecosistema por consecuencia de la alta o baja pluviosidad no afectaron a las comunidades de hydrophilidos.

Los valores del índice de diversidad de Shannon registrados representan una diversidad media. No se detectaron diferencias importantes entre las épocas de muestreo que en promedio fueron de 2,354 para el periodo seco y 2,655 para el periodo de lluvias (Figura 17). De acuerdo a Roldán (1992) los valores alcanzados por el índice (Tabla 4) son considerados normales en este tipo de ecosistemas con cierto grado de alteración y regularmente influenciados por factores antrópicos.

Este índice de diversidad alcanzó su máximo valor 2,818 en M3 (Tabla 4), correspondiente a época de lluvias, lo anterior indica que el aumento en el nivel de agua del ecosistema por efecto de las lluvias y el leve incremento en la concentración de Oxígeno disuelto (OD) registrado en este periodo favoreció la diversidad de macroinvertebrados acuáticos. Otro parámetro influyente es la conductividad que mostro valores altos lo cual se relaciona con la mediana diversidad de MAE, la conductividad más alta (249.0 $\mu\text{S/cm}$) se registró en época seca y de manera simultánea se presentó la más baja diversidad con valor de 2,087 (Tabla 4), esto también se asocia al bajo nivel de agua que presento el humedal en este periodo lo que pudo provocar la disminución de hábitats disponibles. Para la época de lluvias se registró un valor menor de conductividad (162.2 $\mu\text{S/cm}$), lo que pudo influir en el leve incremento de la diversidad (Figura 17), esto de acuerdo con Roldán & Ramírez (2008) los cuales mencionan que altas diversidades de especies, corresponden a menudo a bajas conductividades y viceversa.

La Dominancia de Simpson mostro valores bajos, en promedio de 0,113 para época de lluvias y 0,159 para época seca, el valor más alto para todo el estudio se registró en M6, revelando mayor dominancia de MAE en este periodo, lo que probablemente se deba a la gran cantidad de coleópteros encontrados. A medida que el valor del índice disminuye la diversidad aumenta, esto se refleja en la época de lluvias donde decreció la dominancia reflejando al mismo tiempo un ligero aumento en la diversidad (Figuras 16 y 17).

Tabla 4. Valores del índice de diversidad de Shannon-Weaver, Dominancia de Simpson y géneros encontrados en cada muestreo.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
N° Géneros	21	28	33	26	28	24
Dominance_D	0,146	0,1556	0,08411	0,1003	0,1158	0,2172
Shannon_H	2,352	2,524	2,818	2,623	2,623	2,087

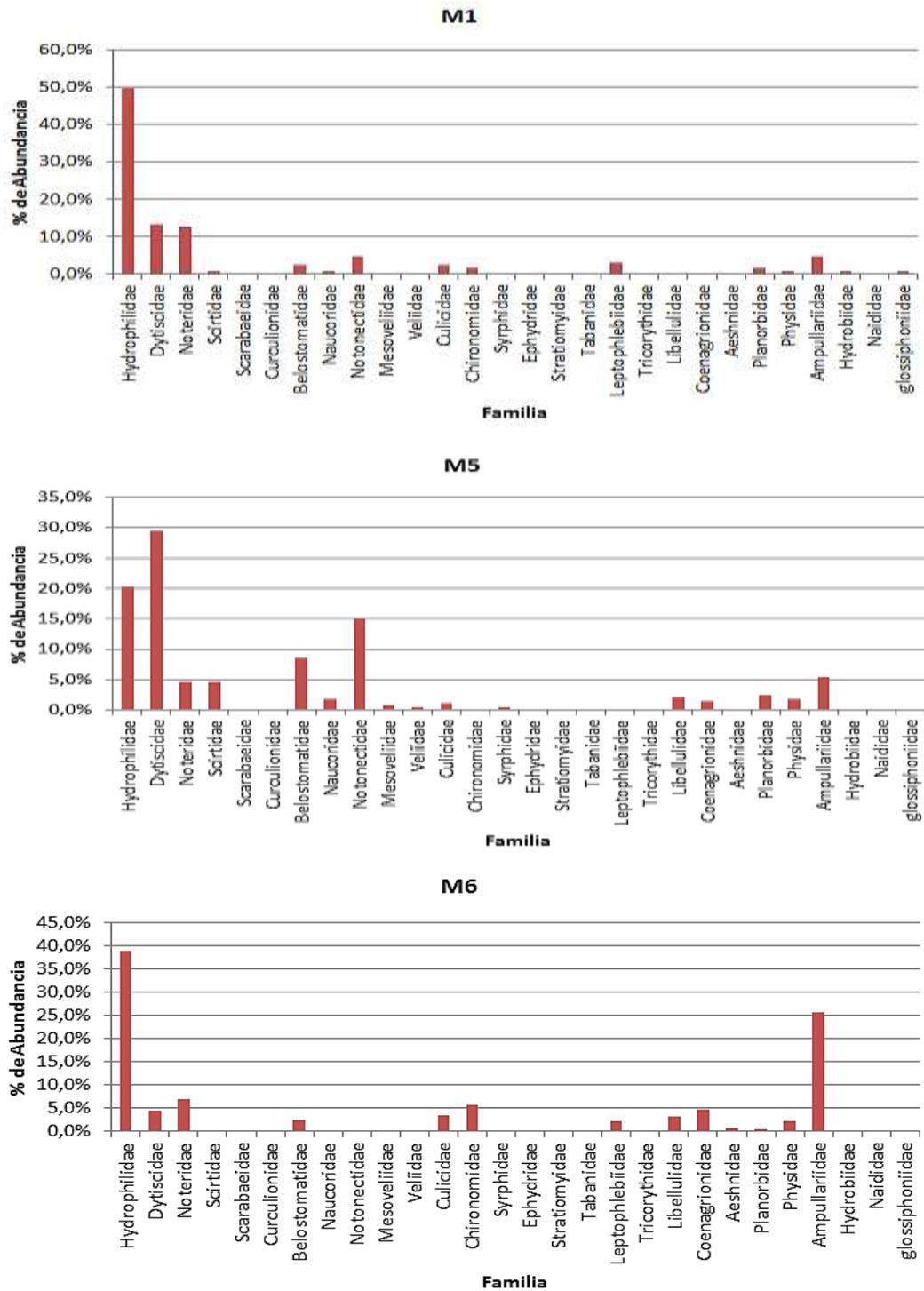


Figura 13. Porcentaje de abundancia de las familias encontradas en los muestreos de época seca M1 (septiembre 2013), M5 (febrero 2014) y M6 (junio 2014).

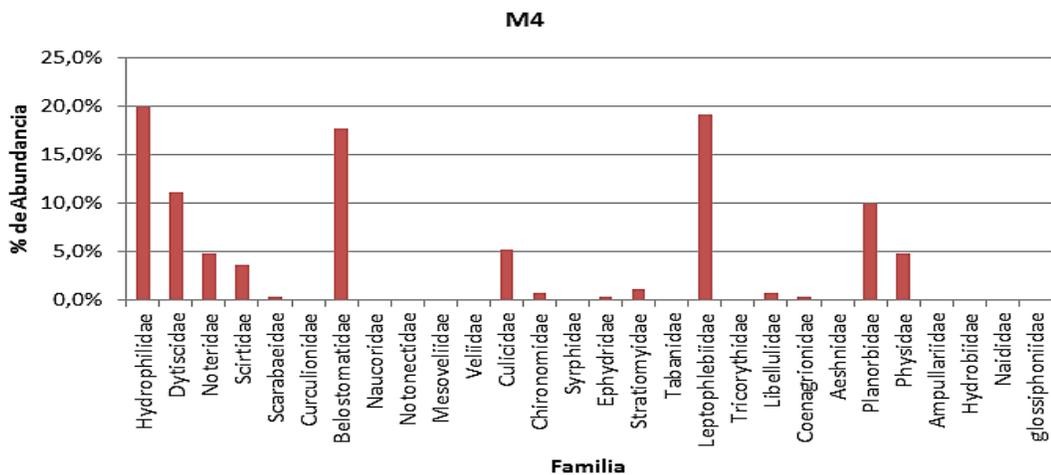
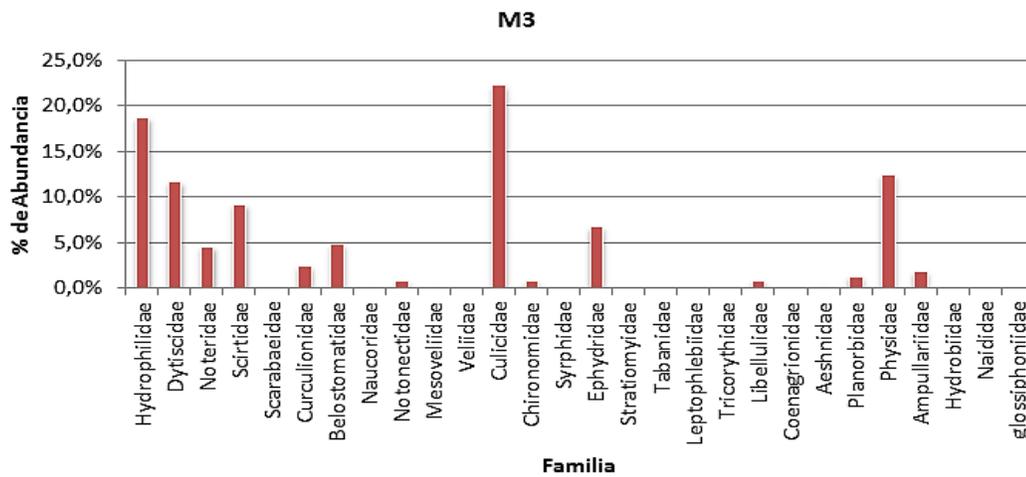
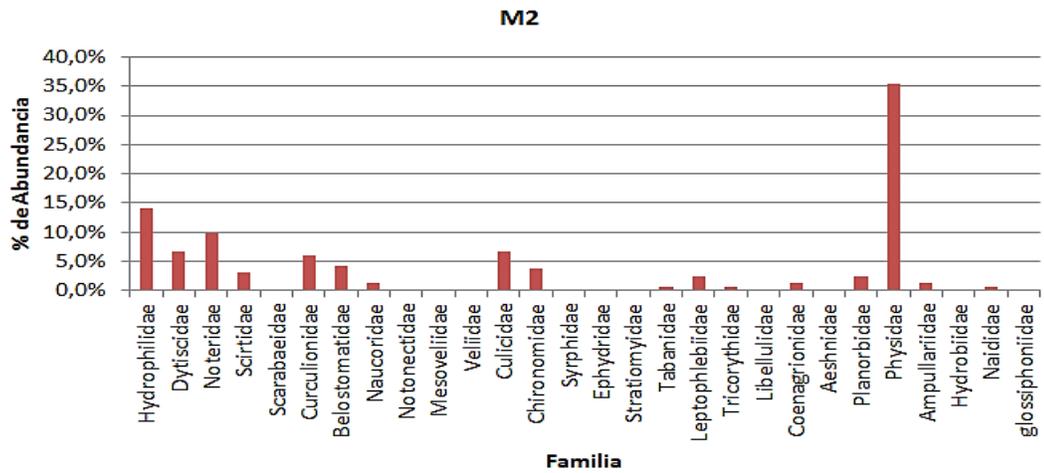


Figura 14. Porcentaje de abundancia de las familias encontradas en los muestreos de época de lluvias M2 (noviembre 2013), M3 (Diciembre 2013), M4 (Enero 2014).

7.4.1 Prueba de Mann-Whitney

Para este análisis se plantean las siguientes hipótesis:

H_0 = No existen diferencias significativas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del humedal El Chuchal entre las épocas de muestreo.

H_a = Existen diferencias significativas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del humedal El Chuchal entre las épocas de muestreo.

Se compararon las variables: Numero de géneros, Dominancia de Simpson y Diversidad de Shannon con la variable de agrupación: Época de muestreo (Tabla 5). En este análisis se acepta la hipótesis nula ya que el nivel de significancia estadística es mayor a 0,05 (Tabla 6), por lo que se puede concluir que no existieron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la riqueza de géneros, diversidad y dominancia de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del humedal El Chuchal entre las dos épocas de muestreo.

Tabla 5. Rangos - Prueba de Mann Whitney

	Época de muestreo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Géneros	Época seca	3	2,50	7,50
	Época de lluvias	3	4,50	13,50
	Total	6		
Dominancia de Simpson	Época seca	3	4,33	13,00
	Época de lluvias	3	2,67	8,00
	Total	6		
Diversidad de Shannon	Época seca	3	2,50	7,50
	Época de lluvias	3	4,50	13,50
	Total	6		

Tabla 6. Estadísticos de contraste - Prueba de Mann Withnney

	Géneros	Dominancia de Simpson	Diversidad de Shannon
U de Mann-Whitney	1,500	2,000	1,500
W de Wilcoxon	7,500	8,000	7,500
Z	-1,328	-1,091	-1,328
Sig. asintót. (bilateral)	,184	,275	,184
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	,200 ^a	,400 ^a	,200 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: Época de muestreo

En la época seca se encontraron en promedio 24 géneros, mientras que en los muestreos correspondientes a la época de lluvias se encontró mayor riqueza (Figura 15), en promedio 29 géneros lo que también se relaciona con el aumento del cuerpo de agua en este periodo ya que en estas condiciones la vegetación sumergida ofrece mayor disponibilidad de hábitats y de alimento beneficiando procesos de colonización de distintos grupos de MAE. Al contrario de la época de sequía donde el disminuido nivel de agua provocó la pérdida de hábitats limitando el desarrollo de diversos taxa.

De acuerdo a los valores obtenidos en los índices ecológicos analizados como Dominancia de Simpson, Diversidad de Shannon y los resultados en la prueba no paramétrica de Mann Withnney, la comunidad de macroinvertebrados acuáticos mostro pequeñas diferencias a nivel temporal lo que sugiere que las variaciones en el nivel de agua afectaron la diversidad, pero no de manera significativa, esto asociado a la calidad del agua que en todos los muestreos se clasifico como aguas medianamente contaminadas de acuerdo a los valores del BMWP/Col obtenidos, revelando ademas que las condiciones biologicas del medio fueron similares durante todo el estudio. Por otra parte las altas concentraciones de materia orgánica y la poca profundidad del ecosistema que a pesar de las

fluctuaciones no excedió los 0.62 m. por lo tanto la temporalidad y el nivel de agua no serían factores que generen perturbación en la estructura de la comunidad de MAE de El Chuchal.

Otro aspecto importante a resaltar es el comportamiento del oxígeno disuelto (OD) fundamental para la vida en los ecosistemas acuáticos, este parámetro con sutiles variaciones se mantuvo en medianas concentraciones en ambos periodos climáticos.

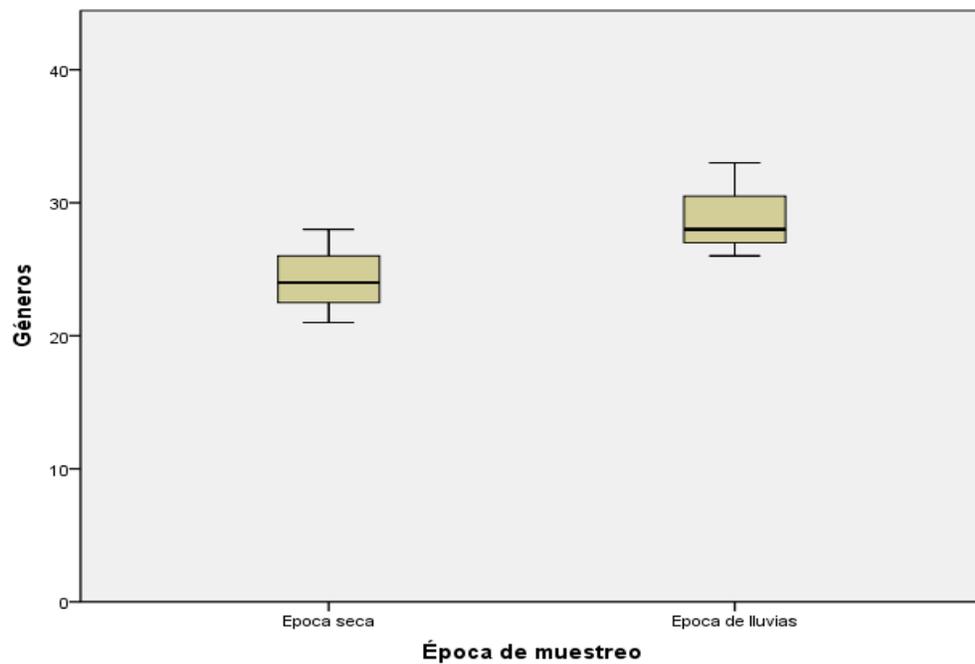


Figura 15. Riqueza de géneros encontrados en las diferentes épocas de muestreo

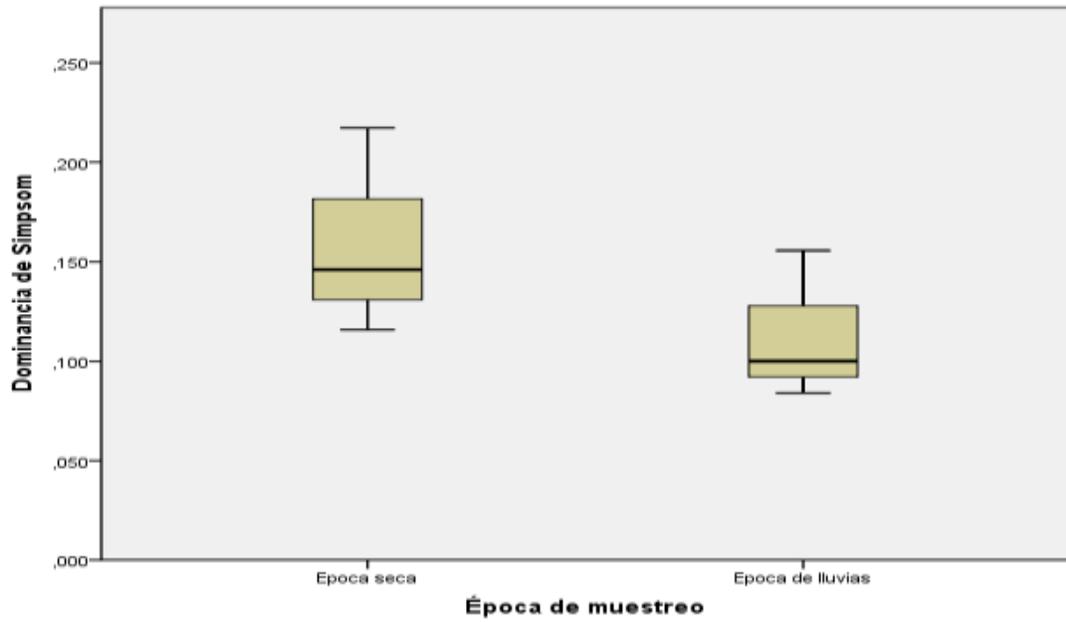


Figura 16. Dominancia de macroinvertebrados acuáticos en las diferentes épocas de muestreo

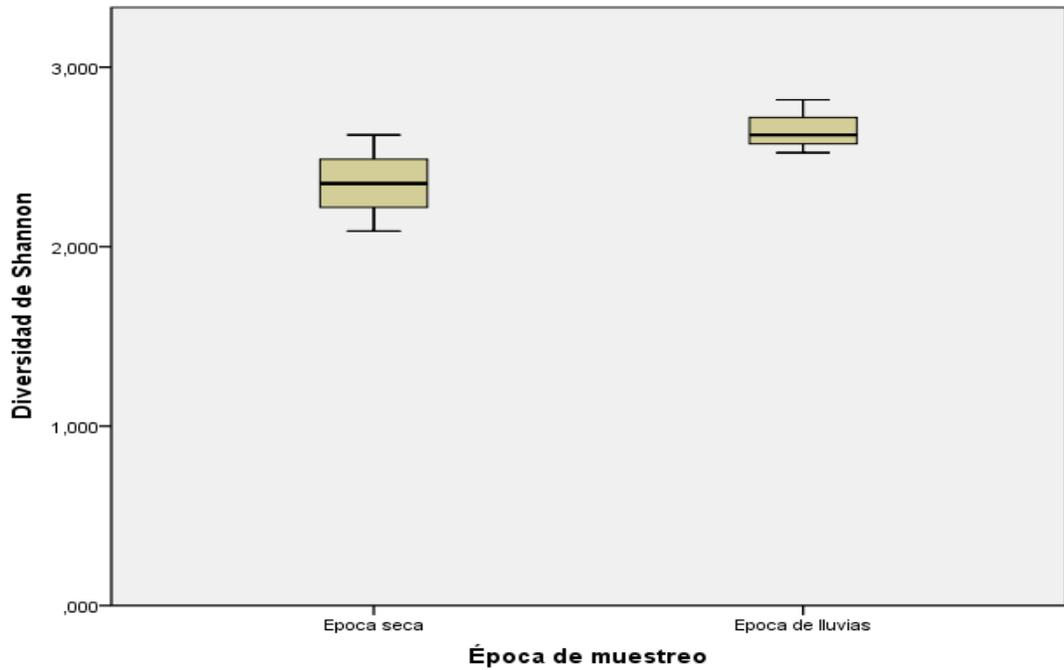


Figura 17. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en las diferentes épocas de muestreo

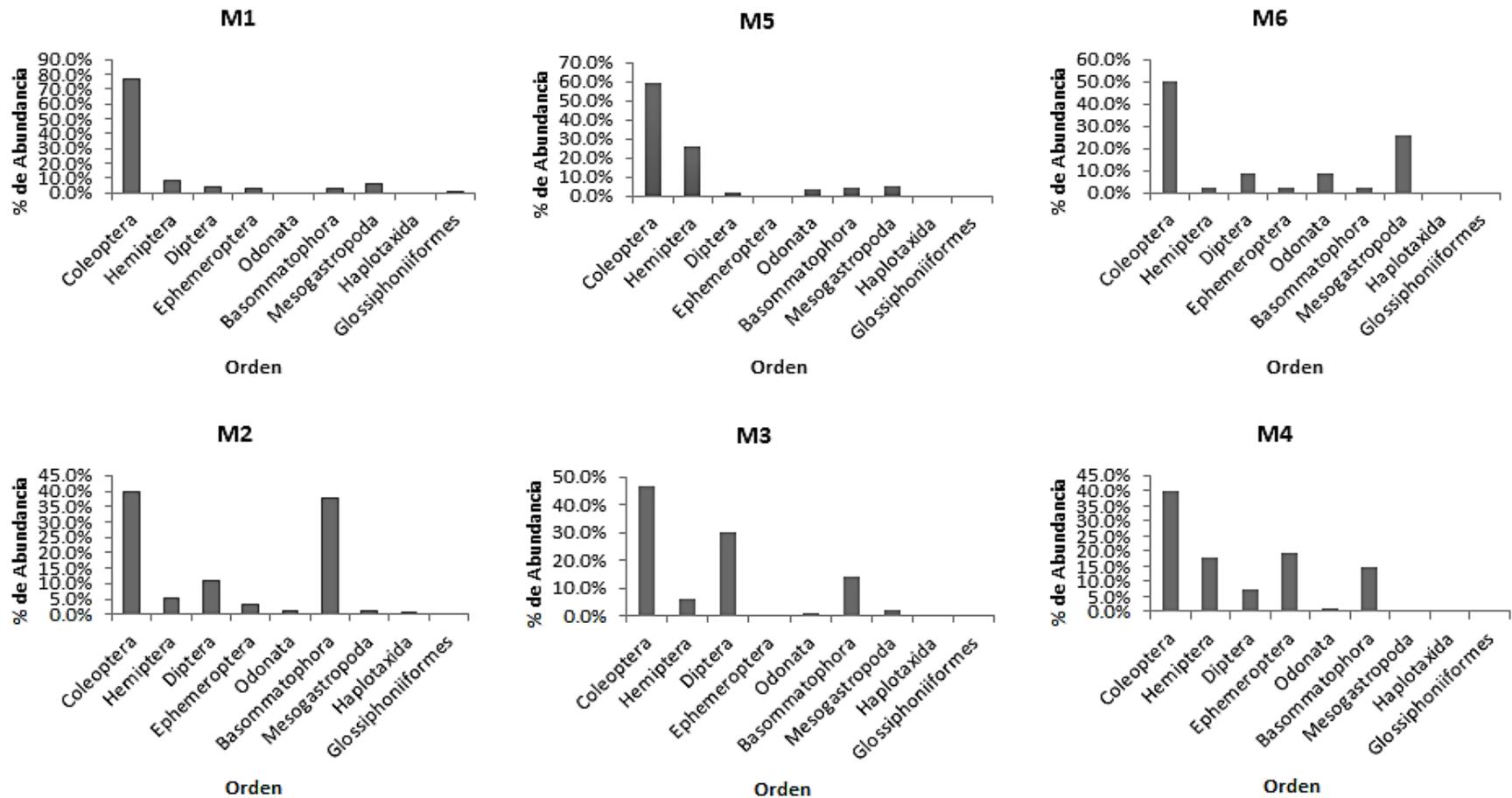


Figura 18. Porcentaje de abundancia de ordenes en las diferentes épocas de muestreo. Época seca M1 (septiembre 2013), M5 (febrero 2014) y M6 (junio 2014). Época de lluvias M2 (noviembre 2013), M3 (Diciembre 2013), M4 (Enero 2014).

7.5 Caracterización físico-química del humedal El Chuchal

El oxígeno disuelto es uno de los gases más importantes en los ecosistemas acuáticos, esencial para el metabolismo de todos los organismos que presentan respiración aeróbica, presento valores inferiores a los normales los cuales varían entre 7.0 y 8.0 mg/l (Roldán 2003). Este parámetro alcanzo valores de 5.6 mg/l para época seca y 6.2 mg/l para época de lluvias (Tabla 7), teniendo en cuenta la altitud en la que se encuentra el humedal estos valores indican un déficit de oxígeno del 25% normal en este tipo de ecosistemas leníticos, además el humedal presenta gran cobertura de macrófitas al interior del espejo de agua, esto sumado a la carga de materia orgánica y la poca profundidad del ecosistema hacen que la concentración de oxígeno disuelto (OD) disminuya.

El dióxido de carbono (CO_2) es el segundo gas en importancia presente en el agua, oscilo entre 5.1 mg/L para época de lluvias y 6.0 mg/L para época seca, presentando un incremento para este periodo, donde se observó gran cantidad de materia orgánica en descomposición, lo que pudo haber incidido en este último valor. De acuerdo con Roldán (1992, 2003) este gas se origina por la descomposición de materia orgánica y por la respiración de los organismos, las aguas lluvias también arrastran consigo el CO_2 atmosférico incorporándolos a los ecosistemas acuáticos. El CO_2 juega un papel fundamental en el agua, el cual es el de realizar la acción buffer (amortiguación), que permite que no se presenten cambios bruscos de pH, lo que sería letal para muchos organismos (Roldán 2003). El pH fluctuó entre 6.0 unidades para época seca y 7.4 para el periodo de lluvias, por tanto el pH fue desde ligeramente ácido hasta cercano a la neutralidad. Teniendo en cuenta que para el normal desarrollo de la biota acuática, los valores limitantes están en el rango de 4.5 a 8.5, siendo el pH fisiológicamente óptimo entre 7.0 y 7.4 (Boyd, 1992; Cole, 1988. Citado por Cantera *et al.* 2009), esto indica que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites para la supervivencia de organismos acuáticos. Valores similares han sido registrados por

Rivera *et al* (2013) en el humedal Jaboque de Bogotá, que también presenta contaminación por materia orgánica.

Los valores normales de conductividad varían entre 30 y 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores por encima indican eutrofia y baja diversidad de especies (Roldán & Ramírez, 2008). La conductividad en el humedal fluctuó entre 162.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para época de lluvias y 249.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para época seca (Tabla 7), lo que revela un ecosistema con alto contenido de iones disueltos en el agua, reflejando el estado eutrófico del sistema acuático. Según Rivera *et al* (2013), estos valores relativamente altos de conductividad eléctrica pueden deberse a un aumento en la entrada de sales al ecosistema por escorrentía, otro posible factor incremental sobre todo en el periodo seco donde fue más alta, es la descomposición de materia orgánica, proceso que libera iones.

Tabla 7. Parámetros físico-químicos medidos en el humedal El Chuchal.

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	ÉPOCA DE LLUVIAS	ÉPOCA SECA
Temperatura Hídrica	°C	24.5	25.6
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6.2	5.6
% de saturación OD	%	74	71
Dióxido de carbono (CO ₂)	mg/L	5.1	6.0
pH	Unidades	7.4	6.0
Turbidez	UNF	87.7	73.0
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	162.6	249.0
SDT	mg/L	127.1	125.0
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.03	0.06
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	25.0	10.0
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/L	0.66	0.1

En cuanto a los sólidos disueltos totales (SDT) se registraron valores altos que fluctuaron entre 127.1 mg/l y 125.0 mg/l, lo que es normal en aguas de naturaleza trófica donde los SDT suelen ser elevados con valores entre 50 y 200 mg/l (Vásquez 2002; Citado por Cantera *et al*, 2009).

La turbidez vario entre 87.7 UNF para época de lluvias y 73.0 UNF para época seca, este parámetro es de gran importancia en las aguas naturales ya que la actividad fotosintética depende en gran medida de la penetración de la luz. Por otro lado la temperatura hídrica estuvo comprendida entre 24 y 25°C no tuvo mayor variación, esta variable es tal vez la que más influencia tiene en los humedales ya que incide en la densidad del agua, solubilidad de gases, reacciones químicas tanto en la columna de agua como en el sustrato; y en procesos biológicos tales como los niveles trofodinámicos de la biota acuática y tasas metabólicas (Vásquez 2002; Citado por Cantera *et al*. 2009), por lo tanto este parámetro influye sobre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

7.5.1 Nutrientes en el ecosistema acuático

Están fundamentalmente representados por nitrógeno y fósforo. Las formas iónicas de nitrógeno inorgánico más comunes en los ecosistemas acuáticos son el amonio (NH_4^+), el nitrito (NO_2^-) y el nitrato (NO_3^-). Estos iones pueden estar presentes de manera natural en el medio acuático como consecuencia de la deposición atmosférica, la escorrentía superficial y subterránea, la disolución de depósitos geológicos ricos en nitrógeno, la descomposición biológica de la materia orgánica, y la fijación de nitrógeno por ciertos procariontes (Camargo & Alonso, 2007). Bajo el punto de vista de la calidad del agua, cuando hay descargas significativamente altas del ión amonio, su proceso de oxidación es muy alto, causando gran demanda bioquímica de oxígeno; y por consiguiente, disminución en la concentración de oxígeno disuelto. En el humedal se registraron valores de amonio de 0.1 mg/l para época seca y 0.66 mg/l para época de lluvias,

sobrepasando en esta ocasión el valor tope de 0.5 mg/l puesto que concentraciones superiores actúan como limitantes para el desarrollo normal de la biota acuática (Cantera *et al.* 2009).

En un medio acuático natural se espera encontrar la mayoría del nitrógeno como nitratos (Roldán 2003), en el humedal los valores de nitrato estuvieron muy elevados, estos variaron entre 10.0 mg/L para época seca y 25.0 mg/L para época de lluvias. El aumento en la concentración de nitratos para este periodo puede deberse a las precipitaciones que arrastran material alóctono y descargas orgánicas por las actividades antrópicas. En cuanto a los nitritos se registraron valores de 0.03 mg/l para época de lluvias y 0.06 mg/l para época seca. En medios donde las condiciones tienden a ser anaeróbicas, los valores de nitritos pueden aumentar considerablemente (valores superiores a 0.05 mg/l), constituyéndose en tóxico (Cantera *et al.* 2009). De estas formas de nitrógeno, los nitratos y el ión amonio son las más importantes para los ecosistemas acuáticos, por cuanto constituyen la fuente principal para los organismos residentes en este medio (Roldán & Ramírez 2008).

El fósforo es un elemento cuya disponibilidad normalmente es reducida en el medio natural, es muy importante porque juega un papel fundamental en los procesos metabólicos de los seres vivos (Beltrán & Rangel, 2013). En comparación con el nitrógeno, la abundancia es diez veces menor, pero su efecto sobre la eutrofización es mucho mayor (Roldán 2003). De acuerdo a los valores obtenidos para nitritos, nitratos, amonio y fosforo total, el humedal presenta contaminación orgánica y se encuentra en estado eutrófico.

7.6 Relación de los macroinvertebrados acuáticos con los parámetros físico-químicos medidos en el humedal El Chuchal

7.6.1 Correspondencia Canónica

En el análisis de correspondencia canónica se definen dos grupos (Figura 19):

Grupo 1: *Prionocyphon (Pri)*, *Culex (Cul)*, *Berosus (Ber)*, *Megadytes (Meg)*, *Hydrophilus (Hyd)*, *Onychilis longulus (Ony)*, *Acilius (Aci)*, *Physa (Phy)*, *Brachydeutera (Bra)*, *Gyraulus (Gyr)*.

Grupo 2: *Pomácea (Pom)*, *Chironomus (Chi)*, *Tramea (Tra)*, *Acanthagrion (Aca)*, *Tropisternus (Tro)*, *Thermonectus (The)*, *Terpides (Ter)*, *Ischnura (Isch)*.

Aunque fueron solo dos muestreos de físico-química se decidió hacer este análisis teniendo en cuenta solamente los géneros con mayor presencia y porcentaje de abundancia. De igual forma seleccionando las variables ambientales más reveladoras del estado del ecosistema acuático.

Los dos grupos de individuos señalados fueron los más relacionados con las diferentes variables ambientales analizadas en los dos muestreos. Algunos parámetros como OD, pH, Turbiedad, NO₃, NH₄, se correlacionaron con el grupo uno de M3 (época de lluvias) (Figura 19), lo que indica que son determinantes en el establecimiento de estos macroinvertebrados. Estas variables presentaron una fuerte correlación con el género *Physa*, que fue muy abundante en este muestreo. Por otro lado el CO₂ y la Conductividad mostraron mayor correlación con el grupo dos de M6 (época seca), de los cuales se registraron mayores concentraciones en este periodo, lo que pudo haber incidido en la abundancia de *Tropisternus*.

De acuerdo con algunos autores como Meza *et al.*, (2012); Rivera (2013) Morelli *et al* (2014), los cuales se refieren a la influencia de los parámetros físicoquímicos sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y mencionan que factores del medio acuático, como pH, conductividad, OD, y temperatura son

determinantes en la distribución de los MAE siendo además los parámetros a los que estos organismos tienden a ser más sensibles. También se encontró una estrecha relación entre los nutrientes medidos y algunos individuos, igualmente con el CO₂. Esto demuestra que las características físico-químicas del humedal tienen una clara influencia sobre la composición y estructura de los MAE que lo habitan.

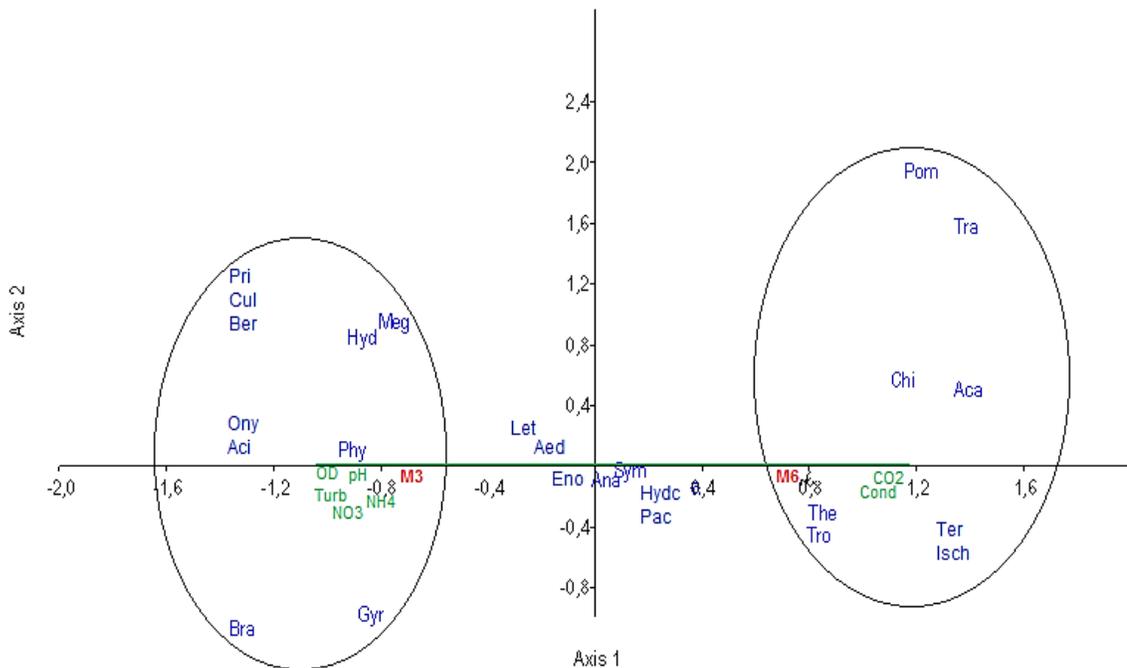


Figura 19. Análisis de correspondencia canónica (CCA) de macroinvertebrados acuáticos y las variables físico-químicas hídricas registradas en dos muestreos: M3 (muestreo tres) de época de lluvias. Grupo 1 y M6 (muestreo seis) de época seca. Grupo 2.

7.7 Índice de estado trófico

Para la determinación de este índice se utilizó el fósforo total, considerado como un parámetro definitivo en la calidad de aguas debido a su influencia en procesos de eutrofización. Aunque tanto el nitrógeno como el fósforo contribuyen a la eutrofización, la clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación, en la mayor parte de los casos el factor de limitación es el fósforo. Si bien los efectos de la eutrofización son fácilmente visibles, el proceso es complejo y ofrece dificultades de cuantificación dada la compleja interacción entre las diferentes variables que intervienen en la eutrofización (FAO, 1997).

La concentración de fósforo registrada en el humedal fue de 0.02 mg/L, según esto el IET alcanzó un valor de 52,3 por lo que el humedal El Chuchal es clasificado como eutrófico durante el tiempo de estudio, lo que indica elevada concentración de nutrientes y alta productividad. Aunque en este tipo de ecosistemas, la eutrofización también se produce en forma natural, en este caso el proceso está siendo acelerado por las actividades antrópicas desarrolladas en el humedal como el monocultivo de caña de azúcar ya que los fertilizantes usados en esta práctica finalmente llegan al cuerpo de agua aportando una gran cantidad de materia orgánica, de igual forma el pastoreo de ganado a los alrededores del ecosistema provoca la erosión del suelo y la producción de desechos ricos en nutrientes, también la cercanía del humedal a una carretera principal (vía panamericana), facilitan el arrastre de sedimentos hacia el espejo de agua.

En términos generales la acumulación de materia orgánica de origen autóctono y alóctono, han contribuido en gran medida a la eutrofización del humedal que se refleja en la alta proliferación de macrofitas, y en la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados, así como en la progresiva sedimentación que se presentó durante el tiempo de estudio.

Fosforo total (época seca) = 0.02 mg/L

$$\mathbf{IET} = 10 \left(6 - \left(\frac{\ln \left(\frac{48}{0,02} \right)}{\ln 2} \right) \right)$$

$$\mathbf{IET} = 52,3$$

8. CONCLUSIONES

- La comunidad de macroinvertebrados acuáticos del humedal El Chuchal presenta de acuerdo con su composición y estructura una diversidad media.
- La comunidad de MAE estuvo determinada por varios factores, especialmente por el estado sucesional avanzado en que se encuentra el humedal mostrando además un nivel alto de eutrofia.
- Principalmente los factores antrópicos como el monocultivo de caña de azúcar y la ganadería, además de la pérdida de conexión hídrica superficial con el río Cauca han incidido notablemente en la degradación del humedal El Chuchal.
- El orden con mayor porcentaje de abundancia fue Coleóptera, seguido de Díptera, Basommatophora y Hemíptera; la familia con mayor porcentaje de abundancia fue Hydrophilidae seguida de Dytiscidae y Physidae, por su parte, el género más abundante fue *Tropisternus* seguido de *Physa* e *Hydrocanthus*.
- En relación con la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en las diferentes épocas de muestreo (E. seca y E. de lluvias), no presentó diferencias significativas, por lo tanto la variación en el nivel de agua del humedal El Chuchal no fue un factor tan influyente.
- Con base en los resultados obtenidos en el IET, el BMWP/Col y los análisis físico-químicos analizados, se puede concluir que el humedal es un ecosistema eutrófico, medianamente contaminado.

- El análisis de correspondencia canónica (CCA) mostró que las características físico-químicas del humedal tienen una clara influencia sobre la composición y estructura de los MAE que lo habitan.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda adelantar acciones que conlleven a la restauración del humedal en razón a que presenta un avanzado estado sucesional, estando próximo a desaparecer. Esto teniendo en cuenta la gran contribución de este tipo de ecosistemas a la biodiversidad.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, L., Arango, M., & Roldán, G. (2006). Diversidad de los macroinvertebrados dulceacuícolas en Colombia. Informe Nacional sobre el Avance en el Conocimiento y la Información de la Biodiversidad 1998 – 2004. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C. p. 261 – 270.
- Álvarez, L. (2005). Metodología para la evaluación de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de los recursos hidrobiológicos. Editorial Instituto Alexander von Humboldt. Medellín.
- Alcaldía de Villa Rica - Cauca. (2013). [Disponible en: http://villarica-cauca.gov.co/informacion_general.shtml#ecologia]. [Revisado el 03 de octubre de 2013].
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía.
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V.H. & Statzner, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. Annual Review Entomology. p. 495-523.
- Carlson, R. (1977). A Trophic State Index for Lakes. Limnology and Oceanography. p. 364 – 365.
- Corporación Autónoma Regional del Cauca. (2006). Formulación del plan de manejo de los humedales presentes en la parte plana del norte del

departamento del Cauca. Convenio CRC – WWF 1065-22-1204 Segunda fase.

- Corporación Autónoma Regional del Cauca. (2003). Informe Técnico Final, Caracterización ambiental preliminar de los humedales de la cuenca del río Cauca en el Departamento del Cauca. Convenio específico CRC – WWF N° 0967-27-1202.
- Corporación Autónoma Regional del Valle., Universidad del Valle. (2007). Análisis Ambiental. Área de estudio. Análisis de la incidencia de la operación del embalse de Salvajina sobre el río Cauca. Proyecto de Modelación del Río Cauca – PMC Fase III. Santiago de Cali.
- Cantera, J., Carvajal, Y., & Castro, L. (2009). Caudal Ambiental. Conceptos, experiencias y desafíos. Editorial Universidad del Valle, programa editorial 2009. Cali – Valle. p. 145 – 153.
- Camargo, J., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua e implicaciones del cambio climático. Revista Ecosistemas. Madrid - España.
- Carrillo, D. (2002). Aspectos bioecológicos de los macroinvertebrados en el embalse de Hidroprado. Departamento del Tolima. Trabajo de grado. Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología, Ibagué.

- Domínguez, E., & Fernández H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo.
- Esteves, F. (1988). Fundamentos de Limnología. Editorial Interciencia. Rio de Janeiro.
- Epler, J. (1996). Identification Manual for the Water Beetles of Florida. Editorial Florida Department of Environmental Protection.
- Epler, J. (2010). The Water Beetles of Florida an identification manual. Editorial Florida Department of Environmental Protection, Tallahassee.
- FAO. (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje 55). [Versión digital en: <http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s00.htm#Contents>]. [Revisado el 08 de febrero de 2015].
- Flowers, R.W., & De la Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. Revista de biología tropical. p. 63 – 93. Costa Rica.
- González, R., & Carrejo, N. S. (1992). Introducción al estudio de los Díptera. Editorial Universidad del Valle, Cali.
- Gamboa, M., Ryes, R., & Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. Malariología y Salud Ambiental. p. 109-108.

- García, H. (2008). Hydrophilidae (Insecta: Coleóptera) en el departamento del Quindío. Trabajo de grado. Programa de Biología. Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías, Universidad del Quindío, Pereira
- Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, M. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. Universidad de Costa Rica. Revista Biología Tropical
- Machado, T. (1989). Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. Tesis de Biología. Facultad de Ciencias exactas y Naturales. Medellín.
- Mazzeo, N., Clemente, J., & García, R. (2002). Eutrofización: Causas, consecuencias y manejo. Editorial. Nordan Comunidad. Ecoteca Series. p. 39 – 48.
- Merritt, R., & Cummins, K. (1984). An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Department of Fisheries y Wildlife Oregon State University. Kendall/Hunt Publishing Company. Iowa, E.U.A.
- Merritt, R. W., & Cummins, K. W. (1996). An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Dubuque, Iowa. Editorial Kendall/Hunt Publishing Company.
- Moreno, E. (2001). Manuales y tesis SEA. Métodos para medir la biodiversidad. p. 21 – 43.

- Moreno, D., Quintero, J., & López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y uso sostenible. Bogotá D.C. p. 25
- Muñoz, E., Mendoza, G., & Valdovinos, C. (2001). Evaluación rápida de la biodiversidad en cinco sistemas lenticos de Chile central: macroinvertebrados bentónicos. Revista Gayana (Concepción). p. 173 – 180.
- Margalef, R. (1974). Ecología. Editorial Omega. España.
- Magurran, A. (1989). Diversidad ecológica y su medición. Editorial Vedral. Barcelona.
- Meza, A., & Rubio, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. Universidad de Caldas. Manizales. Revista Caldasia. p. 443 – 456.
- Morelli, E., & Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. Revista Mexicana de Biodiversidad. p. 1160 – 1170.
- Naranjo, G., Andrade, I., & Ponce, E. (1999). Humedales interiores de Colombia: Bases técnicas para su conservación y uso sostenible. Bogotá D. C. p. 15.

- Naundorf, G. I. (2013). Guía de campo productividad primaria. Línea de énfasis en recursos hidrobiológicos continentales.
- Peralta, J., & Huamantínco, A. (2014). Diversidad de la Entomofauna acuática y su uso como indicadores biológicos en humedales de Villa, Lima. Revista Peruana de Entomología. p. 109-119
- Perafan, A. (2011). Transformaciones paisajísticas en la zona plana vallecaucana.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2013). Humedales (Lagunas, Ríos y Madreviejas). [Disponible en: <http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/php/decide.php?patron=01.201206>]. [Revisado el 21 de noviembre de 2013].
- Roldan, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN Colombia. Colciencias. Universidad de Antioquia. Medellín.
- Roldán, G. (1992). Fundamentos de Limnología Neotropical. Universidad de Antioquia. Editorial Presencia Ltda. p. 403 - 418.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de Limnología Neotropical. Universidad de Antioquia. p.41- 339.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/col. Editorial Universidad de Antioquia. p. 29.

- Roldán, G. (2012). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Bogotá D. C.
- Rivera, J. (2011). Relación entre la Composición y Biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque, Bogotá, Colombia. Tesis Maestría. Universidad Nacional. Biblioteca Digital - Sede Bogotá.
- Rivera, J., Pinilla, A., & Rangel, O. (2013). Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque, Bogotá D. C. Revista Caldasia. p. 389-408
- Ramírez, A., & Viña, G. (1998). Limnología Colombiana. Aporte a su Conocimiento y Estadísticas de Análisis. Editorial Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá D. C. p. 72.
- Ramsar. (2007)¿Que son los Humedales? En: Documento informativo Ramsar N° 1. [Disponible en: <http://www.ramsar.org/pdf/about/info2007sp-01.pdf>]. [Revisado el 17 de octubre de 2013].
- Ryding, S., & Rast, W. (1992). El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Editorial Pirámide, Madrid. p. 375.
- Reyes, F. (2013). Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lénticos de la Region Maya. Guatemala. Revista Científica. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Rosenberg, D., & Resh, V. (1996). Use of aquatic insects in biomonitoring. In: Aquatic insects of North American. Merritt R. W. and W. K. Cummins. Editorial Kendall / Hunt Publishing Company. Dubuque, Iowa. p. 87-97
- Trama, F., Rizo, P., & Springer, M. (2009). Macroinvertebrados bentónicos del humedal Palo Verde, Costa Rica. Revista de Biología tropical. p. 275 – 284.
- Trémouilles, E., Oliva, A., & Bachmenn, A. (1995). Insecta Coleóptera. En Ecosistemas de aguas continentales: Metodologías para su estudio (Eds. E.C. Lopretto & G.Tell). Ediciones Sur, Buenos Aires. p. 1133 -1197.
- Usinger, R. (1963). Aquatic Insects of California. University of California, Berkeley.
- Valdovinos, C. (2006). Invertebrados dulceacuícolas. Biodiversidad de Chile. Santiago de Chile. Ocho Libros Editores. p. 204 - 225.
- Villagrán, R., Aguayo, M., Parra, L., & González, A. (2006). Relación entre características del hábitat y estructura del ensamble de insectos en humedales palustres urbanos del centro-sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. p. 195 - 211
- Zamora, H. (2007). El índice BMWP y la Evaluación Biológica de la calidad del Agua en los Ecosistemas Acuáticos Epicontinentales Naturales de Colombia. Revista de Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. p.73.

11. ANEXOS

ANEXO 1. Tabla del Sistema para la determinación del Índice de Monitoreo Biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System). Adaptación para Colombia (Zamora, 2007).

Ordenes	Familias	Puntaje
Plecoptera Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Diptera Unionoida Acari Hidroida	Perlidae Oligoneuridae, Euthyplociidae, Polymtarcyidae. Odontoceridae, Glossosomatidae, Rhyacophilidae, Calamoceratidae, Hydroptilidae, Anomalopsychidae, Atriplectididae. Psephenidae, Ptilodactylidae, Lampyridae. Polythoridae. Blepharoceridae. Unionidae. (Cl: Bivalvia o Pelecypoda) Lymnessiidae. (Cl: Arachnoidae o Hidracarina). Hidridae. (Cl: Hydrozoa)	10
Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Diptera Gordioidae Lepidoptera Mesogastropoda Hirudiniformes	Leptophlebiidae, Efemeridae. Hydrobiosidae, Philopotamidae, Xiphocentronidae. Gyrinidae. Scirtidae. Gomphidae, Megapodagrionidae, Coenagrionidae.. Simullidae. Gordiidae, Chordodidae. (Cl: Nematomorpha) Pyalidae Ampullariidae. (Cl: Gastrópoda). Hirudinae. (Cl: Hirudinea)	9
Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Hemiptera Diptera Decápoda Basommatophora	Baetidae, Caenidae, Hidropsychidae, Leptoceridae, Helicopsychidae. Dytiscidae, Dryopidae. Lestidae, Calopterygidae. Pleidae. Saldidae, Guerridae, Veliidae, Hebridae Dixidae. Palaemonidae, Pseudothelpusidae. (Cl Crustácea) Chilinnidae. (Cl: Gastrópoda)	8
Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Hemiptera Diptera Basommatophora	Tricorythidae, Leptohiphidae. Polycentropodidae. Elmidae, Staphylinidae Aeshnidae. Naucoridae, Notonectidae, Mesolveiidae, Corixidae. Psychodidae Ancyliidae, Planorbidae. (Cl: Gastrópoda)	7

Ordenes	Familias	Puntaje
Mesogastropoda Archeogastrópoda	Melaniidae, Hydrobiidae, (Cl: Gastrópoda) Neritidae. .. (Cl: Gastrópoda)+	

Ordenes	Familias	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, Dugesiidae..	6
Coleóptera Diptera Basommatophora	Chrysomelidae, Haliplidae, Curculiónidae. Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae. Thiaridae. (Cl: Gastrópoda)	5
Coleoptera Diptera Basommatophora	Hidrophilidae, Noteridae, Hydraenidae, Noteridae. Tipulidae, Ceratopogonidae. Limnaeidae, Sphaeridae.. (Cl: Gastrópoda).	4
Diptera Basommatophora Glossiphoniiformes	Culícidae, Muscidae, Sciomizidae. Physidae. (Cl: Gastrópoda). Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Cylicobdellidae	3
Diptera Heplotaxida	Chironomidae, Ephydriidae, Syrphidae. Todas las familias (Excepto tubifex)	2
Haplotaxida	Tubificidae (Tubifex)	1

ANEXO 2: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS
ENCONTRADOS EN EL HUMEDAL EL CHUCHAL



Tropisternus c.



Tropisternus o.



Hydrophilus sp.



Thermonectus



Hydrocanthus



Laccornis



Onychylis longulus



Pachydrus



Ataenius



Megadytes



Elodes



Helophorus



Sympetrum



Anax amazili



Tramea



Coryphaeshna



Belostoma



Mesovelia



Lethocerus



Notonecta



Aedes



Ablabesomyia



Ephedra



Eristalis tenax



Pomacea



Physa



Gyraulus



Terpides

ANEXO 3:



Figura 1. Fragmentación del ecosistema en periodo seco



Figura 2. Actividades agropecuarias alrededor del recurso hídrico



Figura 3. Humedal El Chuchal rodeado por el rio Cauca.