

**ESTUDIO DEL ZOOPLANKTON EN ZONAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN
EL EMBALSE DE BETANIA (HUILA – COLOMBIA)**

CARMEN ROSA LARGO URREA

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
BOGOTÁ
2009**

**ESTUDIO DEL ZOOPLANKTON EN ZONAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN
EL EMBALSE DE BETANIA (HUILA – COLOMBIA)**

CARMEN ROSA LARGO URREA

Tesis de grado para optar al título de
Biólogo Marino

Director

GUILLERMO RUEDA DELGADO

Candidato a Ph. D. Biología de los organismos. Universidad de Vigo

Laboratorio de Limnología

Universidad Jorge Tadeo Lozano

Asesor

NELSON JAVIER ARANGUREN RIAÑO

M. Sc. Biología

Unidad de Ecología en Sistemas Acuáticos UDESA

Escuela de Ciencias Biológicas

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA

BOGOTÁ

2009

DEDICATORIA

*A mi mamá por estar siempre conmigo y por hacer de todos mis sueños una
realidad...*

*A mis hermanitos porque me apoyaron incondicionalmente en todos los momentos
difíciles de mi carrera...*

*A Danny, Tatey y Juan porque se que siempre amaron su carrera y que desde
donde estén me cuidan y que quiero que sepan que siempre los llevaré en mi
corazón...*

A Caro porque además de ser mi amiga es mi hermana y la quiero mucho...

A mi niña Jennifer porque la quiero como a una hija...

AGRADECIMIENTOS

A mi director Guillermo por darme una oportunidad de pertenecer a su grupo de investigación, confiar en mi capacidad intelectual y ayudarme en la realización de este trabajo...

A Nelson Aranguren por ayudarme con la realización de mi tesis y por el apoyo que me brindó en la identificación de copépodos y cladóceros...

A mis compañeros del laboratorio de limnología por apoyarme en todo momento y siempre estar conmigo...

A mis amigos por darme ánimo en los momentos difíciles...

A Daniel Monroy por la ayuda en la identificación de rotíferos y cladóceros...

A Camilo Andrade por la ayuda en la identificación de rotíferos...

A Cata por apoyarme en todo momento...

A Osquitar por la ayuda en las labores de campo...

A Johny por su apoyo intelectual y por su amistad...

A Sandrita por ayudarme en la búsqueda de información...

CONTENIDO

	pag
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. GENERALIDADES DEL ZOOPLANCTON	3
2.2. ROTÍFEROS	3
2.3. CLADÓCEROS	4
2.4. COPÉPODOS	5
2.5. EMBALSE DE BETANIA Y PISCICULTURA	6
3. ESTADO DEL ARTE	8
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	11
5. OBJETIVOS	12
5.1. OBJETIVO GENERAL	12
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
6. HIPÓTESIS	13
7. METODOLOGÍA	14
7.1. ÁREA DE ESTUDIO	14
7.1.1. Características físicas	14
7.1.2. Clima	16
7.2. FASE DE CAMPO	17
7.2.1. Estudio de las variaciones en la composición	17
7.2.2. Estudio de las variaciones en diversidad alfa y beta	19
7.3. FASE DE LABORATORIO	19
7.4. FASE DE GABINETE	21
8. RESULTADOS	23
8.1. COMPOSICIÓN	23
8.2. VARIACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES DE LA ABUNDANCIA DEL ZOOPLANCTON	26
8.3. ESTRUCTURA	28
8.4. RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES	31

9. DISCUSIÓN	36
9.1. COMPOSICIÓN ACTUAL DEL ZOOPLANCTON EN EL EMBALSE DE BETANIA Y COMPARACIÓN CON ESTUDIOS PREVIOS EN ESTE SISTEMA Y EN ECOSISTEMAS SIMILARES	36
9.2. COMPARACIÓN DEL ZOOPLANCTON EN DOS INTENSIDADES DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA	42
9.3. RELACIONES ENTRE LA COMPOSICIÓN DEL ZOOPLANCTON Y LAS VARIABLES AMBIENTALES	44
10. CONCLUSIONES	46
11. RECOMENDACIONES	47
12. BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	55

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Capacidad instalada para cada proyecto según el tamaño de los proyectos. Tomado de Informe Final Piscicultura y Pesca (Garzón 2008).	18
Tabla 2. Listado de especies colectadas en las zonas de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania en los meses de Septiembre (Sep) y Noviembre (Nov) de 2007 y Febrero (Feb) de 2008. *= presente	25
Tabla 3. Comparación de taxa del zooplancton colectado en el Embalse de Betania con los reportados para este y para otros cuerpos de agua tropicales de baja latitud. (1) Colectados en el actual estudio (2) Herrera y Guillot (1999), (3) Alvarez (2003), (4) Guevara <i>et al.</i> (2008), (5) Sendacz, <i>et al.</i> (2006)	37

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Ubicación del Embalse de Betania y estaciones de muestreo seleccionadas para el estudio. Tomado de Rueda-Delgado, <i>et al.</i> 2007	15
Figura 2. Cota promedio del Embalse de Betania durante los momentos de muestreo. Datos suministrados por EMGESA 2008	18
Figura 3. Distribución de las especies colectadas en desarrollo del estudio para las diferentes zonas de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania entre Septiembre de 2007 a Febrero de 2008	24
Figura 4. Densidad relativa de los grupos de zooplancton colectados en diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania durante los meses de Noviembre de 2007 y Febrero de 2008	24
Figura 5. Abundancia total del zooplancton y Cota promedio del Embalse de Betania durante los momentos de muestreo. Datos suministrados por EMGESA 2008.	26
Figura 6. Abundancia relativa del zooplancton colectado en diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania durante los meses de Noviembre de 2007 y Febrero de 2008.	27

Figura 7. Abundancia relativa de los grupos que componen el zooplancton en diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania. Los dípteros al tener un bajo valor de porcentaje no se alcanzan a evidenciar en la gráfica.

28

Figura 8. Riqueza cuantitativa de Margalef para las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania durante los meses de Noviembre de 2007 y Febrero de 2008.

29

Figura 9. Riqueza cualitativa de Chao 2 para las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania durante los meses de Septiembre y Noviembre de 2007 y Febrero de 2008.

30

Figura 10. Índice de fluctuación de Dubois para las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania durante los meses de Noviembre de 2007 y Febrero de 2008.

30

Figura 11. Índice de similaridad de Jaccard para las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en cuanto a la presencia-ausencia de especies en el Embalse de Betania durante los meses de Septiembre y Noviembre de 2007 y Febrero de 2008. Valor mínimo de significación: 0.70.

31

Figura 12. . Regresión exponencial entre la densidad total del zooplancton y los dinoflagelados durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes

estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania 32

Figura 13. Regresión exponencial entre la densidad total del zooplancton y las clorofitas durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania 33

Figura 14. Regresión exponencial entre el total de taxa del zooplancton y las clorofitas durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania 33

Figura 15. Regresión exponencial entre la densidad total de copépodos y los dinoflagelados durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania 34

Figura 16. Regresión exponencial entre la densidad total de copépodos y las clorofitas durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania 34

Figura 17. Regresión exponencial entre la densidad total de rotíferos y los dinoflagelados durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania 35

LISTA DE ANEXOS

	Pag
Anexo A. Listado de especies encontradas en el Embalse de Betania teniendo en cuenta su taxonomía y grupo trófico funcional	55
Anexo B. Graficas de regresión lineal Variables Limnológicas-Densidad zooplancton	61

RESUMEN

Se analizó la composición del zooplancton en diferentes intensidades de producción piscícola (alta y media) y las entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania, Huila-Colombia. Las muestras se colectaron entre septiembre y noviembre de 2007 y febrero de 2008. Se efectuaron muestreos cualitativos superficiales con malla de 63µm y cuantitativas integrando 10L de agua filtrada (red 63µm). Los organismos se fijaron en solución transeau (60:30:10 partes de agua, alcohol 96%, formol 40 %, respectivamente). Se identificaron un total de 35 especies (27 de rotíferos, 5 de cladóceros, 2 de copépodos y una larva de Díptero, *Chaoborus*). Los rotíferos más abundantes fueron *Brachionus calyciflorus*, *B. falcatus*, *Conochilus dossuarius*, *Filinia terminalis*, *Hexarthra* sp., *Keratella americana*, *K. tropica*, *Polyarthra vulgaris* y *Trichocerca similis*. Las especies dominantes de cladóceros fueron *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia lacustris* y *Diaphanosoma brachyurum*. Los nauplios fueron frecuentes entre los copépodos. La abundancia total del zooplancton fue de 295199 Org/l distribuidos en su mayor proporción en la zona alta de producción piscícola 139244,44 Org/l y en menor proporción en la zona de la entrada de río Yaguará 12615,51 Org/l. La abundancia cambió de acuerdo a la zona de producción pero la estructura fue similar en más de un 70% de especies en todas las estaciones evidenciando la selectividad de estas por los peces. Se encontró una relación inversa significativa ($P < 0,05$) con los dinoflagelados y la abundancia total del zooplancton, la abundancia total de copépodos y la abundancia total de rotíferos en el cual mientras aumentaba la abundancia de los dinoflagelados disminuía la de estos grupos posiblemente por el efecto tóxico que tienen estos dinoflagelados. Las clorófitas mostraron una relación directa significativa ($P < 0,05$) con los grupos mencionados anteriormente y el total de taxa aumentando ambos grupos sin que se vea afectado ninguno. No se encontró una relación con las variables fisicoquímicas ($P > 0,05$). Según el test de Kruskal-Wallis no se encontraron diferencias significativas entre estaciones ($P = 0.32$). La zona media de producción piscícola fue la más estable en cuanto a la abundancia de especies y la más inestable fue la estación Caraguaja. La actividad piscícola desarrollada en el embalse ejerce dos efectos sobre la comunidad de zooplancton, uno directo generando un efecto *top-down* por la predación selectiva ejercida principalmente hacia los cladóceros y uno indirecto generando un efecto *bottom-up* por el aporte de nutrientes a la columna de agua.

Palabras clave: Zooplancton, embalses, *top-down*, *bottom-up*, estabilidad.

1. INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA

Se conoce al zooplancton como animales que tienen su hábitat en la columna de agua y están conformados por organismos microscópicos que flotan libremente en ella. En los ambientes acuáticos continentales esta comunidad está conformada principalmente por protozoarios, rotíferos, microcrustáceos y larvas de insecto (Álvarez 2003). Su estudio tiene gran relevancia pues al conocer su composición y estructura es posible establecer la calidad ambiental de los cuerpos de agua donde habitan, ya que los grupos que lo componen reaccionan de manera diferente a las condiciones fisicoquímicas del lugar donde se encuentren (Vanegas 2002).

De igual forma, la estructura y composición del zooplancton, al ser un eslabón entre los productores primarios del fitoplancton y los consumidores de mayores tallas como los peces, depende de las regulaciones clásicas top-down y bottom-up desestabilizando la cadena trófica de manera significativa desde los primeros eslabones y de esta forma interfiriendo en la producción piscícola ya que, como se mencionó anteriormente, se van afectados los consumidores mayores como los peces (Rejas, et al. 2005). Por ello el conocimiento de esta comunidad puede servir como indicador del efecto que la introducción de especies exóticas, como la Tilapia (*Oreochromis* spp), tienen en las condiciones ecológicas de los ambientes receptores. Tal podría ser el caso del embalse de Betania, área de estudio de este trabajo de grado, en el cual se desarrolla desde los años 80 el cultivo de esta especie (Rejas, et al. 2005). De igual forma el zooplancton, al ser consumidor del fitoplancton, está regulado por esta comunidad, consumiendo preferencialmente las que le son más fáciles de ingerir bien sea por su forma o tamaño o afectado por afloramientos de algas tóxicas (Margalef 1983).

En este contexto, este trabajo de grado tiene como propósito conocer los cambios espaciales y temporales en la comunidad del zooplancton en el embalse de Betania en las zonas en las que se desarrolla cultivos de Tilapia en jaulas. El

diseño de muestreo que se usó en este trabajo corresponde al establecido por el grupo de Limnología de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano en desarrollo de la consultoría "ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA Y FORMULACIÓN DE UN PLAN DE CONTINGENCIA PARA EMERGENCIAS EN LOS PROYECTOS PISCÍCOLAS EN EL EMBALSE DE BETANIA". Esta consultoría se desarrolló en razón a la mortalidad masiva de peces que se presentó en los proyectos piscícolas de Tilapia en el embalse en febrero de 2007.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DEL ZOOPLANCTON

El plancton, palabra que significa “errante”, está conformado por organismos microscópicos que están suspendidos en el agua a merced de las corrientes (Margalef 1983). La comunidad de zooplancton en aguas continentales presenta rasgos típicos de adaptación a este sistema siendo más pequeños y menos longevos que los de ambientes marinos. El zooplancton es el segundo eslabón en la cadena trófica actuando como consumidor primario de los organismos fitoplanctónicos y saprobios suspendidos en la columna de agua desempeñando un papel importante en la productividad total de los ecosistemas acuáticos (Wickstead 1979, Castaño 1990 En: Olsen & Conde 1995).

En el presente estudio, se trabajó básicamente con dos taxa, los rotíferos que constituyen las fracciones del microzooplancton y los crustáceos que comprenden principalmente cladóceros y copépodos los cuales conforman la mayor proporción de la fracción de macrozooplancton (Álvarez 2003) según la metodología descrita posteriormente, el zooplancton colectado se encuentra dentro del mesoplancton.

2.2. ROTÍFEROS

Los rotíferos varían en tamaño, encontrándose entre las 50 y 100µm, con períodos de vida muy cortos y reproducción asexual rápida siendo partenogenéticos y produciendo machos por un tiempo limitado cada año (Thorp y Covich 2001). Presentan una corona ciliada que les sirve para la locomoción y alimentación siendo en su mayoría especies filtradoras aunque existen también especies depredadoras. El movimiento de los cilios crea corrientes de agua que favorecen la entrada de partículas vivas o de materia orgánica detrítica al interior de la boca de diámetros entre las 1 y 20µm. Comparados con los crustáceos sus

movimientos son más lentos, sin presentar un modelo de migración definido. Este hecho, junto con su tamaño, posibles razones para su difícil localización por los peces (Wetzel 1981 En: Álvarez 2003).

Los rotíferos también presentan una faringe muscular llamada mastax que comprende un set de duras mandíbulas llamadas trophi, presentes en todos los rotíferos. Muchas especies son planctónicas, otras viven sobre las plantas o entre los sedimentos, las especies que son sésiles viven permanentemente adheridas a las plantas. La gran mayoría también son solitarios aunque cerca de 25 especies forman colonias de varios tamaños (Thorp y Covich 2001).

2.3. CLADÓCEROS

Ecológicamente hablando, los cladóceros se asemejan más a los rotíferos por su tamaño, que va desde los 0.2mm hasta los 3mm, rápidos desarrollo y ciclos de reproducción (Margalef 1983). Generan una corriente constante de agua debido a movimientos complejos de sus patas laminares cubiertas por una gran cantidad de pelos y sedas llevando el alimento hacia la boca donde se mezclan con las secreciones bucales. El tamaño del alimento ingerido depende del tamaño del cladóceros y de sus hábitos alimenticios consumiendo una variedad de pequeñas partículas que van desde bacterias menores a un micrómetro de largo, hasta algas y ciliados, pequeños rotíferos, nauplios de copépodos hasta un largo de 100µm siendo su principal alimento pequeñas algas en el rango de 1 a 25µm. Esta selectividad hacia las algas hace que estos animales sean preferidos por la mayoría de los predadores acuáticos, ya que estos indican una calidad buena del cuerpo de agua haciendo que sean preferidos por los consumidores que se encuentran en niveles superiores (Thorp y Covich 2001).

2.4. COPÉPODOS

Los copépodos pertenecen a un grupo relativamente pequeño de artrópodos acuáticos con 11.500 especies (Humes 1994 En: Gaviria y Aranguren 2007) considerándose los metazoos más abundantes del planeta (Boxshall y Halsey 2004 En: Gaviria y Aranguren 2007). Aunque este grupo está más diversificado en el mar siendo las especies parásitas una tercera parte de las de vida libre, en aguas continentales se conocen cerca de 2500 especies (Gaviria y Aranguren 2007).

Su tamaño en aguas continentales se encuentra entre los 0.3mm y 5mm siendo la mayoría cercanas a 1mm (Dussart y Defaye 2001). En este tipo de aguas el grupo está representado por cuatro órdenes: Calanoida, Cyclopoida, Harpacticoida y Gelyelloida, esta última creada recientemente con solo dos representantes encontrados en el Paleártico occidental, en medio subterráneo. En Colombia actualmente se conocen 69 especies y subespecies de copépodos de los cuales 14 pertenecen a Calanoida, 41 a Cyclopoida y 14 a Harpacticoida (Gaviria y Aranguren 2007).

En los copépodos se conocen dos tipos de alimentación: carnívoros en la mayoría de Cyclopoideos donde el alimento es capturado por piezas bucales y llevadas a la boca, y filtradores generalmente en Calanoideos y Harpacticoideos. Mientras que los Calanoideos y los Ciclopoideos son típicos del plancton, los Harpacticoideos pertenecen al bentos y al litoral. Presentan ciclos de vida largos (semanas y meses), varios estadios larvales cambiando el hábito alimenticio según su desarrollo, los nauplios micrófagos y los adultos macrófagos, incidiendo directamente en la organización energética del ecosistema (Margalef 1983). Como característica notable tienen una marcada migración vertical diaria abarcando grandes distancias (Wetzel 1981 En: Álvarez 2003) siendo el grupo más motil dentro de los crustáceos planctónicos (Gaviria y Aranguren 2007).

Los copépodos cumplen un importante rol en el ecosistema ya que se presentan en mayor proporción respecto a biomasa y productividad en sistemas de aguas dulces ocupando una importante posición intermedia en las cadenas alimenticias ya que su hábitat generalmente omnívoro es importante en la transferencia de energía hacia niveles más altos en la cadena alimenticia (Thorp y Covich 2001).

2.5. EMBALSE DE BETANIA Y PISCICULTURA

Se conoce a un embalse como un depósito artificial en el que se almacenan las aguas de un río o arroyo con el fin de utilizarse principalmente para producción de energía eléctrica, aunque también puede tener otros usos como el riego de terrenos, abastecimiento de poblaciones y, dependiendo las condiciones, para la piscicultura (Margalef 1983)

La construcción del Embalse de Betania tuvo como objetivo inicial la solución de los problemas energéticos del departamento del Huila. Propuesto en 1947, entregándose los primeros estudios dos años más tarde, en donde definían dos propósitos: la producción de energía eléctrica y la construcción de canales de riego. En 1971 se le dio al embalse un enfoque múltiple que incluía la generación de energía, proyectos de irrigación, acueductos, control de inundaciones y desarrollo turístico. La construcción se inicia en el año de 1981, comenzando su operación seis años después, con una capacidad de generación de 540 MW constituyendo aproximadamente el 5% de la capacidad energética del país.

Casi al mismo tiempo se inicia en Colombia el cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis niloticus*) como una actividad industrial. El cultivo de Tilapia Roja en jaulas flotantes se inició con proyectos que empleaban una tecnología recogida de diferentes experiencias en otras regiones del país y en otros países (Escobar, et al. 2005). En Betania la totalidad de proyectos piscícolas de mojarra roja tienen la producción de alevinos en piscinas construidas en tierra firme, de allí son traídos

alrededor de un millón de animales a los jaulones que están en el embalse y se programa la siembra. Este Embalse, junto con el del Prado son de las pocas represas en Colombia que están desarrollando esta actividad en el ámbito industrial (Marques y Guillot 1992. En: Escobar, et al. 2005).

3. ESTADO DEL ARTE

El estudio del zooplancton neotropical se ha venido realizando desde hace mucho tiempo. Uno de los estudios clásicos corresponden a los de Dussart (1984) quien investigó acerca de algunos Copépodos de Venezuela, en 1985 junto con Defaye fue una de las primeras personas que hizo un reporte mundial de crustáceos Cyclopoideos, dos años después estudió al copépodo *Mesocyclops* en el Amazonas. Para el año de 1990, con la ayuda de Defaye hizo otro reporte mundial de crustáceos Harpacticoideos, cinco años más tarde crearon una guía para la identificación de macroinvertebrados de aguas continentales del mundo publicando la segunda edición seis años después. Por último en el 2002 crearon el directorio mundial de Copépodos.

Miyashiro y Costa en el 2004 hicieron una contribución del estado de los rotíferos en planos inundables en Sur América con este estudio se amplió el conocimiento de los rotíferos tanto en su distribución como ecología. En el 2006, Sendacz, Caleffi y Santo-Soares realizaron un estudio en São Paulo donde estimaron la biomasa de rotíferos, cladóceros y copépodos calanoideos y cyclopoideos encontrados en embalses de diferentes condiciones tróficas comparando y relacionando los datos de densidad numérica y señalando diferencias entre las estaciones seca y húmeda.

En Venezuela, para el año de 2006 Mario Ortaz y colaboradores evaluaron la importancia del zooplancton en la dieta de peces de pequeñas tallas en tres embalses con dos estados tróficos (oligotrófico e hipereutrófico) colectados en dos fases hidrológicas (baja y alta) mostrando una variación en la depredación que ejercen los peces dependiendo de la especie y de las características del ambiente. Reverol y colaboradores (2008) analizaron la composición del zooplancton en cuatro lagunas de inundación de la cuenca baja del Río Caura en Venezuela entre marzo de 1998 y febrero del 2000 encontrando que la abundancia total del

zooplancton tiene una marcada tendencia estacional en las lagunas de inundación, incrementándose durante los niveles bajos de agua (período de sequía) y disminuyendo cuando el nivel del agua se eleva (período lluvioso).

En Colombia Arias en 1975 realizó un estudio limnológico en la Ciénaga de Guarinocito, el río Magdalena y su influencia en las poblaciones acuáticas. Alvarado y Pinilla en 1977 realizaron una investigación en la laguna de Tota con el objetivo de conocer el zooplancton presente y su variación en la época de muestreo. Para el año de 1982, Giraldo y Herrera hicieron una contribución al conocimiento del zooplancton existente de la Ciénaga de Tesca estableciendo la composición de las comunidades zooplanctónicas con sus variaciones estacionales, se hizo un estudio semi-cuantitativo y cualitativo del zooplancton superficial del Embalse de El Guajaro (Camargo, 1989) con el fin de conocer el comportamiento y composición del zooplancton en todo el embalse y la influencia del canal del Dique.

En el 2003, Álvarez de la Universidad Nacional de Colombia realizó un estudio acerca de la composición y abundancia del zooplancton durante la fase de llenado del Embalse Amaní en Norcasia (Caldas) en un gradiente horizontal y vertical encontrando que la composición de la comunidad de zooplancton es similar a la de otros ecosistemas lenticos tropicales de baja altitud.

Para el año 2005, Hakspiel estudió la variación espacial y temporal de la abundancia del nanoplancton heterótrofo y su relación con la abundancia y el volumen celular del bacterioplancton en el Embalse del Neusa con el objetivo de corroborar si la variación de la abundancia de la comunidad de protozoos planctónicos estaba relacionada con la abundancia y el volumen celular del bacterioplancton encontrando que ambas comunidades se correlacionan evidenciando el control que el nanoplancton heterótrofo tiene sobre la comunidad bacteriana. Para el año 2007 Gaviria y Aranguren hicieron un reconocimiento de las especies de vida libre de la subclase Copépoda en aguas continentales de Colombia en donde describen su distribución, ecología y realizan una

caracterización taxonómica. Más recientemente, en el 2008, Guevara y colaboradores evaluaron los patrones horizontales y estacionales del zooplancton tropical del Embalse de Prado confirmando el estado trófico que ha sido clasificado como eutrófico y que en general se observó una homogeneidad física y química tanto espacial como temporalmente.

En el Embalse de Betania Guillot y Herrera en el año de 1999 desarrollaron un estudio con el objetivo de determinar la composición del zooplancton a partir de la comparación con faunas zooplanctónicas de varios cuerpos de aguas tropicales, concluyendo que esta composición es típica de lagos tropicales cálidos.

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Estudios realizados por Rueda-Delgado, et al. 2007 demuestran que el cultivo de Tilapia ha modificado significativamente las características fisicoquímicas y fitoplanctónicas del embalse de Betania, llevando el sistema a estados de hipereutrofia en algunos momentos y en la mayoría de zonas de cultivo. Este cambio en el nivel trófico podría estar modificando las características del zooplancton, ocasionando desbalance en la trama trófica que podría ser más o menos intenso a diferentes niveles de producción y en momentos de mayor o menor llenado del embalse.

Por ello se pretende resolver en este trabajo de grado la pregunta: ¿Variará la composición de la comunidad de zooplancton de acuerdo a los cambios en la intensidad de producción piscícola presente en el Embalse de Betania? Y como segundo aspecto ¿hay cambios temporales en la composición y estructura de la comunidad de zooplancton en las diferentes intensidades de producción?

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la estructura de la comunidad zooplanctónica presente en zonas con diferente intensidad de producción piscícola en el Embalse de Betania.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición actual de la comunidad del zooplancton en el Embalse de Betania en comparación con los estudios realizados para este ecosistema y embalse similares.
- Comparar la composición del zooplancton en dos intensidades diferentes de producción piscícola.
- Establecer posibles relaciones entre la composición del zooplancton y las variables limnológicas medidas por el macroproyecto en el Embalse durante el máximo y mínimo nivel del embalse en el tiempo de muestreo.
- Determinar si existen relaciones entre los resultados obtenidos y la actividad piscícola desarrollada en el Embalse

6. HIPÓTESIS

- Las muestras obtenidas de las zonas en los que hay producción piscícola se diferencia de las obtenidas en aguas abiertas donde no se desarrolla actividad piscícola.
- El nivel del embalse influencia la composición y estructura de la comunidad de zooplancton independiente del nivel de intensidad de producción.

7. METODOLOGÍA

7.1. ÁREA DE ESTUDIO

El Embalse de Betania se encuentra localizado al suroccidente del departamento del Huila, a 35Km de la ciudad de Neiva en la cuenca alta del río Magdalena, bajo la jurisdicción de los municipios de Yaguará, Campoalegre, Hobo y Gigante y a una altura de 557 msnm (Fig 1) (Escobar, et al. 2005).

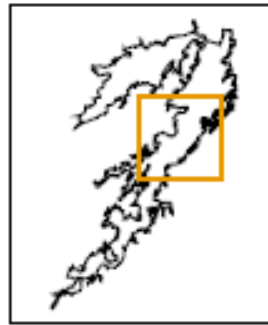
7.1.1. Características físicas

El embalse tiene forma de herradura y presenta patrones de comportamiento espaciales y temporales que no son homologables a ningún sistema natural, aunque en ocasiones pueden llegar a ser similares. Está conformado por la captación de aguas de los ríos Magdalena y Yaguará en una presa de 91m de altura, ocupando un área aproximada de 7400 ha en la cota normal de operación (561.2 msnm). La profundidad promedio del embalse es de 32.77m y presenta dos zonas bien diferenciadas producto del origen de las aguas de los ríos que lo conforman: una zona conocida comúnmente como subembalse del Magdalena, formada por los ríos Guarapas, Suaza, Páez y Magdalena, el cuál es el más angosto, con paisaje escarpado, mayor profundidad y mayor caudal aferente. El otro es el subembalse de Yaguará, formado por el río Yaguará, que se caracteriza por ser más ancho, menos profundo, con mayor desarrollo de zonas litorales y menor caudal aferente (Escobar, et al. 2005).

LOCALIZACIÓN GENERAL



Departamento del Huila



Embalse de Betania
Zona de estudio en el subembalse
del Magdalena

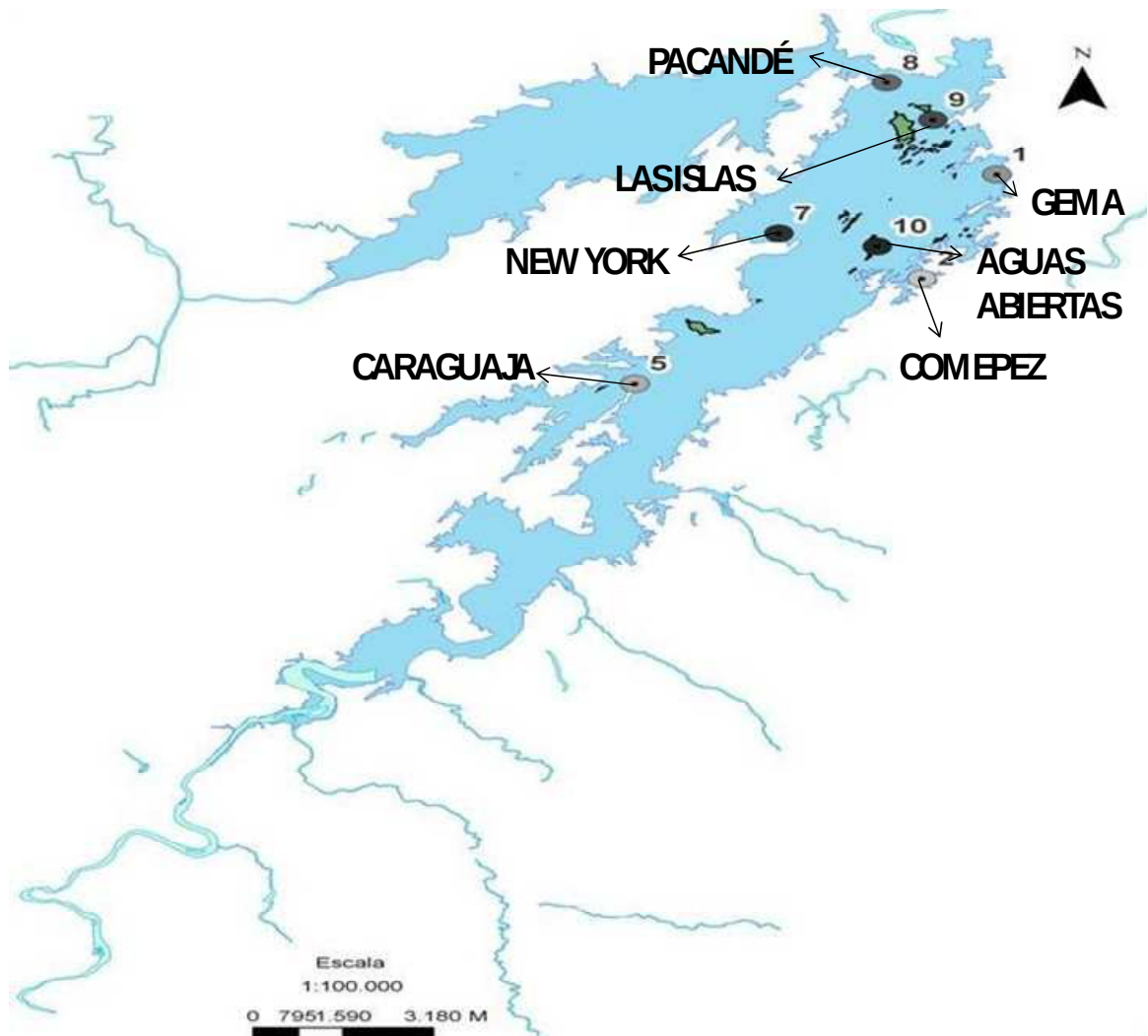


Figura. 1. Ubicación del Embalse de Betania y estaciones de muestreo seleccionadas para el estudio.
Tomado de Rueda-Delgado, *et al.* 2007.

La cota promedio del embalse es de 557.16 msnm con valor máximo de 561.2m y uno mínimo de 544m. Presenta un caudal de entrada de agua promedio mensual de 463.26m³/seg, con un valor máximo de 755.2 m³/seg y mínimo de 145.08 m³/seg. El tiempo de residencia de las aguas es en promedio de 50 días, con un valor máximo de retención de 130 días y mínimo de 24 días, valores que reflejan el grado de estabilidad en el manejo hidráulico del sistema.

Presenta una zonificación longitudinal y vertical. La zonificación longitudinal se inicia desde la entrada del río o zona ribarina que se caracteriza por ser alargada y de aguas bien mezcladas, que corresponde a los brazos de los ríos Magdalena y Yaguará. Esta ultima aunque disminuya el caudal, conserva una alta capacidad de transporte de materiales a pesar de que la penetración de la luz y la productividad sean limitadas. La zona de transición (parte media) la cual presenta procesos de sedimentación con alta penetración de la luz, y zona lacustre que se comporta como un lago con alta penetración de la luz y con alta productividad. En cuanto a la zonificación vertical, el embalse presenta estratificación térmica y química, con una zona limnética que presenta altos valores de productividad durante las horas de mayor iluminación, manifestándose con la sobresaturación de oxígeno, pH básico y alcalinidad total al bicarbonato. La zona de aguas profundas (Hipolimnion) varía entre hipóxica (bajas concentraciones de oxígeno) y anóxica (sin oxígeno) (Escobar, et al. 2005).

7.1.2. Clima

El departamento del Huila presenta regímenes climáticos estacionarios influenciados por la zona de convergencia intertropical ZCIT, que marca dos épocas: invierno y verano. La temperatura promedio mensual es de 28°C, siendo la zona del embalse y aguas abajo las que presentan las máximas temperaturas; la precipitación media anual es menor de 1400mm y es de carácter bimodal con dos picos de lluvias, uno en abril y otro en noviembre. Por estas condiciones, la humedad relativa en el embalse es baja (Escobar, et al. 2005).

7.2. FASE DE CAMPO

Para determinar, comparar espacialmente y establecer las diferencias temporales en la composición del zooplancton en zonas con diferente intensidad de cultivo de Tilapia se analizaron las muestras obtenidas en el desarrollo del proyecto titulado PROPUESTA PARA LA ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA Y FORMULACIÓN DE UN PLAN DE CONTINGENCIA PARA EMERGENCIAS EN LOS PROYECTOS PISCÍCOLAS EN EL EMBALSE DE BETANIA de la siguiente forma:

7.2.1. Estudio de las variaciones en la composición

El estudio de las diferencias taxonómicas espacio/temporales se efectuó en cinco estaciones distribuidas en ambas riberas del embalse de la siguiente manera, 2 de una intensidad alta de producción (Estaciones New York y Comepez), 2 de intensidad media de producción (Estaciones Las Brisas y Gema) y una estación control (Aguas abiertas) (Fig 1). Las intensidades de producción se escogieron según la intensidad de producción descrita por Garzón (2008) (Tabla 1). Se seleccionaron estas estaciones por estar ubicadas hacia la misma zona del embalse lo que implicaría una misma influencia de las aguas de los ríos Magdalena y Yaguará. El aporte de estos ríos a la comunidad se valoró a partir de las estaciones Caraguaja, a la entrada del brazo Magdalena, y Pacandé, en la boca del brazo Yaguara hacia el subembalse Magdalena (Fig 1).

Para desarrollar este tema se consideraron tres momentos de llenado del embalse correspondientes a los meses de septiembre y noviembre de 2007 y febrero 2008, periodo en el que históricamente se han presentado los menores niveles del embalse y durante el cual ocurren habitualmente mortalidades mayores en los cultivos de tilapia (Rueda-Delgado, *et al.* 2007) (Fig 2).

Las muestras se obtuvieron de manera cualitativa por barridos superficiales por aproximadamente 5 minutos con malla de 63µm las cuales se preservaron en

solución transeau (60:30:10 partes de agua, alcohol 96%, formol 40 %, respectivamente).

CAPACIDAD INSTALADA			
PROYECTOS	TONELADAS	PROYECTOS	%
PEQUEÑOS	≤ 12	Caraguaja y Pacandé	10,7
MEDIANOS	12 A 60	Gema y Las Islas	26,2
GRANDES	60 A 500	Comepez y Nueva York	56,3
INDUSTRIALES	≥ 500	7	6,8
	TOTAL	103	100,0

Tabla 1. Capacidad instalada para cada proyecto según el tamaño de los proyectos. Tomado de Informe Final Piscicultura y Pesca (Garzón 2008).

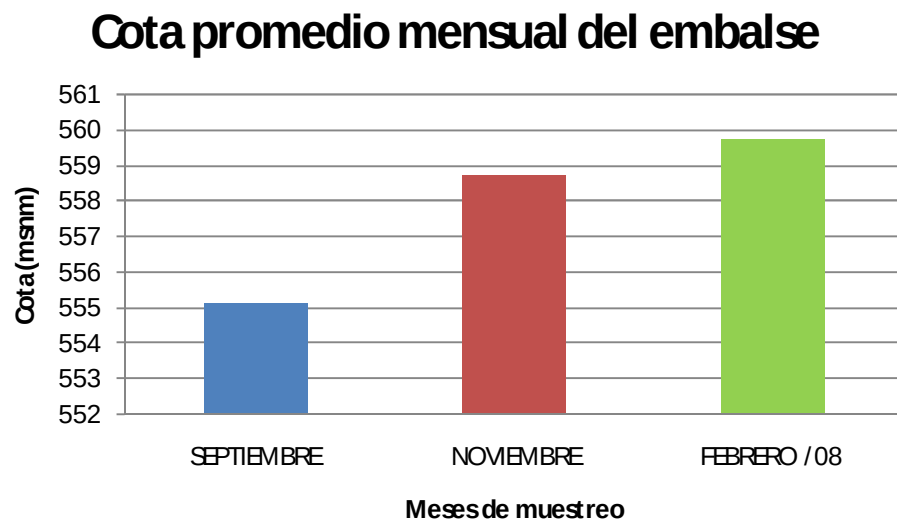


Figura 2. Cota promedio del Embalse de Betania durante los momentos de muestreo. Datos suministrados por EMGESA 2008.

7.2.2. Estudio de las variaciones en diversidad alfa y beta

Para determinar diferencias espaciales y temporales en la estructura de la comunidad se compararon las densidades de los diferentes taxa en cada una de las siete estaciones del estudio cualitativo en los que se consideran como máximo y mínimo nivel del embalse históricamente por ser estos los momentos en los que teóricamente se presentan las mayores diferencias limnológicas en el sistema. Para este estudio sin embargo los niveles del embalse no fluctuaron significativamente por ser un año niño con períodos de lluvia constante.

Las muestras cuantitativas se obtuvieron a partir de la integración de 10 litros de agua superficial obtenida por medio de botella tipo Van Dorn y filtrada por una red de 63 μm

7.3. FASE DE LABORATORIO

Para la observación taxonómica se utilizaron placas SR y portaobjetos con ayuda de un estereoscopio o microscopio óptico según haya sido el caso y se llegó al nivel taxonómico más bajo posible (Aranguren 2002). Se contó con ayuda de expertos en zooplancton para la identificación: Nelson Aranguren M. Sc. (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia), Daniel Monroy Asistente graduado (Laboratorio de Zoología y Ecología acuática LAZOEa Universidad de los Andes), Emilio Realpe M. Sc. y Camilo Andrade M. Sc. (Universidad del Cauca) en el caso de los Rotíferos, y con claves taxonómicas para cada grupo siendo para los copépodos Reid (1985) y Gaviria y Aranguren (2003), para los cladóceros Elmoor-Loureiro (1997); Brooks En: Edmondson (1959), Korvchinsky (1992) y Lieder (1996) y para los rotíferos Koste (1978) y Ruttner-Kolisko (1974).

Para poder identificar los copépodos a nivel taxonómico de especie, se efectuó una disección siguiendo el protocolo descrito por Gaviria y Aranguren (2003). Se colocó el individuo en una gota de glicerina dispuesta sobre un portaobjetos bajo el microscopio, con la ayuda de una aguja entomológica se presionó el animal en

el tórax y en posición dorsal, luego se disectaron sucesivamente todos los apéndices en el siguiente orden: primera antena, anténula A1, antena A2, mandíbula Md, maxila Mx, primer maxilípodo Mxp, primera pata nadadora P1, segunda pata nadadora P2, tercera pata nadadora P3, cuarta pata nadadora P4 y quinta pata nadadora P5. Luego los apéndices se transportaron a gotas de glicerina en otro portaobjetos para su identificación bajo el microscopio. Luego se realizó una leve presión con el fin de que el endo y exopodito se situaran en plano horizontal y se colocó un cubreobjetos para evitar el cambio en la posición de las estructuras depositando las láminas montadas en cajas de petri.

De cada especie se obtuvieron registros fotográficos usando una cámara Sony Cyber-shot de 10.1 mega pixeles y se construyó una ficha ecológica siguiendo lo efectuado por el Grupo de Limnología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

La cuantificación de los organismos se realizó usando cámaras de sedimentación de Utermöhl en donde se procedió y modificó según lo descrito por Aranguren (2002) de la siguiente forma: se puso a sedimentar un volumen promedio de 50ml por muestra incrementando su volumen de acuerdo a la concentración de cada una, este procedimiento se realizó tres veces para cada muestra, dejando decantar una hora por cada mililitro de la muestra, para el conteo se observaron las tres cámaras por cada muestreo en un microscopio invertido marca Olympus observando la cámara en su totalidad hasta llegar a 200 organismos de la especie dominante, luego con los datos obtenidos de las tres cámaras se realizó una prueba de normalidad para confirmar si los datos fueron tomados al azar en donde los datos no arrojaron una normalidad razón por la cual se procedió a hacer una sumatoria de los individuos vistos en las tres cámaras reportando los datos como organismos por litro (Org/L) de la muestra a sedimentar.

7.4. FASE DE GABINETE

Los datos se trabajaron con respecto a la densidad total de individuos agrupadas en matrices Q, este tipo de matriz ubica las muestras en columnas y las especies en filas permitiendo establecer similitud y disimilitud entre muestras y dando una primera aproximación a la caracterización biológica de los ambientes (Ramírez 1999) por medio de un análisis exploratorio de datos que incluyeron promedios y errores estándar para determinar variaciones durante el tiempo de muestreo con respecto a las zonas de producción piscícola.

Se realizaron análisis de diversidad alfa usando la riqueza específica y la estructura: En el caso de la riqueza esta se analizó de manera cualitativa usando el índice de Chao2, y a nivel cuantitativo usando el índice de riqueza de Margalef (d). Las comparaciones espaciales y temporales se efectuaron usando el análisis de clasificación cualitativo (Índice de Jaccard), basados en la presencia-ausencia de individuos usando el programa MVSP Versión 3.13. Se trabajaron los resultados de las muestras cuantitativas para responder la pregunta sobre diferencias entre condiciones con y sin cultivo y entre intensidades de cultivo usando pruebas no paramétricas como el test de Kruskal-Wallis (Guisande *et al.* 2005).

Para observar si las variables limnológicas tenían influencia sobre la densidad del zooplancton se realizó una correlación de Spearman con el programa SPSS 12.0. Debido a que los datos no mostraron normalidad se transformaron usando logaritmo $x+1$ y en el caso del fitoplancton solo se obtuvieron datos del mes de noviembre suministrados por Vladimir Betancur que está realizando su trabajo de tesis con ese tema, los cuales fueron comparados solo con los datos de abundancia de zooplancton de ese mismo mes. Se correlacionó la densidad total de zooplancton, densidad total de cada grupo que conformó la comunidad como cladóceros, copépodos, rotíferos y dípteros, con variables como profundidad (m),

secchi (m), conductividad (mS/cm), pH, oxígeno disuelto (mgO_2/L), nitrógeno total (mg/L), fósforo total (mg/L), relación nitrógeno-fósforo y clorofila ($\mu\text{g/L}$), y en el caso del fitoplancton se compararon con grupos como Cyanophyta, Ochrophyta, Dinoflagellata, Chlorophyta, Euglenozoa y Charophyta.

Por último, se realizó el índice de fluctuación de Dubois el cual permitió cuantificar el grado de estabilidad a lo largo del tiempo de la densidad de las especies en los dos momentos de muestreo para la parte cuantitativa (Guisande *et al.* 2005).

8. RESULTADOS

8.1. COMPOSICIÓN

Se colectaron un total de 295199 Org/l que están distribuidos en 35 taxa que se encuentran de manera diferencial en las zonas en las que se desarrollo el estudio (Fig. 3). Los grupos más diversos son los Rotatoria con 27 especies (incluyendo cinco morfoespecies no identificadas aun), seguido de los cladóceros con 5 especies, copépodos con 2 especies y una especie de díptero del Género *Chaoborus* (Fig 4). La descripción taxonómica y el grupo funcional trófico de cada especie se describen en el anexo A. Los taxa frecuentes (67 a 100 % de presencia en las muestras cualitativas) fueron en el caso de los rotíferos *Brachionus calyciflorus*, *B. falcatus*, *Conochilus dossuarius*, *Filinia terminalis*, *Hexarthra* sp., *Keratella americana*, *K. tropica*, *Polyarthra vulgaris* y *Trichocerca similis*. Altas frecuencias igualmente reportadas para los copépodos *Arctodiaptomus dorsalis* y *Thermocyclops decipiens*, los cladóceros *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia lacustris* y *Diaphanosoma brachyurum* y el díptero del género *Chaoborus* (Tabla 2).

Para la zona de alta producción (estaciones New York y Comepez) se colectaron 29 taxa distribuidos en su mayor proporción por los rotíferos con 21 especies, seguidos de cladóceros con 4, copépodos con 2 y una especie de larva de díptero del género *Chaoborus*. La zona media de producción (estaciones Gema y Las Islas) presentaron 29 taxa los cuales 23 eran de rotíferos, 3 de cladóceros, 2 de copépodos y una especie de larva de díptero del género *Chaoborus*. La estación Aguas Abiertas (zona control) presentó menos taxa que las anteriores (21 taxa) 15 de ellas del grupo de los rotíferos. La entrada del brazo Magdalena que fue evaluada por la estación Caraguaja, se presentaron 26 taxa siendo los rotíferos el grupo más rico con 19 especies, seguido de los cladóceros con 4, copépodos con 2 y una especie de larva de díptero del género *Chaoborus*. Finalmente, para

evaluar la entrada del brazo Yaguará se observó la estación Pacandé encontrando 23 taxa representados por los rotíferos con 17, cladóceros con 3, copépodos con 2 y una especie de larva de díptero del género *Chaoborus* (Tabla 2).

[illegible]

Figura 3. Distribución de las especies colectadas en desarrollo del estudio para las diferentes zonas de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania entre Septiembre de 2007 a Febrero de 2008.

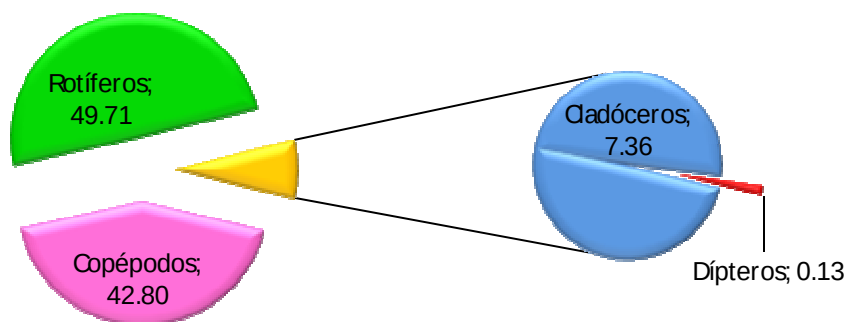


Figura 4. Densidad relativa de los grupos de zooplancton colectados en diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania durante los meses de Noviembre de 2007 y Febrero de 2008.

Tabla 2. Listado de especies colectadas en las zonas de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania en los meses de Septiembre (Sep) y Noviembre (Nov) de 2007 y Febrero (Feb) de 2008. *= presente.

	Alta producción						Mediana producción						Control			Brazo Magdalena			Brazo Yaguará		
	New York			Comepez			Gema			Las Islas			Aguas Abiertas			Caraguaja			Pacandé		
	Sep	Nov	Feb	Sep	Nov	Feb	Sep	Nov	Feb	Sep	Nov	Feb	Sep	Nov	Feb	Sep	Nov	Feb	Sep	Nov	Feb
Copepoda																					
<i>Arctodiaptomus dorsalis</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Copepodito	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nauplio	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Thermocyclops decipiens</i>	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*		*		
Cladocera																					
<i>Bosmina longirostris</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*
<i>Ceriodaphnia lacustris</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	*	*		*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	*			
Epiphio		*																			
<i>Moina minuta</i>																			*		
<i>Moina</i> sp.					*											*					
Rotifera																					
<i>Asplanchna</i> sp.			*	*		*	*	*			*	*	*	*			*	*		*	*
<i>Brachionus amphioeros</i>														*							
<i>Brachionus calyciflorus</i>		*	*	*	*	*		*		*	*	*	*	*		*	*			*	*
<i>Brachionus caudatus</i>		*	*		*	*		*					*			*	*				*
<i>Brachionus falcatus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Brachionus havanaensis</i>			*			*		*		*	*	*	*	*			*			*	*
<i>Brachionus patulus</i>					*					*	*	*				*					
<i>Brachionus patulus</i> var <i>macracanthus</i>		*			*	*										*					
<i>Brachionus</i> sp.								*										*			
<i>Conochilus dossuarius</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Conochilus</i> sp.			*					*	*												
<i>Filinia terminalis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Hexarthra</i> sp.		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Keratella americana</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Keratella tropica</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Lacinularia</i> sp.			*			*		*			*			*				*			
<i>Lecane bulla</i>								*													
<i>Lecane levistyla</i>																			*		
<i>Lecane</i> sp.				*							*							*			
<i>Polyarthra vulgaris</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Trichocerca similis</i>		*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*			*		*	*
<i>Trichocerca</i> sp.			*			*		*			*			*				*			*
Morfo 1			*	*				*												*	
Morfo 2										*											
Morfo 3											*										
Morfo 4				*	*																
Morfo 5																			*		
Insecta																					
<i>Chaoborus</i> sp.		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

8.2. VARIACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES DE LA ABUNDANCIA DEL ZOOPLANKTON

A medida que el nivel del embalse se incrementa entre los meses de noviembre de 2007 a febrero de 2008 la densidad del zooplancton disminuye (Fig. 5). Esta característica de la cota del embalse es atípica con las reportadas históricamente ya que en ese año se presentó un evento niña.

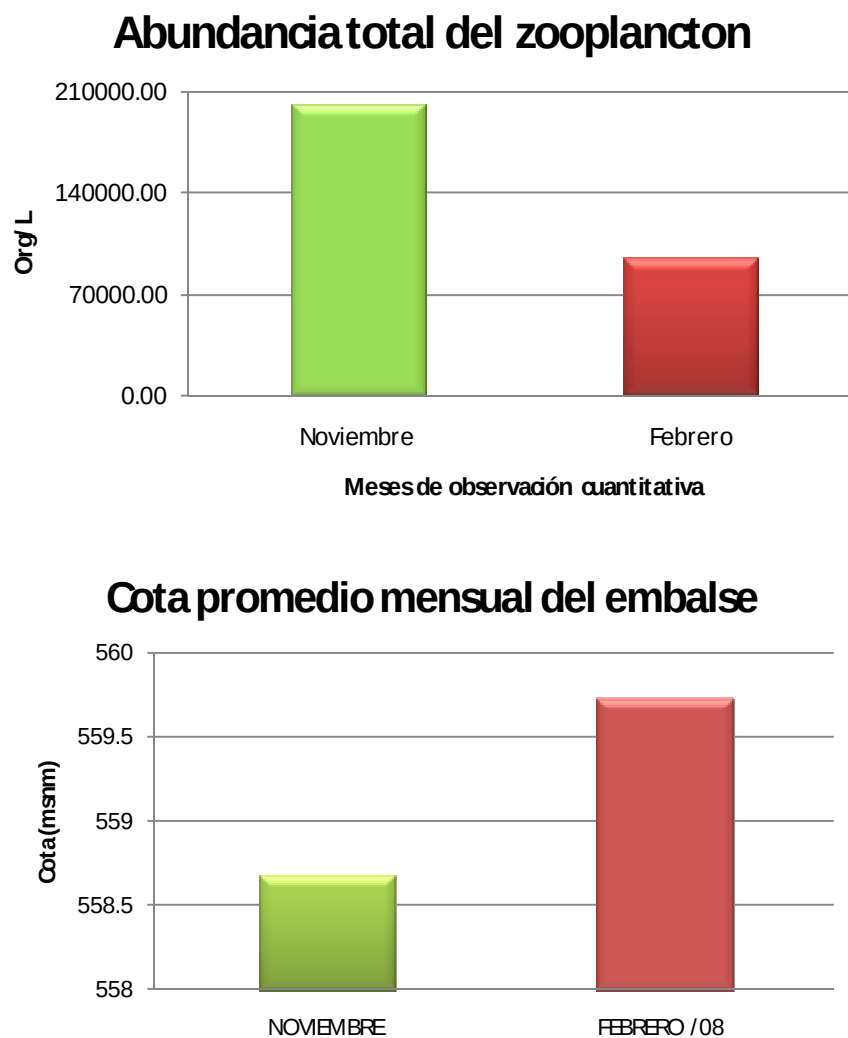


Figura 5. Abundancia total del zooplancton y Cota promedio del Embalse de Betania durante los momentos de muestreo. Datos suministrados por EMGESA 2008.

Las densidades igualmente cambian en sentido espacial en ambos momentos de muestreo, con mayor número de individuos en la zona de alta producción piscícola (139244,44 Org/l) y en menor cantidad en la estación Pacandé (12615,51 Org/l) ubicada en el ingreso del brazo Yaguará hacia el brazo Magdalena (Fig. 6).

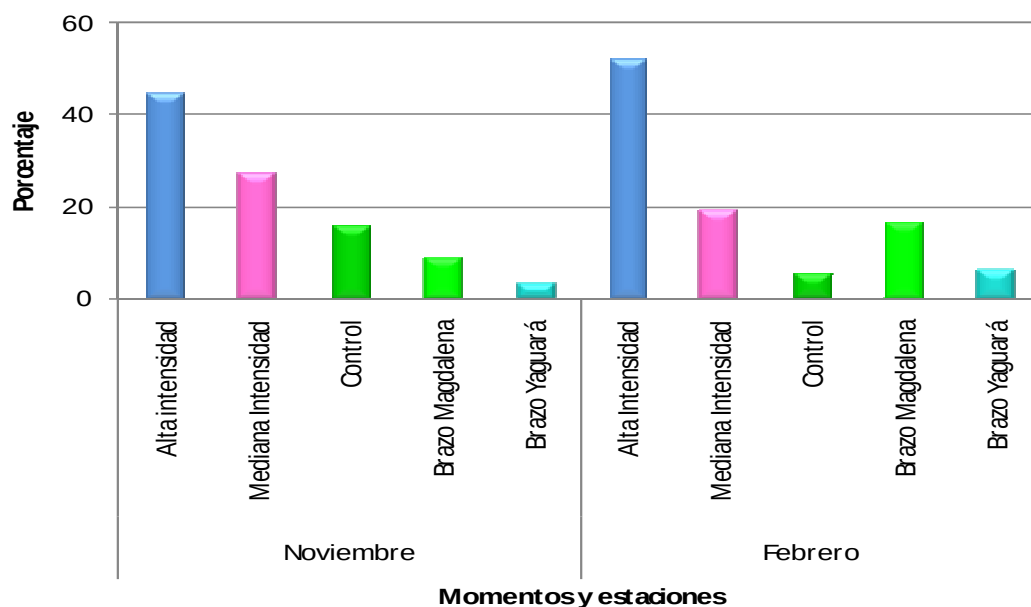


Figura 6. Abundancia relativa del zooplancton colectado en diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania durante los meses de Noviembre de 2007 y Febrero de 2008.

Para el mes de noviembre de 2007 en la zona de alta producción piscícola se colectaron un total de 90055.56 Org/l, en la zona media de producción 54711.11 Org/l, en la zona control 31811.11 Org/l, en la entrada del brazo del río Magdalena 17811.11 Org/l y la entrada del brazo del río Yaguará 6525.86 Org/l. En el mes de febrero de 2008, la zona de alta producción piscícola presentó una densidad de 49188.89 Org/l, la de mediana producción una de 18242.86 Org/l, la zona control de 5119.05 Org/l, la entrada del brazo del río Magdalena 15644.44 Org/l y la entrada del brazo del río Yaguará 6089.66 Org/l.

En cuanto la abundancia relativa la proporción de los grupos es similar en las diferentes zonas de producción, siendo los rotíferos más abundantes y los cladóceros escasos, excepto en la zona de alta producción en la que los Nauplios de copépodos superan en número a los rotíferos (Fig 7).

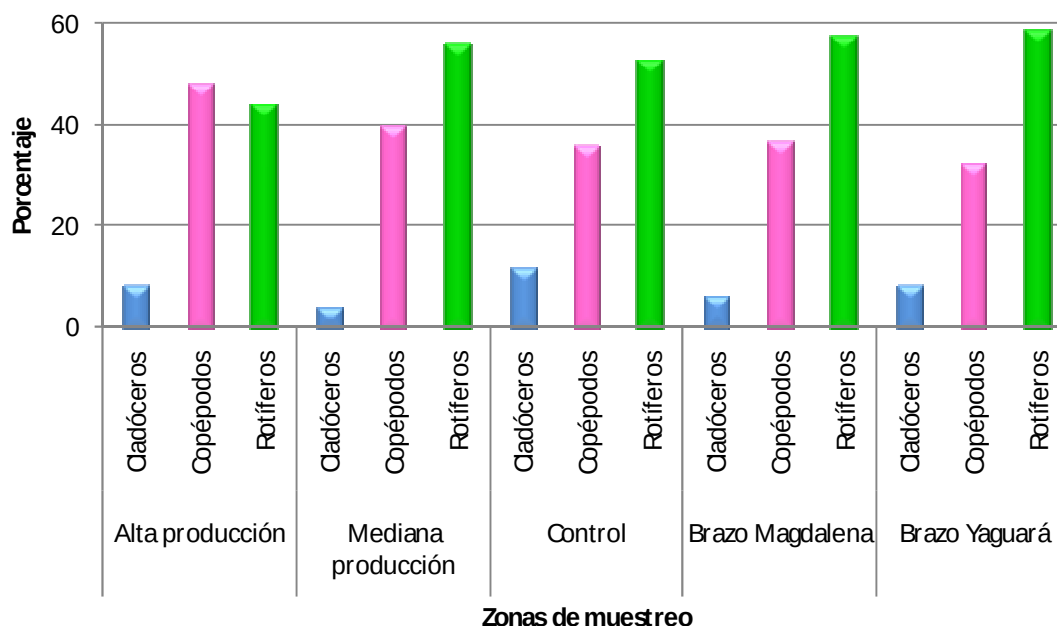


Figura 7. Abundancia relativa de los grupos que componen el zooplancton en diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania. Los dípteros al tener un bajo valor de porcentaje no se alcanzan a evidenciar en la gráfica.

8.3. ESTRUCTURA

Debido a que los datos de abundancia del zooplancton en las muestras colectadas no mostraron una normalidad se usaron modelos no paramétricos como el test de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias significativas entre estaciones evidenciando que no hay tales diferencias ($P= 0.32$). Las no diferencias estadísticas se reflejan igualmente en los índices de diversidad usados para determinar variaciones espaciales en la estructura de la comunidad.

Para el caso de la riqueza cuantitativa expresa con el índice de Margalef, el mayor valor lo obtuvo la zona de alta producción piscícola (2.28) y el menor la zona control (1.90) (Fig 8).

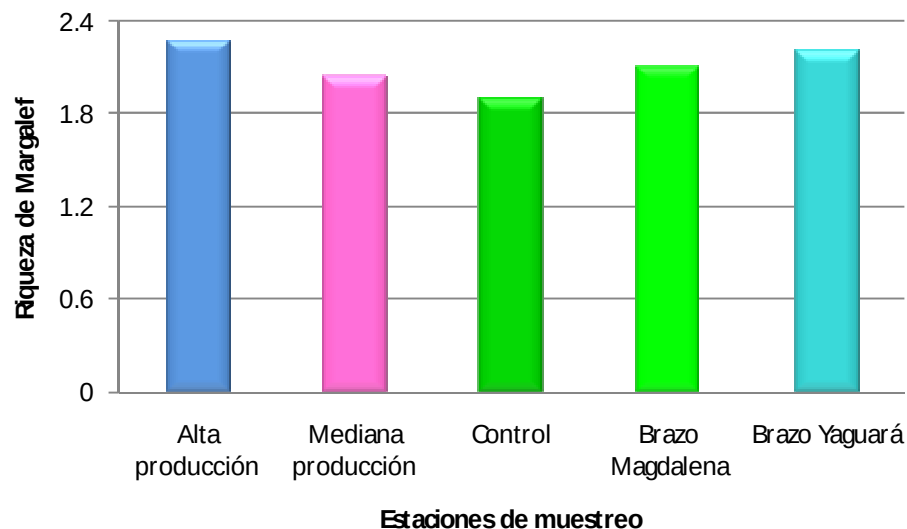


Figura 8. Riqueza cuantitativa de Margalef para las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania durante los meses de Noviembre de 2007 y Febrero de 2008.

La mayor proporción de especies únicas y por ende la mayor riqueza expresada por el índice de riqueza cualitativa de Chao 2 se presenta en la Zona de Ingreso del Brazo Yaguará y Magdalena (48.13) y su menor valor (40) en la estación Aguas Abiertas, sin embargo en general las diferentes zonas de muestreo son similares en estos valores (Fig 9).

El índice de Dubois muestra que la zona de mediana producción piscícola es la más estable manteniendo los datos cercanos al valor medio (0.06) seguida de la zona control (0.10). La mayor inestabilidad o mayor cambio en la abundancia se presenta en la estación Caraguaja que representa la producción piscícola de baja intensidad hacia el ingreso del río Magdalena (0.20) y la zona de alta producción (0.19) (Fig 10).

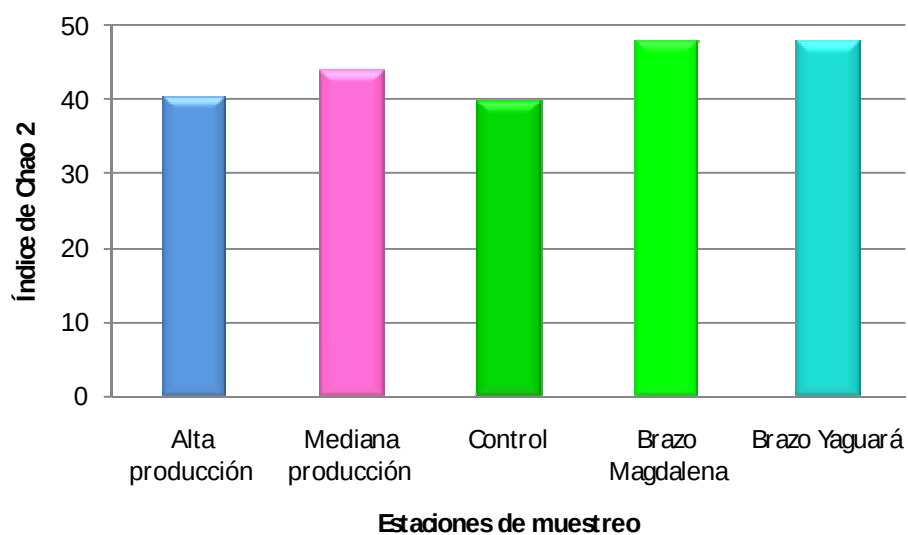


Figura 9. Riqueza cualitativa de Chao 2 para las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania durante los meses de Septiembre y Noviembre de 2007 y Febrero de 2008.

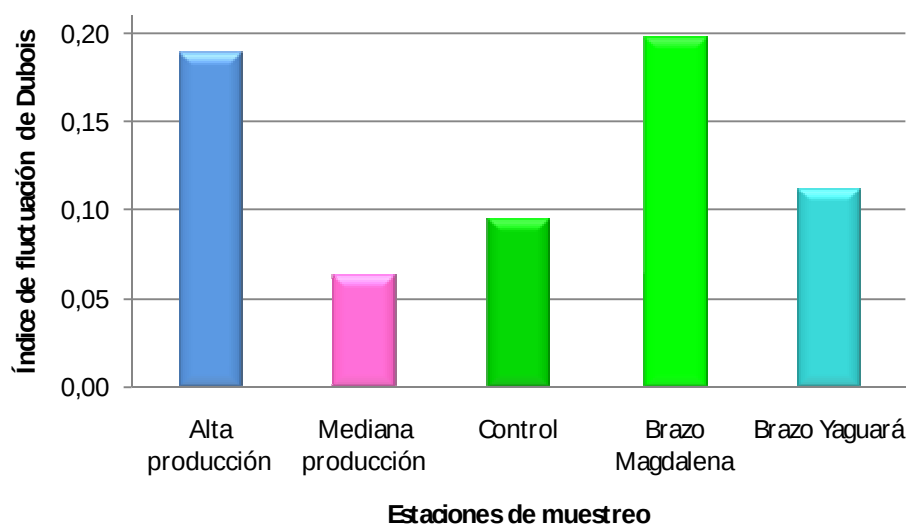


Figura 10. Índice de fluctuación de Dubois para las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania durante los meses de Noviembre de 2007 y Febrero de 2008.

El remplazo de especies medido a través del índice de Jaccard evidenció que la mayoría de estaciones presentan las mismas especies en los tres momentos de muestreo (Fig. 3), razón por la cual la similitud entre estaciones no se relaciona de la misma forma que el nivel de producción siendo las más similares las estaciones Caraguaja y Comepez (90%) seguida de las estaciones New York y Gema (86%), uniéndosele a estas la estación control Aguas Abiertas (78%) la cual, según sus características debería ser la menos similar (Fig 11).

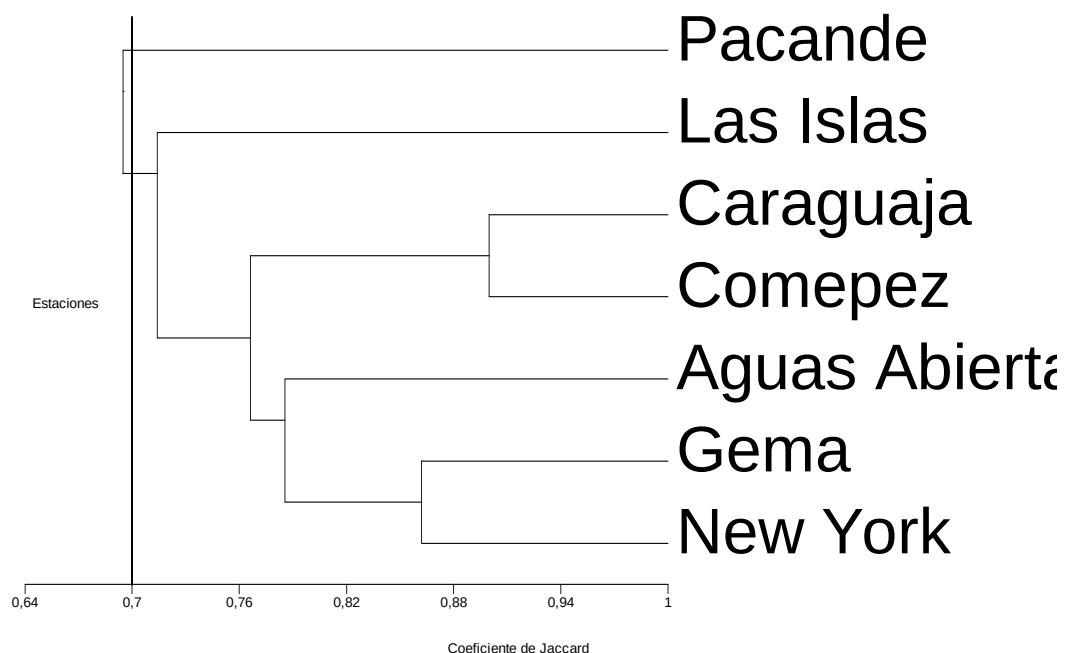


Figura 11. Índice de similitud de Jaccard para las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en cuanto a la presencia-ausencia de especies en el Embalse de Betania durante los meses de Septiembre y Noviembre de 2007 y Febrero de 2008. Valor mínimo de significación: 0.70.

8.4. RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES

El análisis de correlación de Spearman muestra que para el mes de noviembre de 2007 hay una relación significativa entre la densidad total del zooplancton y el grupo de los dinoflagelados ($P=0.036$, $r_s=-0.786$) (Fig 12) y las clorofitas ($P=0.014$,

$r_s=0.857$) (Fig 13), el total de taxa y las clorofitas ($P=0.033$, $r_s=0.793$) (Fig 14), densidad de copépodos con los dinoflagelados ($P=0.014$, $r_s=-0.857$) (Fig 15) y las clorofitas ($P=0.023$, $r_s=0.821$) (Fig 16) y la densidad de rotíferos con los dinoflagelados ($P=0.036$, $r_s=-0.786$) (Fig 17). Para todos los casos (densidad total, de copépodos y de rotíferos) la relación con los dinoflagelados es inversa significativa ya que a medida que estos aumentan en cantidad, la densidad de estos grupos de zooplancton disminuye viéndose descrita por una regresión exponencial inversa. En cuanto a la relación con las clorofitas, esta muestra una tendencia directa significativa ya que al aumentar la densidad de un grupo (densidad total, total taxa, densidad de copépodos) aumenta la de las clorofitas viéndose descrita por una regresión exponencial directa.

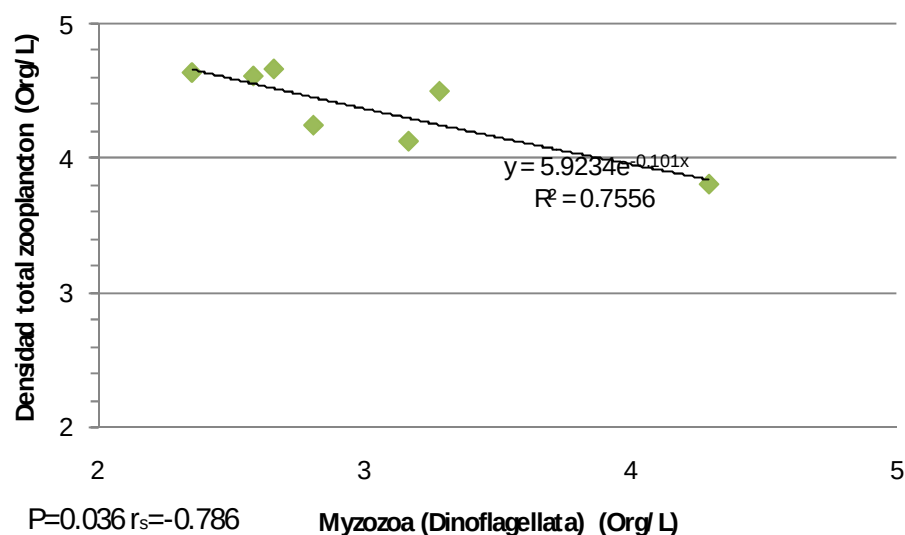


Figura 12. Regresión exponencial entre la densidad total del zooplancton y los dinoflagelados durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania.

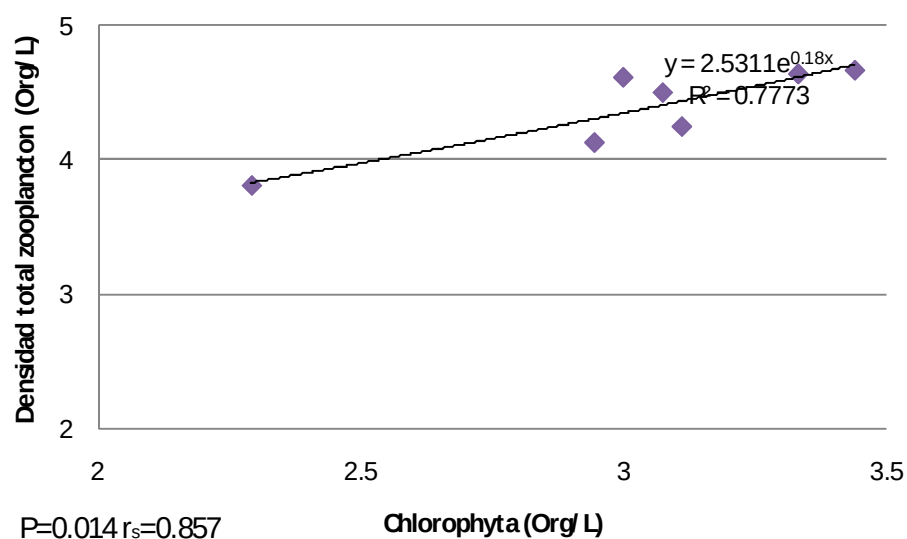


Figura 13. Regresión exponencial entre la densidad total del zooplancton y las clorofitas durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania.

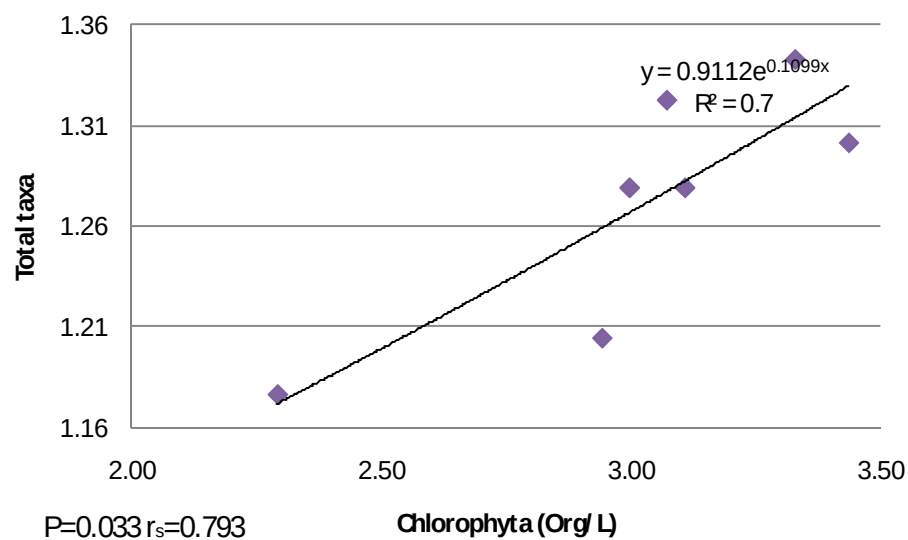


Figura 14. Regresión exponencial entre el total de taxa del zooplancton y las clorofitas durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania.

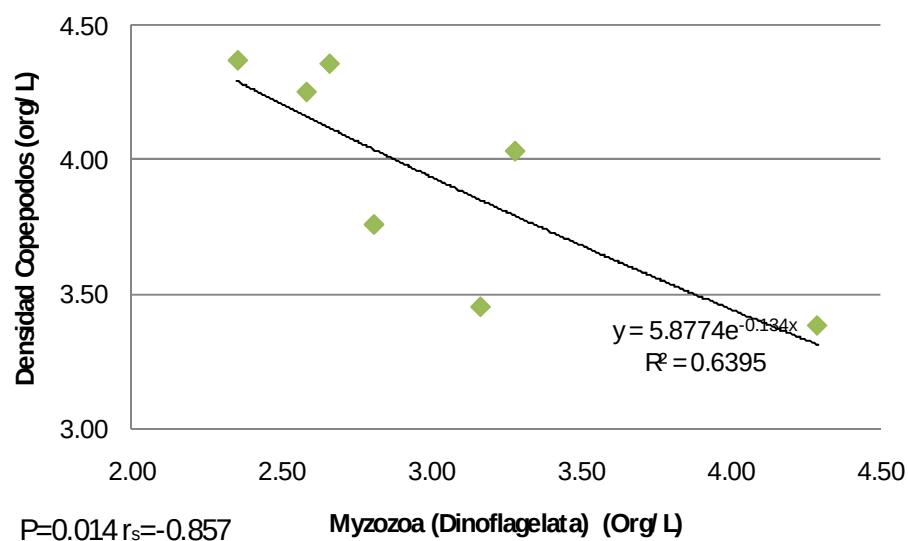


Figura 15. Regresión exponencial entre la densidad total de copépodos y los dinoflagelados durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania.

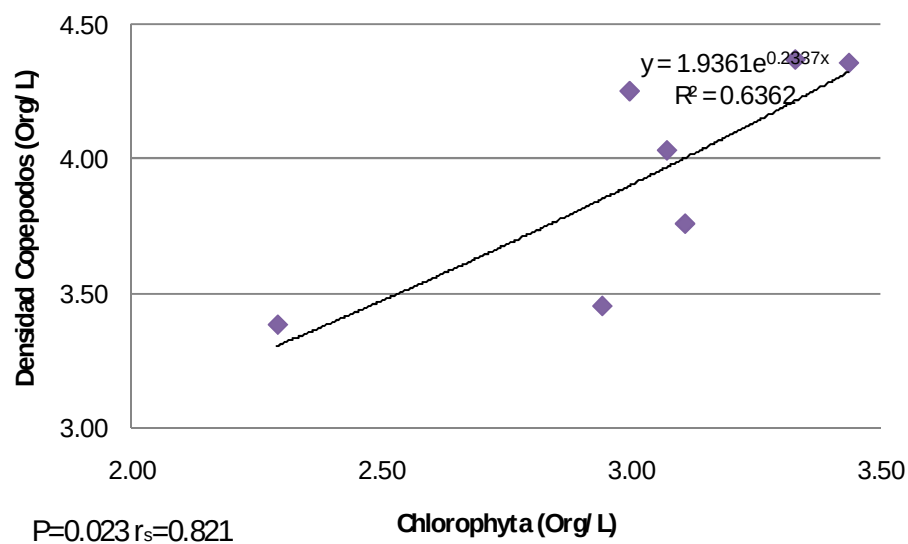


Figura 16. Regresión exponencial entre la densidad total de copépodos y las clorofitas durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania.

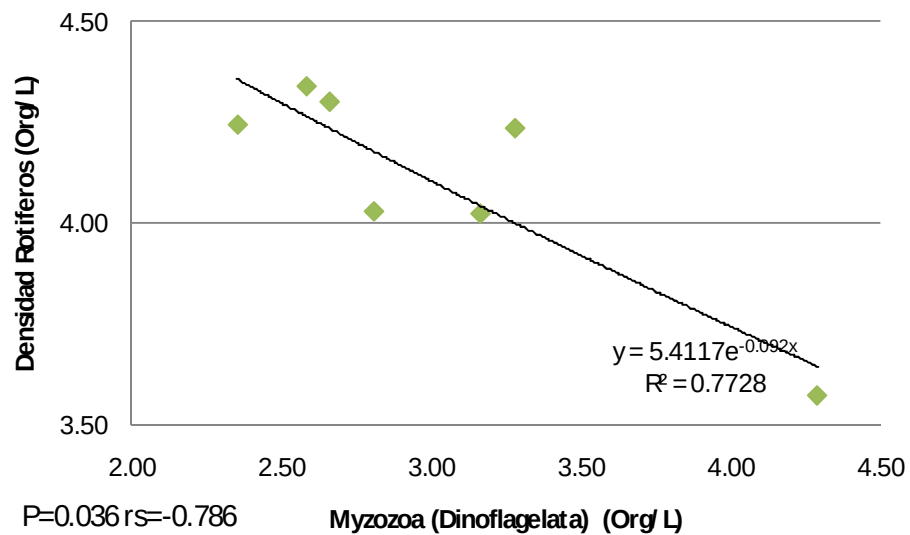


Figura 17. Regresión exponencial entre la densidad total de rotíferos y los dinoflagelados durante el mes de Noviembre de 2008 en las diferentes estaciones de producción piscícola, zona control y entradas de los ríos Magdalena y Yaguará en el Embalse de Betania.

En el caso de las demás variables limnológicas medidas, el análisis de correlación de Spearman muestra que no hay una relación significativa entre estas y la densidad del zooplancton Sin embargo se realizó una regresión lineal para cada factor encontrando que en algunos casos es inversa y en otros directa (ANEXO B).

9. DISCUSIÓN

9.1. COMPOSICIÓN ACTUAL DEL ZOOPLANKTON EN EL EMBALSE DE BETANIA Y COMPARACIÓN CON ESTUDIOS PREVIOS EN ESTE SISTEMA Y EN ECOSISTEMAS SIMILARES.

La composición del zooplancton colectada en el Embalse de Betania es en general típica de cuerpos de agua tropicales, similar a la descrita anteriormente para este embalse y para otros embalses de baja altitud (Tabla 3). Sin embargo, la actividad piscícola, la acelerada eutroficación del embalse (Rueda-Delgado, *et al.* 2007) y la posición geográfica particular hacen que se presenten ciertas diferencias en la composición del zooplancton.

Los efectos del cultivo de Tilapia (*Oreochromis* spp.) y las previas introducciones de otras especies exóticas como la carpa común (*Cyprinus carpio*) (INCODER 2005) parecen ser las responsables de la no colecta de especies que se consideraban típicas del Embalse de Betania como el cladócono *Ceriodaphnia cornuta* colectado en Betania por Herrera y Guillot (1999) y no colectado en el presente estudio ni en los diferentes muestreos desarrollados en estudios recientes (Rueda-Delgado *et al.* 2007). En su lugar se ha colectado *Ceriodaphnia lacustris*, cuya identificación fue confirmada por Lourde Maria Abdu Elmoor Elmoor-Loureiro de la Universidade Católica de Brasília (Brasil) (Tabla 3). *C. lacustris* es una especie de origen neártico que es reportado por primera vez para Colombia y que ha sido usado como evidencia de la introducción de especies exóticas por la actividad piscícola (Aranguren *et al.* 2008). A pesar de no existir publicaciones sobre la ecología de *C. lacustris* en embalse tropicales o de sus efectos sobre el zooplancton nativo, Rejas *et al.* (2005) demostraron que la presencia de peces en un sistema tropical afecta directamente la composición del zooplancton de diferentes maneras ejerciendo tanto efectos top-down como bottom-up entre ellas la introducción de especie. La exclusión competitiva entre

especies del zooplancton es un hecho previamente estudiado para embalses del trópico (Majagi & Vijaykumar 2008)

Tabla 3. Comparación de taxa del zooplancton colectado en el Embalse de Betania con los reportados para este y para otros cuerpos de agua tropicales de baja latitud. (1) Colectados en el actual estudio (2) Herrera y Guillot (1999), (3) Alvarez (2003), (4) Guevara *et al.* (2008), (5) Sendacz, *et al.* (2006).

	Embalse Betania (1)	Embalse Betania (2)	Embalse Amaní (3)	Embalse Prado (4)	Embalse Ponte Nova (5)	Embalse Guarapiranga (5)
Copepoda						
<i>Arctodiaptomus dorsalis</i>	*					
<i>Boeckella gracilis</i>			*			
<i>Eucyclops</i> sp.				*		
<i>Mesocyclops aspericornis</i>			*			
<i>Microcyclops dubitabilis</i>			*			
<i>Notodiaptomus cf deitersi</i>						*
<i>Notodiaptomus iheringi</i>						*
<i>Notodiaptomus henseni</i>						*
<i>Paracyclops</i> sp.				*		
<i>Thermocyclops decipiens</i>	*	*	*	*		*
<i>Thermocyclops inversus</i>						*
<i>Tropocyclops prasinus</i>						*
<i>Odontodiaptomus paulistanus</i>					*	
Cladocera						
<i>Alonella</i> sp.		*	*			
<i>Bosmina hagmanni</i>					*	
<i>Bosmina longirostris</i>	*		*	*	*	*
<i>Bosmina tubicen</i>					*	
<i>Bosminopsis deitersi</i>					*	*
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>		*		*	*	*
<i>Ceriodaphnia lacustris</i>	*					
<i>Ceriodaphnia silvestrii</i>					*	*
<i>Chydorus</i> sp.			*			
<i>Daphnia ambigua</i>					*	*
<i>Daphnia gessneri</i>					*	*
<i>Daphnia laevis</i>			*			
<i>Daphnia obtusa</i>			*			
<i>Daphnia</i> sp.				*		
<i>Diaphanosoma birgei</i>					*	*
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	*			*		
<i>Diaphanosoma</i> sp.				*		
<i>Ilyocryptus halyi</i>			*			
<i>Moina micrura</i>			*		*	
<i>Moina minuta</i>	*				*	*
<i>Moina</i> sp.	*	*		*		
<i>Moinodaphnia macleayi</i>			*			

Tabla 3. Continuación.

	Embalse Betania (1)	Embalse Betania (2)	Embalse Amaní (3)	Embalse Prado (4)	Embalse Ponte Nova (5)	Embalse Guarapiranga (5)
Rotifera						
<i>Anureopsis navicula</i>		*				
<i>Anureopsis fissa</i>		*				
<i>Anureopsis</i> sp.			*	*		
<i>Ascomorpha saltans</i>					*	
<i>Ascomorpha</i> sp.				*		
<i>Asplanchna sieboli</i>			*			
<i>Asplanchna</i> sp.	*					*
<i>Asplanchnella</i> sp.				*		
<i>Bdelloidea</i> sp.			*		*	
<i>Brachionus amphicerus</i>	*					
<i>Brachionus angularis</i>		*		*		
<i>Brachionus calyciflorus</i>	*	*		*		*
<i>Brachionus calyciflorus cf anuraeiformis</i>	*					
<i>Brachionus caudatus</i>	*					
<i>Brachionus falcatus</i>	*	*		*		
<i>Brachionus havanaensis</i>	*	*		*		*
<i>Brachionus mirus typicus</i>					*	
<i>Brachionus patulus</i>	*					
<i>Brachionus patulus</i> var <i>macracanthus</i>	*					
<i>Brachionus quadridentatus</i>		*				
<i>Brachionus</i> sp.	*		*			
<i>Cephalodella</i> sp.			*	*		
<i>Collotheca mutabilis</i>					*	
<i>Collotheca ornata</i>					*	*
<i>Collurella</i> sp.			*			
<i>Conochilus dossuarius</i>	*				*	*
<i>Conochilus unicornis</i>					*	*
<i>Conochilus</i> sp.	*					
<i>Dicranophorus</i> sp.			*			
<i>Epiphanes</i> sp.		*				
<i>Euchlanis</i> sp.			*			
<i>Filinia longiseta</i>					*	
<i>Filinia terminalis</i>	*					
<i>Filinia opoliensis</i>						*
<i>Filinia</i> sp.			*			
<i>Hexarthra intermedia</i>					*	*
<i>Hexarthra</i> sp.	*	*				
<i>Horaella thomassoni</i>					*	
<i>Kellicottia bostoniensis</i>					*	*
<i>Keratella americana</i>	*	*		*	*	
<i>Keratella lenzi</i>					*	*
<i>Keratella tropica</i>	*	*		*		
<i>Keratella</i> sp.			*	*		
<i>Lacinularia</i> sp.	*					
<i>Lecane bulla</i>	*					

Tabla 3. Continuación

	Embalse Betania (1)	Embalse Betania (2)	Embalse Amaní (3)	Embalse Prado (4)	Embalse Ponte Nova (5)	Embalse Guarapiranga (5)
<i>Lecane levistyla</i>	*					
<i>Lecane</i> sp.	*		*	*		
<i>Lepadella</i> sp.		*	*			
<i>Monostyla</i> sp.			*			
<i>Platyas quadricornis</i>		*				
<i>Platyas</i> sp.			*			
<i>Polyarthra vulgaris</i>	*				*	*
<i>Polyarthra</i> sp.		*	*			
<i>Ptygura libera</i>					*	
<i>Synchaeta oblonga</i>						*
<i>Testudinella patina</i>		*				
<i>Trichocerca capucina</i>						*
<i>Trichocerca similis</i>	*	*				
<i>Trichocerca pusilla</i>		*			*	*
<i>Trichocerca</i> sp.	*		*		*	
Insecta						
<i>Chaoborus</i> sp.	*	*	*	*		

Los efectos de la actividad piscícola en el embalse de Betania sobre la composición del zooplancton parecen no solo restringirse a la introducción de especies exóticas sino que puede ser el agente generador del remplazo de especies a diferentes escalas. Este efecto puede darse de manera directa por efectos de consumo selectivo de tamaños del zooplancton (que explicaría la escases de cladóceros y predominio de rotíferos y nauplios), como indirecto asociado a la eutroficación asociada al desarrollo de cultivos intensivos de Tilapia que aportan grandes cantidades de nutrientes, en especial fósforo, a los sistemas en los que esta actividad se desarrolla de manera incontrolada (Beverige 1986), hecho evidente en Betania en el aumento de fósforo diez veces mayor al promedio neotropical de 0,02 mg/l (Rueda-Delgado, *et al.* 2007).

Respecto a efectos por eutroficación, Sendacz *et al.* (2006) estableció que el mayor agente generador de cambio en la estructura de la comunidad del zooplancton es el cambio en el estado trófico. Aumentos en el nivel de clorofila a

reportados para el embalse de Guarapiranga en Brasil, que lo tipifican como un sistema eutrófico, fue el responsable en el cambio de la comunidad de zooplancton. Además estos autores encontraron que la dominancia del zooplancton está dada por los rotíferos tanto en ambientes oligotróficos como eutróficos lo cual corresponde con los resultados de este estudio. Así, la diferencia actual en el nivel trófico del embalse (que fluctúa entre eutrófico a hipereutrófico según Rueda-Delgado, *et al.* 2007), respecto a la condición mesotrófica reportada para Betania entre su creación en el estudio de Herrera y Guillot (1999) explicaría la frecuente colectada de *B. falcatus*, *K. americana*, *K. tropica*, *T. decipiens*, *B. longirostris* y *D. brachyurum*, especies asociadas con ambientes hiperheutróficos como es el caso del Embalse de Betania (Guevara *et al.* 2008).

En cuanto a los copépodos, la densidad está dada principalmente por la aparición de formas juveniles como los nauplios, patrón observado en diferentes cuerpos de agua (Reverol *et al.* 2008), por la continua reproducción de estos organismos en regiones tropicales y que está determinado también por la intensidad de depredación hacia las formas adultas por invertebrados y vertebrados superiores (Neves *et al.* 2003). Esto es de gran importancia para la estructura de la comunidad ya que las formas juveniles pueden ocupar nichos tróficos diferentes de los que ocupan cuando son adultos siendo un estimativo de la dinámica de la población en aspectos tróficos. (Neves *et al.* 2003). Un predominio de formas juveniles sobre adultas es característico de ambientes inestables, con cambios limnológicos marcados en el caso de los ambientes acuáticos (Thornton *et al.* 1990). Estas variaciones están asociadas a las fuertes fluctuaciones en nutrientes, que fueron constantes en el desarrollo de este estudio en especial los cambios en la proporción nitrógeno fosforo, incremento explosivo de cianofitas y desoxigenaciones puntuales (Rueda-Delgado *et al.* 2007).

Los rotíferos son el grupo más abundante y su dominancia numérica en la mayoría de cuerpos de agua se atribuye a que estos organismos presentan estrategias r

siendo oportunistas, con tallas pequeñas, ciclos de vida cortos y amplia tolerancia a cambios en factores ambientales (Thorp y Covich 2001). *Brachionus* fue el género frecuente durante todo el estudio, genero que es reportado como frecuente por varios autores (Herrera y Guillot 1999, Reverol *et al.* 2008, Sendacz *et al.* 2006) en cuerpos de agua similares de baja altitud.

La aparición de los cladóceros no es representativa en comparación a las densidades reportadas para los copépodos y rotíferos por razones que se discutirán en el siguiente capítulo, pero las especies colectadas durante el estudio son típicas del neotrópico (Guevara *et al.* 2008).

Para los dípteros, se cuenta con la presencia de la larva del género *Chaoborus* los cuales se encuentran en ambientes lacustres, reportándose desde pequeñas lagunas temporales hasta lagos permanentes (Herrera y Guillot 1999), razón por la cual posiblemente se encuentre en este sistema desde el reporte realizado en 1999 y en el actual estudio (Tabla 3).

Las limitaciones biogeográficas hacen que muchas de las especies reportadas para otros sistemas neotropicales no se colectaran en este estudio (Tabla 3). Las especies reportadas en los Embalses de Ponte Nova y Guarapiranga en Sao Paulo Brasil son típicamente subtropicales y por ende la ubicación netamente tropical de Betania podría limitarlos. Lo mismo ocurre en el caso del Embalse de Amaní en Norcasia Caldas y el Embalse de Prado que, aunque se encuentran en Colombia, presentan una menor altitud (450 y 370 msnm respectivamente) razón por la cual pueden encontrarse estas diferencias. Sin embargo en Betania hay excepciones a esta regla.

Thermocyclops decipiens especie encontrada en este sistema, en el Embalse de Amaní y Prado en Colombia y Guarapiranga en Brasil es una especie característica de ecosistemas neotropicales que no parece habitar cuerpos de

agua tropicales de altitud (Herrera y Guillot 1999) ya que estudios realizados por Gaviria en 1990 para ecosistemas colombianos (3000 y 3700msnm) no reporta la aparición del género *Thermocyclops*, reportándose esta especie en los llanos orientales de Colombia y Venezuela (Gaviria y Aranguren 2007).

En el caso de *Arctodiaptomus dorsalis*, especie que se reporta por primera vez en el Embalse de Betania y que no se encuentra reportada en los Embalses reportados en la tabla 2, se dice que es una especie que se encuentra en el neotrópico, entre los 0-2000 msnm y que habita en ciénagas, charcas, embalses y zonas pelágicas (Gaviria y Aranguren 2007) razón por la cual es de esperar que se presente en este Embalse.

9.2. COMPARACIÓN DEL ZOOPLANKTON EN DOS INTENSIDADES DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA

Las variaciones en la densidad del zooplancton medidas en este estudio a través del índice de estabilidad de Dubois muestran que el embalse es un ambiente inestable (Rodríguez-Palma 2007). Esta inestabilidad en las condiciones ecológicas podrían ser explicadas por la actividad trófica de los peces en los cultivos, evidenciado en la alta inestabilidad medida en las estaciones con alta producción y por el efecto diferencial en los diferentes momentos de muestreo del río Magdalena, viéndose reflejado en la inestabilidad de los datos de la estación Caraguaja ubicada en la cola del brazo Magdalena.

Así, a pesar que se esperararía que la actividad piscícola tuviera un efecto negativo sobre la densidad del zooplancton, en una regulación Top-down (Rejas *et al.* 2005), en el Embalse de Betania la densidad del zooplancton tiene relación directa con la intensidad de producción piscícola, siendo mayor en zonas donde se presenta actividad piscícola intensiva que en zonas donde la producción piscícola

es menor o nula como el caso de la estación Aguas Abiertas. Este comportamiento podrá explicarse por el aporte constante de nutrientes vía concentrado proporcionado a los peces el cual enriquece la columna de agua favoreciendo desde el fitoplancton que es uno de los primeros eslabones en la cadena trófica hasta el zooplancton viéndose incrementada su abundancia generando de esta forma un efecto *Bottom-up* (Rejas *et al.* 2005).

Sin embargo la alta inestabilidad medida en este estudio en la densidad del zooplancton de las zonas de alta producción pueden reflejar el clásico efecto Top-down característico de la cascada trófica del zooplancton (Rejas *et al.* 2005), en el cual la exclusión de cladóceros por la acción de los peces incide en incremento de miembros del zooplancton de menor talla. En las estaciones de alta densidad de siembra los cladóceros son grupos escasos o poco abundantes ya que estos son preferentemente consumidos por los peces. Según Thorp y Covich (2001) la preferencia de los peces por los cladóceros obedece a que éstos se alimentan de bacterias mayores a $1\mu\text{m}$ de largo, algas, ciliados, pequeños rotíferos, siendo su principal alimento pequeñas algas de 1 a $25\mu\text{m}$. Esta selectiva dieta de los cladóceros los hacen una presa preferida por predadores superiores como los peces pues garantiza un aporte seguro de alimento de buena calidad (Thorp y Covich 2001). Así al disminuir la densidad de cladóceros en las zonas de alta densidad de peces se ven favorecidos los grupos que serían predados por ellos como los nauplios y los rotíferos.

La inestabilidad del zooplancton resultante del mayor o menor efecto de las aguas turbias del río Magdalena a lo largo del muestreo está evidenciado en el predominio de rotíferos en la estación Caraguaja y en particular en incrementos considerablemente del rotífero *P. vulgaris*. Los rotíferos y en particular especies como *P. vulgaris* son los grupos dominantes en los ecosistemas inestables al ser organismos de estrategia W o ruderal capaces de soportar condiciones de disturbio provocadas por el ingreso de aguas turbias de los ríos mediante intensos

momentos de reproducción tal como ha sido previamente estudiado (José de Paggi 1990).

En el caso de la estructura esta no muestra cambios marcados siendo una comunidad homogénea tanto espacial como temporalmente confirmando lo observado con el índice de riqueza cuantitativa de Margalef el cual muestra valores similares en las estaciones evaluadas con un valor mínimo para la zona control muy posiblemente a que en esta no se realiza actividad piscícola. De la misma forma se ve reflejado en el índice cualitativo de Chao 2 el cual tampoco muestra diferencias significativas en las diferentes estaciones confirmándose finalmente con el índice de Jaccard el cual refleja la similaridad de especies en las estaciones evaluadas ya que estas se agrupan independientemente la intensidad de producción piscícola que manejen. Los peces se alimentan preferiblemente de especies de tamaños grandes como los copépodos o cladóceros siendo estos últimos los más predados, sin embargo esto parece no alterar la estructura de la comunidad en general ya que de las cinco especies de cladóceros colectadas en este estudio solo tres (*B. longirostris*, *C. lacustris* y *D. brachyurum*) fueron encontradas en las muestras cuantitativas hecho que hace que no se evidencie una preferencia sobre alguna especie en especial viéndose estas presentes durante el estudio. De la misma forma ocurre con los copépodos ya que de estos se colectaron sólo dos especies

9.3. RELACIONES ENTRE LA COMPOSICIÓN DEL ZOOPLANKTON Y LAS VARIABLES AMBIENTALES

La densidad del zooplancton se relaciona de manera indirecta por la presencia de dinoflagelados los cuales al aumentar su densidad se disminuye la del zooplancton especialmente en el caso de los copépodos y rotíferos, esta relación inversa es a causa de que este grupo de algas cianofíceas es perjudicial para estas poblaciones, bien sea por un atascamiento en sus vías de alimentación lo

que produce una disminución en la tasa de captura de alimento y en la energía disponible para crecimiento y reproducción o por un efecto tóxico (Infante y Riehl 1984). La presencia de este grupo de algas es consecuencia de la eutroficación de los embalses producida por la acción antrópica (Prosperi 2007).

Con las clorofitas, la relación es directa ya que, a pesar del ramoneo ejercido hacia estas por el zooplancton, en este tipo de ambientes eutróficos y de producción piscícola que como se mencionó anteriormente genera un efecto positivo en estos productores primarios debido al aporte de nutrientes al medio, la densidad del fitoplancton (producción primaria) excede la densidad del zooplancton (Cole 1988) reflejándose así el aumento de ambos grupos sin que la retención o filtración sea significativo hacia las clorófitas.

Sin embargo, la presencia de larvas de *Chaoborus* las cuales se consideran depredadoras activas que se alimentan principalmente de copépodos y cladóceros, aunque dependiendo de su estadio también de rotíferos, animales bénticos y algas, pudieron influenciar la disminución de estos grupos de animales durante los diferentes momentos de muestreo (Margalef 1983).

En cuanto a los factores fisicoquímicos, no se encontró una relación significativa con la densidad del zooplancton así se vea un efecto *bottom-up* en el sistema. Esto se debe a que los datos fisicoquímicos son puntuales y dispersos en las estaciones en tanto que la información de la comunidad del zooplancton recoge una historia de vida de días, semanas o hasta meses (Cole, 1988).

10. CONCLUSIONES

Las muestras obtenidas en donde se realiza producción piscícola no se diferencian de la zona donde no se realiza la producción debido a que la estructura de la comunidad fue homogénea en todas las estaciones de muestreo con un 70% de similaridad en todos los momentos.

La densidad de la comunidad zooplanctónica está influenciada por la producción piscícola siendo más alta a medida que el nivel de producción aumenta.

Los cambios en el nivel del Embalse influyen la cantidad de organismos presentes disminuyendo a medida que el nivel del Embalse aumenta independientemente del nivel de producción piscícola, en cuanto a su estructura esta se mantuvo constante y no se evidenció diferencias significativas en el tiempo. Sin embargo es posible que ocurran cambios a escalas temporales menores a las consideradas en este estudio.

La actividad piscícola desarrollada en el embalse ejerce dos efectos sobre la comunidad del zooplancton, uno directo por la introducción de especies foráneas y por la predación generando un efecto *top-down* y uno indirecto por los nutrientes aportados a la columna de agua incrementando las poblaciones de fitoplancton, generando aumento del zooplancton o reducción por toxicidad cuando hay presencia de dinoflagelados creando un efecto *Bottom-up*.

11. RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer el estudio de la comunidad de zooplancton en todas las estaciones en donde se desarrolle la actividad piscícola para poder hacer una comparación más completa de dicha comunidad.

Se sugiere realizar los muestreos durante todos los meses del año para tener más datos y poder hacer análisis multivariados ya que se pueden usar más análisis de la comunidad y de esta forma se generaría una información más completa.

Para complementar el estudio de composición de la comunidad del zooplancton y hacer comparaciones con la biomasa se recomienda hacer un análisis de esta en las mismas zonas donde se realizó este trabajo.

Para futuros estudios que requieran hacer detalles en la estructura de la comunidad de rotíferos se recomienda hacer uso de redes de menor micraje.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, O y PINILLA, L. 1977. Distribución estacional, constitución y abundancia de zooplancton en la Laguna de Tota (Boyacá) durante el período comprendido desde septiembre de 1974 hasta agosto de 1975. Trabajo de tesis para optar al título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 43p.

ÁLVAREZ, J. 2003. Estudio de la composición y abundancia del zooplancton durante la fase de llenado del Embalse Amaní, Norcasia (Caldas). Trabajo de tesis para optar el título de Biólogo. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia.

ARIAS, P. 1975. Contribución al conocimiento limnológico de la Ciénaga de Guarinocito y su relación con el Río Magdalena. Trabajo de tesis para optar al título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 50p.

ARANGUREN, N. 2002. Métodos para el estudio del zooplancton epicontinental. En: manual de métodos de limnología Rueda-Delgado, 2002. ACL- Limnos Ed. 29-35pp.

ARANGUREN, N., LARGO-URREA, C y RUEDA-DELGADO, G. 2008. Primer registro del cladóceros *Ceriodaphnia lacustris* Birge para Colombia, caso de especie invasora en el Embalse de Betania. En: Libro de resúmenes VIII seminario colombiano de limnología y I reunión internacional de Cuencas Bajas y Zonas Estuarinas. 39pp.

BEVERIDGE, M. 1986. Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO Doc. Téc. Pesca, (255): 100p.

BROOKS J. L. 1959. Cladocera. In: Edmondson W. T. (Ed.). *Freshwater Biology*. Second edition. John Wiley and Sons. USA. pp. 587-655.

CAMARGO, L. 1989. Estudio semi-cuantitativo y cualitativo del zooplancton superficial del embalse de El Guajaro (Atlántico) Colombia. Trabajo de tesis para optar al título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 245p.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS), 2001. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales.

COLE, G. 1988. Manual de limnología. Tomo I. Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 172p.

DUSSART, B. 1984. Some Crustacea Copepoda from Venezuela. *Hydrobiologia* 113:25-67

DUSSART, B. 1987. Sur quelques *Mesocyclops* (Crustacea, Copepoda) d'Amérique du Sud *Amazoniana* 10:149-16pp.

DUSSART, B y DEFAYE, D 1985. Répertoire Mondial des Crustacés Cyclopoides, Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 236 p.

DUSSART, B y DEFAYE, D. 1990. Répertoire Mondial des Crustacés Copépodes des Eaux Intérieures, III. Harpacticoïdes *Crustaceana*, Supplement 16:1-383pp.

DUSSART, B y DEFAYE, D. 1995. Introduction to the Copepoda, H.J. Dumont (coord.ed) *Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World* 16, Backhuys Publishers Bv, Leiden, 277 p.

DUSSART, B y DEFAYE, D. 2001. Introduction to the Copepoda, 2nd edition, H.J. Dumont (coord.ed) *Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World* 7, SPB Academic Publishing bv, The Hague, 344 p.

DUSSART, B y DEFAYE, D. 2002. World Directory of Crustacea Copepoda. I. Calaniformes, Backhuys Publishers Bv, Leiden, 276 p.

ELMOOR-LOUREIRO, L. 1997. Manual de identificacao de cladóceros límnicos do Brasil. Universidad Católica de Brasilia. Editorial Universia. 156 p.

ESCOBAR, M., MERINO, M., SALAZAR, G., USECHE, C y GÓMEZ, D. 2005. Plan de ordenamiento de la pesca y la acuicultura en el Embalse de Betania. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. INCODER. Bogotá. 79p.

GAVIRIA, S y ARANGUREN, N. 2003. Guía de laboratorio para identificación de Cladóceros (Anomopoda y Ctenopoda) y Copépodos (Calanoida y Cyclopoida). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Biología. Tunja.

GAVIRIA, S y ARANGUREN, N. 2007. Especies de vida libre de la subclase Copepoda (Arthropoda, Crustacea) en aguas continentales de Colombia. Biota Colombiana 8 (1). 53-68pp.

GIRALDO, M y HERRERA, O. 1982. Contribución al conocimiento del zooplancton de la Ciénaga de la Virgen o de Tesca. Trabajo de tesis para optar al título de

Biólogo Marino. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 92p.

GUEVARA, G., LOZANO, P., REINOSO, G y VILLA, F. 2008. Horizontal and seasonal patterns of tropical zooplankton from the eutrophic Prado Reservoir (Colombia). *Limnología* doi:10.1016/j.limno.2008.03.001. 13p.

GUILLOT, G y HERRERA, M. 1999. Composición taxonómica Del zooplancton Del Embalse de Betania, Departamento Del Huila, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 4 No. 1. 19pp.

GUISANDE, C., BARREIRO, A., MANEIRO, I, RIVEIRO, I y VERGARA, R. 2005. Tratamiento de datos. Universidad de Vigo Ed. 277p.

HAKSPIEL, C. 2005. Variación espacial y temporal de la abundancia del nanoplancton heterótrofo y su relación con la abundancia y el volumen celular del bacterioplancton en el Embalse del Neusa. Trabajo de tesis para optar al título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 99p.

INCODER. 2005. Plan de ordenamiento de la pesca y la acuicultura en el Embalse de Betania. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Subgerencia de pesca y acuicultura.

INFANTE, A y RIEHL, W. 1984. The effect of Cyanophyta upon zooplankton in a eutrophic tropical lake (Lake Valencia, Venezuela). *Hydrobiología* 113, 293-298.

JOSÉ DE PAGGI. 1990. Ecological and biogeographical remarks on the rotifer fauna of Argentina. *Rev. Hydrobiol. trop.* 23 (4): 297-311.

JOSÉ DE PAGGI. 2004. Diversidad de Rotíferos Monogonta del Litoral Fluvial Argentino. Tucumán INSUGEO, Miscelánea, 12: 185 – 194.

KOROVCHINSKY, N. 1992. Sididae y Holopediidae (Crustacea: Daphniiformes). Guides to the identification of the macroinvertebrates of the continental waters of the world. SPB Academic Publishing. The Netherlands. 82 pp.

KOSTE, W. 1978. Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Ein Bestimmungswerk, begründet von Max Voigt. Überordnung Monogonta. Gebrüder Borntraeger. Berlín Stuttgart.

LIEDER U. 1996. Crustacea Cladocera / Bosminidae. Süßwasserfauna von Mitteleuropa. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 81 pp.

MAJAGI, S y VIJAYKUMAR, K. 2008. Ecology and abundance of zooplankton in Karanja reservoir. Environ Monit Asses. 8p.

MARGALEF. 1983. Limnología. Editorial Omega, Barcelona. 1010p.

MIYASHIRO, A y COSTA, C. 2004. The art status of rotifer studies un natural environments of South America: floodplains. Universidade Estadual de Maringá. Acta Scientiarum. Biological Sciences. Brasil 26 (4):385-406pp.

NEVES, I., ROCHA, O., ROCHE, K y PINTO, A. 2003. Zooplankton community structure of two marginal lakes of the river Cuiabá (Mato Grosso, Brazil) with analysis of rotífera and cladóceras diversity. Braz. J. Biol., São Carlos, v 63. 15p.

OLSEN, E y CONDE, S. 1995. Análisis de la estructura del zooplancton superficial del sistema de caños y lagunas urbanos de Cartagena de Indias, Colombia y su relación con la calidad del agua. Trabajo de tesis para optar al título de Biólogo

Marino. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 325p.

ORTAZ, M., GONZÁLEZ, E y PEÑAHERRERA, C. 2006. Depredación de peces sobre el zooplankton en tres embalses neotropicales con distintos estados tróficos. 18p.

PROSPERI, C. 2007. Informe final consolidado Programa Conapris: Establecimiento de un sistema de alerta temprana en poblaciones afectadas por aguas eutrofizadas con florecimientos estacionales de cianofíceas y posibilidades de abatimiento de los mismos en bocas de entrada a plantas de potabilización de aguas. Universidad Nacional de Córdoba. Fac. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Laboratorio de Hidrobiología. 45p.

RAMÍREZ, A. 1999. Ecología aplicada, diseño y análisis estadístico. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 325p.

REJAS, D., DECLERCK, S., AUWERKERKEN, J., TAK, P y DE MEESTER, L. 2005. Plankton dynamics in a tropical floodplain lake: fish, nutrients, and the relative importance of bottom-up and top-down control. *Freshwater Biology*. 52-69pp.

REID, J. 1985. Chave de identificação e lista de referências bibliográficas para as especies continentais sulamericanas de vida livre da ordem Cyclopoida (Crustacea, Copepoda). *Bolm, Zool. Univ. S Paulo*. 9:17-43pp.

REVEROL, Y., DELGADO, J., LÓPEZ, C y SÁNCHEZ, L. 2008. Zooplankton community composition in floodplain lakes of Caura River, Venezuela. *Bol. Centro Invest. Biol*. 20p.

RODRÍGUEZ-PALMA, O. 2007. Macrofauna polychaeta asociada a fondos blandos en el sistema estuarino Bahía Cispatá, Caribe Colombiano en la época de septiembre-diciembre de 2005. Trabajo de tesis para optar al título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 106p.

RUEDA-DELGADO, G., SÁNCHEZ, S y RODRÍGUEZ, O. 2007. Actualización y ajuste del plan de ordenamiento de la pesca y la acuicultura y formulación de un plan de contingencia para las emergencias en los proyectos piscícolas en el Embalse de Betania. Segundo informe de avance. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias Naturales. Programa de Biología Marina. Bogotá. 137 p.

RUTTNER-KOLISKO, A. 1974. Plankton Rotifers. Biology and Taxonomy. Germany. 143p.

SENDACZ, S., CALEFFI, S y SANTOS-SOARES, J. 2006. Zooplankton biomass of reservoirs in different trophic conditions in the state of São Paulo, Brazil. Braz. J. Biol. 337-350.

THORNTON, K., KIMMEL, B y PAYNE, F. 1990. Reservoir Limnology: Ecological Perspectives. Edt. A Wiley Interscience.

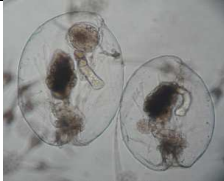
TOHRP, J y COVICH, A. 2001. Ecology and classification of north american freshwater invertebrates. Second edition. Academic Press. 1056 p.

VANEGAS, T. 2002. Riqueza de órdenes y dinámica del mesozooplankton marino en ambientes costeros del Golfo de Salamanca y el Parque Tayrona, Caribe Colombiano. Trabajo de tesis para optar al título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 109 p.

ANEXOS

Anexo A Listado de especies encontradas en el Embalse de Betania teniendo en cuenta su taxonomía y grupo trófico funcional

COPEPODA		
Especie	Clasificación taxonómica	Grupo trófico funcional
  <i>Arctodiaptomus dorsalis</i> Marsch, 1907	Orden Calanoida Sars, 1903 Familia Diaptomidae Baird, 1850 Genero <i>Arctodiaptomus</i> Kiefer, 1932	* Habita en cuerpos de agua eutróficos * Se encuentra en ciénagas, charcas, embalses y zonas pelágicas de los 0-2100 msnm
  <i>Thermocyclops decipiens</i> Kiefer, 1929	Orden Cyclopoida Burmeister, 1835 Familia Cyclopidae Sars, 1913 Genero <i>Thermocyclops</i> Kiefer, 1937	* Amplia distribución * Se encuentra en charcas, embalses, estanques, lagunas, pantanos y zonas pelágicas
 Copepodito		
 Nauplio de copépodo		De gran importancia para la estructura de la comunidad de zooplankton con respecto a la dinámica poblacional y aspectos tróficos ya que las fases tempranas pueden ocupar nichos de condiciones tróficas diferentes de los que pueden ocupar en fases adultas.
CLADOCERA		
  <i>Bosmina longirostris</i> O. F. Muller, 1785	Orden Anomopoda Sars, 1865 Familia Bosminidae Sars, 1865 Genero <i>Bosmina</i> Baird, 1845	* Habita cerca de la línea de costa en lagos y estanques

Especie	Clasificación taxonómica	Grupo trófico funcional
 Cabeza con proyecciones laterales en el fornix en forma roma. <i>Ceriodaphnia lacustris</i> Birge, 1893	Orden Anomopoda Sars, 1865 Familia Daphniidae Straus, 1820 Genero <i>Ceriodaphnia</i> Dana, 1853	* Litorales y limnéticos * Se encuentra en aguas calidas * Abundantes en lagos donde hay abundancia intermedia de peces
 Cabeza sin ninguna protuberancia dorsal Pequeña inflexión del margen posterovietral de las valvas <i>Diaphanosoma brachyurum</i> Lievin, 1848	Orden Ctenopoda Sars Familia Sididae Baird, 1850 Genero <i>Diaphanosoma</i> Fischer, 1850	* Localizado en hábitats mesotróficos y eutróficos * Esta restringido de los 10 a 20m en la columna de agua
 Dorado 2008 <i>Moina minuta</i> Hansen, 1899	Orden Anomopoda Sars, 1865 Familia Moinidae Goulden, 1968 Genero <i>Moina</i>, Baird, 1850	* De hábitos litorales * Localizado en aguas negras, blancas y pobres en nutrientes
ROTÍFERA		
 <i>Asplanchna</i> sp. Gosse, 1850	Orden Ploima Hudson and Gosse, 1886 Familia Asplanchnidae Eckstein, 1883 Genero <i>Asplanchna</i> Gosse, 1850	* Pelágicos * Pie reducido * Adaptados para flotar * Ingieren organismos vivos como crustáceos y otros rotíferos
 <i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1766	Orden Ploima Hudson and Gosse, 1886 Familia Brachionidae Ehrenberg, 1838 Genero <i>Brachionus</i> Pallas, 1766	* Thermófilos * Habitan principalmente aguas poco profundas y charcos * Se alimentan de algas y bacterias
 <i>Brachionus calyciflorus</i> cf <i>anuraeiformis</i>		
 <i>Brachionus caudatus</i> Barrois, 1894		

Especie	Clasificación taxonómica	Grupo trófico funcional
 <i>Brachionus falcatus</i> Zacharias, 1898	Orden Ploima Hudson and Gosse, 1886 Familia Brachionidae Ehrenberg, 1838 Genero Brachionus Pallas, 1766	* Termófilos * Habitan principalmente aguas poco profundas y charcos * Se alimentan de algas y bacterias
 <i>Brachionus navanaensis</i> Rousset, 1911		
 <i>Brachionus patulus</i> Müller, 1786		
<i>Brachionus patulus</i> var <i>macracanthus</i>		
<i>Brachionus</i> sp. Pallas, 1776		
<i>Conochilus dossuarius</i> Hudson, 1885	Orden Flosculariaceae Haring, 1913 Familia Conochilidae Haring, 1913 Genero <i>Conochilus</i> Ehrenberg, 1834	* Termófilos * Común en aguas poco profundas * Cosmópólitas
<i>Conochilus</i> sp. Ehrenberg, 1834	Orden Flosculariaceae Haring, 1913 Familia Conochilidae Haring, 1913 Genero <i>Conochilus</i> Ehrenberg, 1834	* Termófilos * Común en aguas poco profundas * Cosmópólitas

ERROR: ioerror
OFFENDING COMMAND: image
STACK: