

**EFFECTO DEL ENRIQUECIMIENTO CON NITRATOS Y FOSFATOS SOBRE LA  
DIVERSIDAD Y DENSIDAD DE ROTIFEROS EN UN DISEÑO EXPERIMENTAL  
*in situ* (LAGO YAHUARCACA)**

**CRISTIAN CAMILO GOMEZ AVILA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

**POPAYAN**

**2012**

**EFFECTO DEL ENRIQUECIMIENTO CON NITRATOS Y FOSFATOS SOBRE LA  
DIVERSIDAD Y DENSIDAD DE ROTIFEROS EN UN DISEÑO EXPERIMENTAL  
*in situ* (LAGO YAHUARCACA)**

**CRISTIAN CAMILO GOMEZ AVILA**

**Trabajo de investigación presentado para optar al título de biólogo**

**Director**

**CAMILO ERNESTO ANDRADE SOSSA M.Sc.**

**Universidad del Cauca**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

**POPAYAN**

**2012**

## CONTENIDO

1. INTRODUCCION .....	1
2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	2
3. JUSTIFICACION.....	3
4. OBJETIVOS .....	5
4.1 Objetivo general .....	5
4.2 Objetivos específicos .....	5
5. MARCO TEORICO .....	6
5.1 Comunidades zooplanctónicas y uso experimental .....	6
5.2 Zooplancton y estado trófico de los sistemas acuáticos lenticos .....	6
5.3 Estructura de las comunidades de zooplancton: Interacciones planctónicas .....	8
5.4 Desarrollo de las poblaciones zooplanctónicas y limitación de nutrientes .....	9
5.5 Biodiversidad.....	10
5.6 Características de los rotíferos .....	10
5.7 Ecología e importancia de los rotíferos.....	12
5.8 Variables físicas y químicas en los sistemas acuáticos .....	13
5.8.1 Luz.....	13
5.8.2 Temperatura .....	14
5.8.3 Nutrientes .....	14
5.9 Caracterización y descripción de las aguas amazónicas .....	15
6. ANTECEDENTES.....	17
7.1 Localización geográfica .....	20
7.2 Diseño experimental.....	21
7.3 Características de la zona limnológica .....	23
7.4 Fase de laboratorio .....	24
7.4.1 Análisis de muestras de zooplancton.....	24
7.4.2 Análisis de muestras de fitoplancton.....	25
7.5 Análisis de nutrientes .....	25
8. RESULTADOS .....	26
8.1 Composición Zooplanctónica .....	26

8.2 Estructura del ensamblaje según el tratamiento .....	28
8.2.1 Fosfatos .....	28
8.2.2. Nitratos .....	34
8.2.3 Mezclas .....	40
8.3 Comparaciones entre concentraciones y tratamientos .....	46
8.4. Tendencia de las especies a lo largo del tiempo en los diferentes tratamientos .....	47
9. DISCUSION.....	51
9.1 Estimación del enriquecimiento con nitratos y fosfatos.....	51
10. CONCLUSIONES .....	53
11. RECOMENDACIONES.....	54
12. BIBLIOGRAFIA.....	55

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características generales de los principales grupos del zooplancton de sistemas continentales. ....	7
Tabla 2. Características generales de los rotíferos de sistemas continentales.....	11
Tabla 3. Concentraciones y repeticiones de nutrientes .....	22
Tabla 4. Condiciones limnológicas del Lago Yahuaraca para el periodo de estudio .....	24
Tabla 5. Composición zooplanctónica encontrada en el mesocosmos del lago 1 de Yahuaraca. ....	26

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de las interacciones biológicas que implican al zooplancton .....	9
Figura 2. Foto aérea del sistema de lagos Yahuaraca, quebrada Yahuaraca y Río Amazonas. ....	20
Figura 3. Instalación del sistema in situ. ....	21
Figura 4. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Fosfatos (0,2).....	29
Figura 5. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Fosfatos (0,5).....	30
Figura 6. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Fosfatos (1).....	31
Figura 7. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Fosfatos (2).....	32
Figura 8. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Fosfatos (5).....	33
Figura 9. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Nitratos (0,5).....	35
Figura 10. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Nitratos (2).....	36
Figura 11. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Nitratos (5).....	37
Figura 12. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Nitratos (10).....	38
Figura 13. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Nitratos (20).....	39
Figura 14. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Mezcla 1. ....	41

Figura 15. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Mezcla 2. ....	42
Figura 16. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Mezcla 3. ....	43
Figura 17. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Mezcla 4. ....	44
Figura 18. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Mezcla 5. ....	45
Figura 19. Comparación de la riqueza, abundancia e índice de Shannon para los tres tipos de tratamientos implementados. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza del 95%. ....	46
Figura 20. Variación de la riqueza a lo largo del tiempo para cada tratamiento ...	47
Figura 21. Variación en la abundancia a lo largo del tiempo para cada tratamiento .....	48
Figura 22. Variación en la diversidad a lo largo del tiempo para cada tratamiento .....	50

## 1. INTRODUCCION

Con el diseño de enriquecimiento de nutrientes que se aplicó en este estudio, se simularon los fenómenos naturales o generados por la actividad antrópica en un ecosistema acuático, para analizar tanto el incremento como la disminución en la abundancia y la diversidad de rotíferos en respuesta a condiciones experimentales de eutroficación. Paralelamente a este estudio, se realizó otro en el cual se analizó la comunidad del fitoplancton, del cual se tomó información para relacionarla con la correspondiente al zooplancton.

El modelo utilizado como base para realizar estos análisis fue un ecosistema artificial llamado mesocosmos, el cual consiste en un ensamblaje creado con materiales artificiales para simular las condiciones naturales, además de está enriquecido con nutrientes para obtener diferentes concentraciones. El modelo se instaló en un cuerpo de agua y en él, se analizaron variables como el tiempo, el pH, la conductividad, el nivel de oxígeno y la temperatura, para así observar qué poblaciones de zooplancton y fitoplancton se desarrollan dependiendo de estas variables.

La ventaja de estos modelos es que pueden ser analizadas diferentes variables y pueden ser modificadas las condiciones del medio buscando una mayor productividad, dependiendo de los requerimientos. Si se habla de las desventajas, se puede mencionar el hecho de que pueden existir altas tasas de mortalidad de especies que no soportan las condiciones del sistema en estudio, además pueden existir alteraciones del ecosistema natural ya que no son completamente abiertos, también hay limitaciones en las variables controladas y la dinámica del ecosistema no es la misma.

El presente estudio toma como base información obtenida por el autor en desarrollo del II Curso Tutorizado de Especialización en Ecología Acuática, realizado en la Universidad Nacional de Colombia Sede Leticia, con el apoyo de la Universidad de Vigo - España y la Universidad del Cauca.

El propósito de este estudio es analizar el efecto del enriquecimiento con nitrógeno y fosforo, sobre la densidad y diversidad (riqueza y estructura) de rotíferos en un diseño experimental tipo mesocosmos.

## 2. FORMULACION DEL PROBLEMA

El sistema de lagos de Yahuaraca presenta diferentes ambientes con variadas y cambiantes concentraciones de nutrientes lo que desencadena en una alta diversidad de especies lo cual se presta para llevar a cabo gran cantidad de estudios y es apto para realizar el montaje del mesocosmos para evaluar resultados cuando se simulan de manera artificial dichos incrementos de nutrientes.

Algunos ecosistemas acuáticos amazónicos presentan altas diversidades de rotíferos en condiciones naturales con tendencia a oligotrofia y particularmente se han abordado análisis taxonómicos en trabajos aislados de rotíferos y micro crustáceos y evaluaciones del efecto del pulso Andrade-Sossa (2001).

Basados en lo anteriormente expuesto, se dio respuesta a estos fenómenos realizando el montaje y resolviendo la siguiente pregunta:

¿Cuál es el efecto del enriquecimiento con nitratos y fosfatos, sobre la diversidad y densidad de rotíferos, bajo un diseño experimental *in situ* en un sector del Lago Yahuaraca?

### 3. JUSTIFICACION

Los ecosistemas loticos y lenticos atraviesan por problemas graves de orden ambiental lo que altera profundamente su dinámica de funcionamiento. Las principales fuentes de la contaminación acuática son las industrias, la agricultura y los desechos domésticos (Hynes 1974). La contaminación de tipo antropico pone en peligro a todos los organismos vivientes de estos ecosistemas disminuyendo seriamente las concentraciones de oxigeno existentes en sus cantidades normales. Otro de los flagelos que daña este tipo de ecosistemas son las actividades del hombre como la agricultura ya que todos los cultivos son roseados periódicamente con cantidades alarmantes de pesticidas, venenos y abonos en su mayoría fabricados a base de fosforo, sumados a esto con el uso excesivo de muchas clases de abonos para fertilizar los terrenos que son depositados en último término en los sistemas lenticos (Ramírez & Barg 1990).

La materia orgánica sufre su normal proceso de descomposición de tipo aeróbico, en el cual se forman compuestos como agua, sales minerales y dióxido de carbono de los cuales se derivan nutrientes de mayor importancia como nitratos y fosfatos los cuales desencadenan un proceso llamado eutroficación, el cual se manifiesta ayudando a una sobrepoblación excesiva de plantas acuáticas y algas que son demasiadas para la demanda alimenticia de organismos como los peces y los invertebrados causado por muchos procesos fotosintéticos diarios lo que genera grandes fluctuaciones del pH y del oxigeno en los ciclos diurnos y nocturnos (Zanotelli 2002). Dichos procesos afectan gravemente a los ecosistemas después de que el exceso de plantas y algas mueren, porque todos sus restos se depositan en los lechos de los lagos disminuyendo las concentraciones de oxigeno.

Los diferentes ecosistemas de tipo lentico ubicados en la parte del Amazonas colombiano, como el sistema de lagos de Yahuaraca, son ricos en diversidad de especies de rotíferos (Duque *et al.* 1997). Tanto el zooplancton como el fitoplancton ayudan a la alta diversidad de rotíferos influyendo directamente en la heterogeneidad del ambiente, a la confluencia de las aguas negras y blancas amazónicas tanto en el tiempo como en el espacio (Andrade 2001, Duque & Núñez-Avellaneda 2000).

Estos sistemas de aguas negras y blancas de carácter y tipo limnológico son vulnerables a procesos de eutroficación, que genera una baja en la riqueza y la marcada dominancia de algunos grupos de zooplancton, inconveniente que es

propio tratar proponiendo y poniendo en práctica métodos y alternativas para disminuir los fenómenos y previniendo excesos en los ecosistemas mediante sistemas de tipo artificial.

Con estudios de tipo mesocosmos como el realizado, se propone una solución que ayude a controlar y conocer la dinámica de estos proceso y de las especies que los sufren controlando variables de modo artificial simulando las condiciones naturales existentes.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Analizar el efecto del enriquecimiento de nitratos y fosfatos sobre el ensamblaje de rotíferos en un diseño experimental *in situ*, para un sector del Lago Yahuarcaca.

### **4.2 Objetivos específicos**

Establecer si existen diferencias en la abundancia, riqueza e índice de Shannon para tratamientos con concentraciones crecientes de nitratos, fosfatos y mezclas en diferentes periodos de tiempo.

Comparar la abundancia y diversidad entre concentraciones para cada tratamiento y entre tratamientos

Relacionar los cambios en los ensamblajes de rotíferos con las tendencias en la composición y abundancias existentes.

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1 Comunidades zooplanctónicas y uso experimental

Uno de los componentes más importantes de las comunidades biológicas de los sistemas acuáticos es el zooplancton, que es el eslabón entre el fitoplancton y los consumidores secundarios (peces y algunas aves). El estudio de su estructura permite caracterizar los sistemas acuáticos y conocer algunas de las interacciones principales en ellos (Hairston, 1996).

Las comunidades zooplanctónicas dulceacuícolas están constituidas principalmente por rotíferos y micro crustáceos (cladóceros, copépodos y en ocasiones ostrácodos y concostráceos). Ocasionalmente, se encuentran también larvas de insectos (Díptera: Chaoboridae) y algunos autores incluyen también a gastrotricos, nematodos e inclusive protozoarios (Esteves, 1988).

La mayoría de estos organismos tienen periodos de vida cortos y muchos de ellos son fácilmente manipulables. Ello ha permitido la formulación, a partir de hipótesis experimentales basadas en interacciones biológicas y/o físicas, de modelos sobre la estructura de comunidades más fácilmente que en los sistemas terrestres. Además, el zooplancton de agua dulce está compuesto por animales con altas tasas de crecimiento, un rasgo que permite responder rápidamente a ambientes cambiantes. Otra de sus características es su capacidad para producir abundantes huevos de resistencia que mantienen su viabilidad durante décadas o siglos (Hairston, 1996). Las formas de resistencia en el sedimento de los lagos representan un banco de huevos, análogo al banco de semillas de muchas plantas terrestres (Marcus *et al.*, 1994).

### 5.2 Zooplancton y estado trófico de los sistemas acuáticos lentos

Los sistemas acuáticos lentos pueden ser clasificados en diferentes tipos de acuerdo con su carga de nutrientes y capacidad productiva (Lammens *et al.*, 1990):

- Los sistemas someros oligotróficos tienen como característica poseer aguas transparentes con escasa concentración de nutrientes, presencia de macrófitos en el fondo y pequeñas biomásas y concentraciones de fitoplancton y sólidos en suspensión.

- Los sistemas eutróficos presentan aguas turbias, ricas en nutrientes, ausencia o escasez de macrófitos completamente sumergidos y una alta biomasa de fitoplancton.
- Los ambientes mesotróficos presentan condiciones intermedias.

Las diferencias en el estado trófico se manifiestan en la estructura de la comunidad zooplanctónica (composición, densidad y diversidad) y en las relaciones zooplancton-fitoplancton (Marcus *et al.*, 1994). Las comunidades zooplanctónicas dominantes varían en los sistemas oligotróficos y eutróficos y de hecho puede ser un criterio importante para caracterizar el estado trófico de los sistemas acuáticos (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Características generales de los principales grupos del zooplancton de sistemas continentales. Tomado de Conde-Porcuna *et al.* (1997).

	<b>Tamaño aprox. (mm)</b>	<b>Reproducción</b>	<b>Fuentes principales de alimento</b>	<b>Sistemas acuáticos donde predominan</b>
<b>Rotíferos</b>	0.05-1.5	Partenogenética (sexual ocasionalmente)	- Algas - Detritos - Bacterias - Otros rotíferos	- Eutróficos - Sistemas no limitados en fósforo. - Sistemas con peces planctívoros
<b>Cladóceros</b>	0.5-3.0	Partenogenética (sexual ocasionalmente)	- Algas - Bacterias	- Oligotróficos - Sistemas sin peces planctívoros
<b>Copépodos</b>	0.5-2.0	Sexual	- Algas - Rotíferos - Ciliados	- Eutróficos - Sistemas salinos

En condiciones eutróficas, la turbidez del agua de un lago afecta su estimación ecológica, económica y recreativa y por tanto, es importante generar estrategias

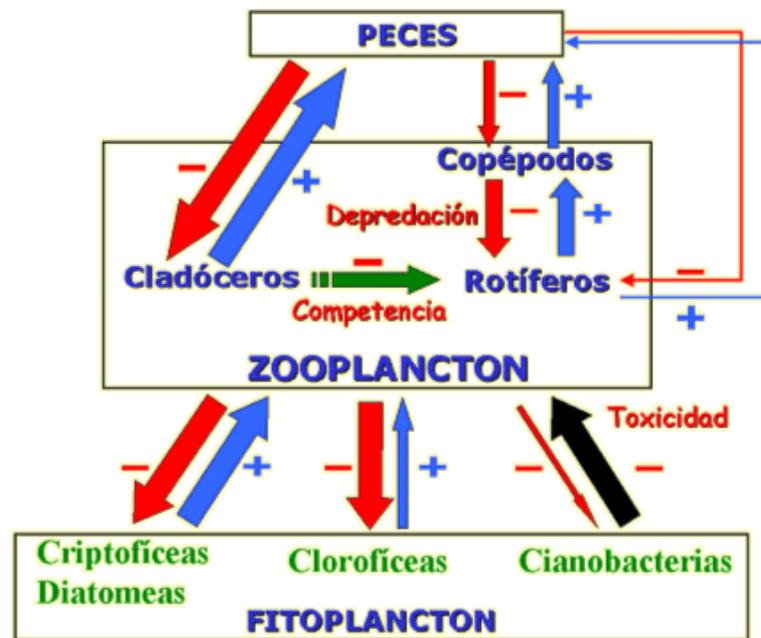
dirigidas a reducirla como, por ejemplo, la aplicación de técnicas de biomanipulación.

Estas técnicas modifican la red trófica. Pueden utilizarse diferentes mecanismos: reducción de la re suspensión de sedimentos mediante la eliminación de peces bentívoros y supresión del crecimiento de fitoplancton mediante la eliminación de predadores planctívoros que consumen el zooplancton. Para la supresión del crecimiento del fitoplancton es necesario tener un control eficiente de dichas poblaciones por parte del zooplancton, el cual puede no ser suficientemente capaz de reducir de forma significativa las densidades poblacionales de fitoplancton (Lammens *et al.*,1990).

Las grandes cantidades del zooplancton de gran tamaño (generalmente del cladóceros *Daphnia*) como supresor del crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas es la base de muchos estudios de biomanipulación (Lammens *et al.*,1990). Se ha evidenciado que la importancia relativa del macro-zooplancton como depresor del fitoplancton es mayor en sistemas de estado trófico intermedio.

### **5.3 Estructura de las comunidades de zooplancton: Interacciones planctónicas**

Inicialmente, en el estudio del plancton predominaron aproximaciones auto ecológicas interesadas por el análisis de la influencia de los factores físicos y químicos del medio sobre los organismos y su sucesión. En consecuencia, la sucesión de especies era generalmente considerada como el resultado de las diferentes formas de tolerancia ecológica a varios factores ambientales abióticos, tales como la intensidad de la luz y la densidad del agua o la viscosidad (Hutchinson, 1967). En décadas más recientes los ecólogos del plancton han mostrado un interés creciente en el estudio de las interacciones bióticas, la competencia por recursos comunes y la depredación por invertebrados, manifestando su importancia en la regulación de las comunidades acuáticas.**Figura1.**



**Figura 1.** Esquema general de las interacciones biológicas que implican al zooplancton (las flechas con mayor grosor indican un mayor efecto relativo). Tomado de Conde-Porcuna *et al.* (2007).

#### 5.4 Desarrollo de las poblaciones zooplanctónicas y limitación de nutrientes

El desarrollo de las poblaciones de zooplancton no solo va a depender de la cantidad de alimento disponible sino también de su calidad. La diferente calidad nutricional de los diferentes taxones de algas sugiere que el zooplancton estará limitado por la calidad nutricional de las comunidades fitoplanctónicas cuando estas no estén dominadas en su mayoría por diatomeas o criptofíceas, u otros grupos de algas de alta calidad nutricional (Brett *et al.*, 2000; Ramos-Rodríguez y Conde-Porcuna, 2003).

En los sistemas acuáticos y terrestres el nitrógeno y el fósforo pueden encontrarse en concentraciones más bajas en las plantas que en los herbívoros (Skinner y Cohen, 1994; Sterner y Hessen, 1994) y, en consecuencia, los nutrientes de la dieta pueden limitar el crecimiento y la reproducción de estos organismos. Dentro del zooplancton, los rotíferos son más sensibles a la limitación de fósforo que los crustáceos (Morales – Baquero y Conde - Porcuna, 2000; Conde - Porcuna *et al.*, 2002). En sistemas oligotróficos, las entradas atmosféricas de fósforo y las diferencias en las cuencas de captación pueden controlar la abundancia de los

organismos zooplanctónicos en una escala regional (Morales - Baquero y Conde - Porcuna, 2000).

Al igual que las plantas superiores, las algas tienen razones carbono: fósforo (C: P) y carbono: nitrógeno (C: N) relativamente altas y, bajo limitación de N o P, la razón C: N: P del fitoplancton varía considerablemente (Sommer, 1989; Conde - Porcuna *et al.*, 2002). Diversos estudios experimentales muestran que razones C: P elevadas en el medio se traducen en razones C: P elevadas en las células de las clorofíceas y en razones C: P reducidas en las criptofíceas (Sterner *et al.*, 1993; Ramos-Rodríguez y Conde - Porcuna, 2003). Bajo dichas condiciones, las clorofíceas representan un mal alimento para el zooplancton mientras que las criptofíceas serían un alimento de alta calidad nutricional, hechos evidenciados de forma experimental (Conde - Porcuna, 2000; Ramos - Rodríguez y Conde - Porcuna, 2003). En consecuencia, y paradójicamente, en sistemas acuáticos el zooplancton podría desarrollarse mejor bajo limitación de nutrientes en el medio dependiendo del tipo de población fitoplanctónica dominante.

## **5.5 Biodiversidad**

Los lagos representan modelos óptimos para el estudio de la riqueza específica en relación a los gradientes ambientales, ya que forman entidades ecológicas que están bien delimitadas en el paisaje (Dodson *et al.*, 2000). Sin embargo, en comparación con los sistemas terrestres, los estudios sobre patrones de diversidad en lagos son escasos (Waide *et al.*, 1999). Como en los biomas terrestres, la riqueza específica en los lagos muestra una gran variedad de respuestas a los gradientes de productividad, dependiendo del taxón y estudio bajo consideración. La interpretación de los patrones de diversidad que se observan en sistemas naturales es complicada ya que diferentes procesos pueden estar teniendo lugar a la vez.

## **5.6 Características de los rotíferos**

Los rotíferos juegan un papel fundamental en las cadenas tróficas pelágicas. Son un eslabón entre el fitoplancton y los consumidores secundarios, pero su importancia se acrecienta porque pueden transferir materia y energía desde bacterias y partículas detríticas de pequeño tamaño, que son recursos no utilizables por otros organismos planctónicos. Unas pocas especies pueden ser depredadoras de otras especies de rotíferos (Conde - Porcuna *et al.*, 2007).

Los rotíferos son organismos asquelmintos, protostomados, presentan una simetría bilateral, tienen un tamaño microscópico, en su cabeza presentan una corona ciliar lo que le da origen a su nombre (rotíferos), tienen un tronco frecuentemente cilíndrico, algunos con pie y/o estolones, un aparato digestivo generalmente completo, hay presencia de mástax, un aparato excretor protonefridial, no presentan aparato circulatorio ni respiratorio, poseen un sistema nervioso con cerebro anterior y cordones, órganos de los sentidos simples, son organismos dioicos o presentan hembras partenogénicas, sin larvas, con ciclos simples o con modificaciones, son de vida libre, acuáticos (marinos o dulceacuícolas), planctónicos o bentónicos y pocos de ellos son parásitos (Pourriot y Meybeck, 1995) (**Tabla 2**).

**Tabla 2.** Características generales de los rotíferos de sistemas continentales (Tomado de Pourriot y Meybeck, 1995)

	<b>Rotíferos</b>
<b>Talla (mm)</b>	0.1
<b>Reproducción</b>	Partenogénesis (Anfigonia)
<b>Desarrollo</b>	Directo
<b>Formas de Resistencia</b>	Huevos durables Anabiosis
<b>Generación (días)</b>	1.25 – 7
<b>Estrategias evolutivas</b>	R
<b>Métodos de alimentación</b>	Sedimentadores Raptoriales
<b>Alimento (um)</b>	1 – 20

<b>Tipo de alimento</b>	Algas Detritos Bacterias
<b>Tasa de filtración</b>	Muy baja
<b>Depredación por Invertebrados</b>	Alta
<b>Depredación por Vertebrados</b>	Muy baja

Sus métodos de supervivencia se basan en diversas respuestas a los cambios drásticos de su ecosistema; su reproducción se da por hembras Monogonontes, presentan fenómenos como:

**Criptobiosis:** Es el enquistamiento o latencia del organismo en época de congelamiento o temperaturas bajas.

**Anhidrobiosis:** Consiste en el hecho de que el organismo en época de sequía pierde agua.

**Cicломorfismo:** generaciones con diferente morfología, según la época del año. Ejemplo: presencia de espinas dependiendo de los depredadores de la época.

### 5.7 Ecología e importancia de los rotíferos

Los microorganismos continentales presentan características típicas de adaptación; por ejemplo los rotíferos son más pequeños y longevos que otros integrantes del zooplancton, también se puede decir que se relacionan con sus características genéticas y demográficas, se multiplican de forma sexual rápida, son omnívoros y con poca movilidad (Roldán, 1992).

También se encuentran en el agua dulce en mayor cantidad, en marina en menor cantidad, parasitan a crustáceos (*Seisonaceos*), sirven para el cultivo para larvas de peces, son bioindicadores de biotoxicidad, son recicladores, son consumidores primarios, consumidores secundarios y algunos son parásitos.

Existen otros aspectos ecológicos que vale la pena resaltar acerca de los rotíferos, como el hecho de que entre ellos se pueden observar grandes variaciones de tamaño dentro de una misma especie (Pennak, 1953).

Muchas hipótesis están siendo tenidas en cuenta para caracterizar los lagos en función de los rotíferos (e.g. Hillbricht – Ilkowska y Weglenska, 1970). En estos lagos se ha encontrado alguna correlación entre el nivel trófico y determinadas especies de rotíferos. De esa misma manera, en lagos oligotróficos se han observado con frecuencia especies de rotíferos como *Synchaeta oblonga*, *S. tremula*, *S. pectinata*, *Keratella cochlearis*, *Asplachna priodonta*, *Conochilus unicornis*, entre otras (Schubert, 1972). Para lagos eutróficos son citadas especies como *Euchlanis dilatata*, *Trichocerca cylindrica*, *T. pusila*, *Brachionus angularis*, *Pompolyx* sp. y *Keratella quadrata* (Gulati, 1983).

En lagos tropicales según Kosté (1978), las especies más frecuentes son *Keratella vaga*, *K. tropica*, *Filinia opoliensis*, muchas especies de *Brachionus*, *Anuraeopsis* y *Hexarthra*, encontradas en cualquier ambiente independiente del nivel trófico.

## **5.8 Variables físicas y químicas en los sistemas acuáticos**

### **5.8.1 Luz**

La luz que interactúa junto con el espejo de agua está relacionada con la época del año, con la latitud, con la altitud, con las condiciones climáticas y la hora del día. En aguas naturales, condiciones tales como la presencia de materia orgánica e inorgánica, el plancton y las partículas disueltas y en suspensión, hacen que el agua sea menos transparente, por lo tanto, la luz será reflejada en la superficie, trayendo como consecuencia una disminución en la penetración lumínica (Roldán, 1992).

La distribución vertical de la intensidad de la luz en el agua determina el espacio en el que se dan condiciones favorables para la producción y, por tanto, la intensidad en la superficie y el clima de luz dentro del agua son factores de producción fundamentales; cuando la intensidad de luz es muy alta, se tiene un efecto inhibitorio, que se atribuye a la destrucción de clorofila por foto oxidación, indistintamente en los dos fotosistemas (Margalef, 1983).

### **5.8.2 Temperatura**

A baja iluminación, la producción primaria aumenta poco cuando la temperatura asciende; para iluminaciones más intensas la producción primaria se incrementa, aunque con un coeficiente térmico menor que el de la respiración (Margalef, 1974).

La temperatura afecta directamente la tasa de renovación de los componentes celulares, a diversos procesos químicos, a la hidratación de las células, de manera que bajo temperaturas diversas, unos mismos organismos pueden tener distintas características (Margalef, 1983).

### **5.8.3 Nutrientes**

Tienden a ser retenidos por los sistemas vivos y a re circular dentro de ellos en mayor medida; el carbono, el nitrógeno, el fósforo y el calcio, entre otros, son necesarios en cantidades relativamente grandes, por lo que se denominan macro nutrientes (Odum, 1972).

Los nutrientes esenciales con relación a la producción primaria y la biomasa, son el nitrógeno y el fósforo; el primero es un gas y sus compuestos son solubles. El segundo forma compuestos insolubles y se pueden hallar en equilibrio con algún reservorio natural, como el sedimento y las rocas, no con la atmósfera (Margalef, 1983).

La importancia del nitrógeno en el agua radica en que es el componente fundamental de las proteínas, las cuales constituye la base estructural de los seres vivos. Las proteínas están constituidas por aminoácidos, estructuras químicas formadas por un grupo amino ( $\text{NH}_2$ ) y un grupo carboxilo ( $\text{COOH}$ ). El fósforo es también un elemento importante en el metabolismo biológico y al igual que el nitrógeno, en ocasiones puede convertirse en un factor limitante en la producción primaria; también hace parte de las moléculas más esenciales para la vida como lo son el ATP, ADN y ARN (Roldán, 1992).

En los sistemas acuáticos y terrestres el nitrógeno y el fósforo pueden encontrarse en concentraciones más bajas en las plantas que en los herbívoros (Skinner y Cohen, 1994; Sterner y Hessen, 1994) y, en consecuencia, los nutrientes de la dieta pueden limitar el crecimiento y la reproducción de estos organismos. Dentro del zooplancton, los rotíferos son más sensibles a la limitación de fósforo que los

crustáceos (Morales-Baquero y Conde-Porcuna, 2000; Conde-Porcuna et al., 2002). En sistemas oligotróficos, las entradas atmosféricas de fósforo y las diferencias en las cuencas de captación pueden controlar la abundancia de los organismos zooplanctónicos en una escala regional (Morales-Baquero y Conde-Porcuna, 2000).

Otros elementos y variables físicas y químicas, entre los que podemos mencionar al Carbono (C), Oxígeno (O<sub>2</sub>), Hidrogeno (H), Nitrógeno (N) y Fósforo (P) son los responsables de procesos metabólicos y crecimiento del fitoplancton (Vezjak et al., 1998; Margalef, 1983; Wetzel, 1987), por ende son los elementos claves en procesos de eutroficación; la temperatura (Abdul – Hussein, 1982, citado por Lau & Lane, 2002) y periodos climáticos (Nandini & Ramakrishna, 2000), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Talling 1976 citado por Tilman et al. 1982). La luz, tiene un efecto selectivo sobre las especies fitoplanctónica (Liere y Mur 1979; Zevenbomm et al. 1981, citado por Tilman et al. 1982; Klun, 2002). Otros elementos semejantes a Hierro (Fe) (Cavender-Bares et al., 1999; Gervais et al., 2002). Finalmente la materia orgánica e inorgánica con efectos positivos y negativos en la comunidad fitoplanctónica (Klun, 2002).

De las otras variables analizadas como lo es la conductividad, se puede mencionar que es un parámetro complejo que se puede considerar un estimador de la mineralización de los ecosistemas acuáticos (Pejler, 1965).

El principal factor de control de la producción primaria fitoplanctónica en el trópico es la disponibilidad de nutrientes (Beadle, 1981).

### **5.9 Caracterización y descripción de las aguas amazónicas**

El río Amazonas, el más grande sistema fluvial sobre la tierra y el que vierte alrededor de la quinta parte del agua dulce total en los mares del mundo (Alvarado 1998), esta gran oferta hídrica está clasificada en 3 categorías acorde a sus características físico-químicas: aguas claras, blancas y negras (Goulding et al., 1988, Sioli 1967 & Arbeláez, 2000) a su vez son subdivididos en tipos I, II y III (Nuñez-Avellaneda & Duque, 2001).

Según las características físicas y químicas, fisiográficas y geológicas, la cobertura de su cuenca de drenaje, Sioli (1967) clasifica las aguas de los ríos de la cuenca amazónica en:

1. *Ríos de aguas claras*, son de alta transparencia, poseen baja cantidad de sedimentos en suspensión, baja fertilidad y un pH ligeramente ácido.
2. *Ríos de aguas blancas*, son de color amarillento, poseen baja transparencia, un pH casi neutro, gran cantidad de sedimentos, son ricos en nutrientes y con frecuencia de origen andino.
3. *Ríos de aguas negras*, son de color marrón lo cual es producido por la presencia de compuestos de carácter húmico. Estas aguas se caracterizan por ser bastante ácidas, por ser pobres en iones inorgánicos, además de su transparencia media, pocos nutrientes y poca productividad primaria.

También en investigaciones realizadas por Duque *et al.* (1997), incluye los sistemas de los ríos Amazonas, Caquetá y Putumayo, en donde adecuan la clasificación que realizó Sioli (1967) a los ambientes colombianos, con siete tipos de aguas. Después de esto, Núñez y Duque (2001) realizan una nueva tipificación de ambientes acuáticos para lo correspondiente a la Amazonia colombiana que consiste en lo siguiente:

- *Aguas blancas Tipo I*: Son de origen andino, con características barrosas, con alta carga de sólidos en suspensión, cationes y aniones y pH entre 5.2 – 7.6.
- *Aguas blancas Tipo II*: Son de origen andino, son menos turbias, con baja carga de sólidos en suspensión. Poseen menor conductividad, tienen un pH ligeramente ácido (5.0 – 6.6).
- *Aguas negras Tipo I*: Son de origen amazónico, cuentan con un grado de mineralización moderado, conductividad, turbidez, y sólidos suspendidos moderados, tiene pH ligeramente ácido a neutro (6.0 – 7.1).
- *Aguas negras Tipo II*: Son de origen amazónico, presentan baja mineralización, tienen pH ácido a medianamente ácido (4.6 – 6.8), y mediana cantidad de sólidos en suspensión.

## 6. ANTECEDENTES

Sobre zooplancton en la región amazónica Colombiana se encuentran trabajos como el realizado por Duque *et al.* (1997) en el cual se hace una referencia simple sobre algunos géneros y especies de micro crustáceos planctónicos, especialmente del género *Diaphanosoma*: registrando con este estudio especies como *D. brachyurum*, *D. polypina*, *D. brevireme*, *D. spinulosum*; estos son grupos que cambian rápidamente con el ciclo hidrológico; además Vargas (1996), estudia la estructura y dinámica de la comunidad zooplanctónica de algunos lagos y meandros del río Igará - Paraná, encontrando varias especies de rotíferos y algunas especies de cladóceros correspondientes a los géneros *Bosmina*, *Bosminopsis*, *Ceriodaphnia* y *Diaphanosoma*.

En el sistema de lagos de Yahuaraca se han realizado algunos estudios en cuanto a densidad, diversidad y roles alimenticios de los rotíferos. Estudios de éste tipo son los realizados por Andrade-Sossa (2001), Rodríguez - González (2000), Cúpitra (2011), Andrade-Sossa *et al.* (2011) quienes analizaron los efectos de la fluctuación del nivel del agua sobre la estructura de la comunidad de rotíferos planctónicos.

Con relación a la ecología y biología del fitoplancton, Duque (1993, 1994, 1995), Duque y Donato (1993, 1994, 1995), realizaron investigaciones y estudios en la Amazonía colombiana (Roldán, 2001). Otro autor como Bahamón (1994) realizó estudios para varios lagos de inundación de río Amazonas en Colombia; estos trabajos enfatizaron en aspectos como la comunidad fitoplanctónica de los lagos.

Haciendo énfasis en el sistema de lagos de Yahuaraca, Duque (1993), Bahamón (1994) y Duque *et al.* (1997) realizaron estudios de algunas variables físico-químicas y algunos aspectos de la comunidad planctónica como lo son la biomasa, la composición, y la producción en varios periodos hidrológicos. Lagos (1997) investigó la productividad primaria y biomasa en el lago Yahuaraca, en lo que determinó que la entrada anual del río Amazonas tiene un efecto sobre la comunidad fitoplanctónica en el lago, causando la disminución en la biomasa y en la producción, además de afectar algunos aspectos físico-químicos relevantes.

Los efectos del enriquecimiento con nutrientes en sistemas de mesocosmos o *in situ* realizado para comunidades tanto zooplanctónicas como fitoplanctónicas tiene antecedentes en su mayoría en lagos de Argentina y Brasil, este último con buena parte de bibliografía dentro de los cuales se pueden citar:

Klun (2002) evaluó el efecto de la materia orgánica disuelta (MOD) y nutrientes inorgánicos P y N en la estructura y biomasa fitoplanctónica en intensidades lumínicas bajas y altas mediante microcosmos. Evidencio que el suplemento nutricio inorgánico y orgánico controlan la biomasa fitoplanctónica de acuerdo al gradiente lumínico, presentándose los mayores valores de biomasa en intensidades lumínicas mayores en comparación con el tratamiento de luz bajo, a pesar de igual concentración y composición de nutrientes, encontró un efecto negativo en los tratamientos con adición de la mezcla (MOD + N:P) en comparación con datos individuales con adición de que la estructura fitoplanctónica cambio de especies de tamaño pequeño al inicio a especies de mayor tamaño al final del experimento, quizás por la ausencia de macrozoopláncton.

Jeppensen *et. al.*(2000) utilizaron datos de 71 lagos principalmente someros (con media de profundidad de 3m) de Dinamarca en los cuales fueron realizados los muestreos del 1 de mayo al 1 de octubre en invierno, se utilizaron además variables como la riqueza y diversidad de Peces, fitoplancton y zooplancton, macrofitas acuáticas, siendo los nutrientes y profundidad, las variables independientes. Se encontró una alta correlación entre los niveles de N total y P total, marcando la dificultad para discriminar sobre el efecto de cualquiera de los dos, sobre la estructura de los niveles tróficos.

Hunt & Matveer (2005) realizaron bioensayos en mesocosmos del lago artificial Marcon, al sureste de Queensland, Australia con media de profundidad de 34 m para evaluar la relativa importancia de forrajeo por parte del zooplancton y limitación de nutrientes para controlar el fitoplancton. Los tratamientos consistían en la adición de diferentes concentraciones de N y P con ausencia y presencia de zooplancton y peces. Estos investigadores encontraron un efecto selectivo de los peces sobre la comunidad zooplanctónica y efecto cascada sobre el fitoplancton, además del efecto positivo del enriquecimiento con nutrientes sobre la media del crecimiento fitoplanctónico, siendo el nitrógeno y la mezcla de éstos, antes que el fósforo, los que inciden fuertemente.

Para la zona del Amazonas, su cuenca y sistema de lagos, se pueden citar trabajos como:

Flórez (2006) realizo un bioensayo a manera de mesocosmos (paralelo al presente trabajo de grado), en el cual adiciono nutrientes, fosfatos y nitratos, para simular las condiciones naturales en las comunidades de fitoplancton y

zooplancton, realizando un conteo de especies fitoplanctónicas, concluyendo así que el posible efecto del enriquecimiento con nutrientes es la disminución en la diversidad y aumento de la abundancia de las cianofíceas, particularmente, las fijadoras de nitrógeno, notificadas en otros estudios como dominantes en las condiciones de adición de nutrientes.

Flórez (2010), realizó un análisis cuantitativo y una determinación taxonómica de los individuos encontrados en un mesocosmos. Dentro de las especies fitoplanctónicas existentes, en el Lago Yahuaraca, encontró 228 especies, distribuidas en 14 clases, 37 ordenes, 60 familias y 103 géneros. Otro tipo de taxas solo pudieron ser descritas hasta familia, siendo un total de 250 taxas.

Hubo 4 especies encontradas las cuales tuvieron aparición en todos los tratamientos y fueron regulares, *Pseudanabaena* sp., *Cianophyceae* sp., *Scenedesmus opoliensis* var. *aculeatus*, *Komvophoron constrictum*, *Scenedesmus quadricauda*, *Dinophyceae* sp., las cuales al parecer presentan mayor resistencia a los cambios en las concentraciones de los nutrientes utilizados.

*Pseudanabaena* sp1, presentó una alta abundancia en todos los tratamientos incluyendo en el control, *Komvophoron constrictum*, tuvo alta abundancia en los controles y los tratamientos con mezclas a excepción de la mezcla 5, *Oedogonium* sp2y *Cryptomonas* sp1 presentaron en los controles una alta abundancia, ésta se disminuyó en todos los tratamientos con adición de nutrientes.

Las clases con mayor número de individuos en todo el estudio fueron las cianofíceas, clorofíceas y dinofíceas, siendo dominantes las primeras en el control y los tratamientos con menores concentraciones y estas junto con las segundas en los tratamientos con más nutrientes.

## 7. MATERIALES Y METODOS

### 7.1 Localización geográfica

El lugar donde fue montado el mesocosmos se encuentra ubicado en el sistema de Lagos Yahuaracaca, al sur del Trapecio Amazónico Colombiano, en el departamento del Amazonas, junto a Leticia; cerca de allí se encuentran ubicadas conocidas islas como la Isla Ronda y la Isla de los Micos.

Yahuaracaca está localizada a  $70^{\circ}0'10''$  latitud este y a  $4^{\circ}9'57''$  latitud sur del mapa colombiano, a una altitud entre 85 – 95 m.s.n.m. y un área de 2135 hectáreas; correspondiendo a un sistema de lagos conectados entre sí por canales (**Figura 2**).



**Figura 2.** Foto aérea del sistema de lagos Yahuaracaca, quebrada Yahuaracaca y Río Amazonas.

La vegetación es de sucesión ribereña, bosque inundable y localmente hay presencia de cultivos de subsistencia y ganadería además se realiza la tala selectiva y pesca artesanal. Cuenta además con un potencial educativo y turístico alto, hecho por el cual ha sido explotado como recurso turístico y educativo por entidades de Leticia y la Universidad Nacional de Colombia.

Haciendo referencia a la numeración dada por Bahamón (1994), el lago número 1 del sector de Yahuaracaca es el de más cercanía al río Amazonas, estando separado del mismo por una barra de sedimentos de carácter aluvial pero conectado a través de un canal con aproximadamente 100 m de longitud. La localización del lago 1 determina que las características físico-químicas, la dinámica poblacional y la productividad, dependan en mayor parte de las variaciones en el nivel hidrométrico del río y del efecto que tiene el pulso de

inundación (Andrade, 2001). Los lagos 2, 3 y 4, son influenciados en menor medida por el río Amazonas y en una mayor por la quebrada Yahuaraca.

## 7.2 Diseño experimental

Se realizó un estudio a manera de bioensayo montando un sistema artificial en el lago 1 del sector de Yahuaraca, con miras a analizar el comportamiento en cuanto a densidad y diversidad de las comunidades de rotíferos existentes en dicho lago, adicionándoles concentraciones diferentes tanto de nitratos como de fosfatos.

El montaje se construyó sobre el nivel del agua, consistió en 4 cuadrados hechos con tubos de PVC de color blanco, los cuales flotaban a su vez con boyas hechas con icopor, ubicados estratégicamente para que no se hundiera el sistema; en cada lado de cada cuadrado se ubicaron entre 3 y 4 garrafones plásticos transparentes con capacidad de 5 galones los cuales fueron ubicados a 50 cm de profundidad y sujetos con materiales pesados para que se mantuvieran hundidos (**Figura 3**).



**Figura 3.** Instalación del sistema in situ.

En la primera salida se realizó la construcción y posterior montaje del sistema, se llenaron los garrafones con agua filtrada procedente del mismo lago, a cada garrafón se adicionaron 5 diferentes concentraciones de nitratos, 5 de fosfatos, 5 mezclas y 5 grupos controles cada uno con 3 repeticiones (**Tabla 3**)

**Tabla 3.**Concentraciones y repeticiones de nutrientes

<b>NUTRIENTES</b>	<b>CONCENTRACIÓN ADICIONADA (<math>\mu\text{M}</math>)</b>	<b>NUMERO DE REPETICIONES</b>
<b>Fosfatos (P)</b>	0.2	3
	0.5	3
	1	3
	2	3
	5	3
<b>Nitratos (N)</b>	0.5	3
	2	3
	5	3
	10	3
	20	3
<b>Mezclas</b>	P(0.2) – N (0.5)	3
	P(0.5) – N (2)	3
	P(1) – N (5)	3
	P(2) – N (10)	3
	P(5) – N (20)	3
<b>Controles</b>	-	1
	-	1
	-	1
	-	1
	-	1

El estudio se realizó durante un período de 5 meses, comprendidos entre Marzo y Agosto de 2006, haciendo un total de 10 muestreos, los 8 primeros semanalmente y los 2 últimos cada quince días.

En la primer salida y después de construido el montaje, se tomaron muestras solo a los grupos control para tener una idea de qué especies y qué diversidad de zooplancton y fitoplancton habría de existir en dicho lago; después en los siguientes muestreos se empezaron a tomar muestras a todos y cada uno de los garrafones para los cuales se siguió el siguiente procedimiento, se tomaron 2 muestras de zooplancton en frascos plásticos con una capacidad de 250 ml de capacidad de color blanco dentro de los cuales se agregaron 0.75 ml de solución de Transeau (una mezcla de agua, alcohol y formol en proporción 6:3:1) para la

conservación de las especies mientras era realizado el análisis, 1 de fitoplancton en frascos de 250 ml de color blanca la que se adicionaron 0.25ml de lugol para preservarlo y 2 muestras en tubos de ensayo para el análisis de nutrientes del contenido de cada garrafón en tubos de ensayo para realizar el análisis de nutrientes en el laboratorio de Ecología Animal de la Universidad de Vigo- España, posterior a esto y habiendo sacado cerca de 800 ml del contenido de cada garrafón sumando todas las muestras anteriormente mencionadas, se volvía a llenar el faltante de agua, con agua del lago que era filtrada en laboratorio y se volvían a agregar los nutrientes con la concentración respectiva.

Adicional a la toma de muestras, se asignaron garrafones al azar para analizar: oxígeno disuelto, el pH, la conductividad y la temperatura, con equipos digitales como conductividad (Conductímetro YSI 30SCT), pH (WTW pH 330i), y oxígeno disuelto y temperatura (Oxigenómetro YSI 55). También se hicieron mediciones de profundidad y transparencia (profundidad de Secchi) del lago.

### **7.3 Características de la zona limnológica**

En la Tabla No 4 están plasmados datos que describen el comportamiento de tipo físico – químico del Lago Yahuaraca en diferentes posiciones geográficas del área de estudio trabajada. En este lago hay bajas concentraciones de nitratos y fosfatos totales lo que indica un grado alto de oligotrofia, bajas concentraciones de oxígeno disuelto y valores de pH entre 6 y 7. **Tabla 4.**

**Tabla 4.** Condiciones limnológicas del Lago Yahuaraca para el periodo de estudio (Tomado de Manjarres 2005)

Coordenadas		Variables físico – químicas del lago Y quebrada Yahuaraca Amazona:									
Sur	Oeste	Temperatura (°C)	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	Oxígeno disuelto (mg/l)	pH	Disco Secchi (m)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	SiO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
4° 10' 122"	69° 57' 38,2"	27,5 (29,1-26,5)	61,7 (143,7-38,3)	1,5 (2,88-0,15)	7,0 (7,4-6,8)	1,0 (1,27-0,56)	2,9 (6,3-0,2)	0,19 (0,29-0,08)	0,14 (0,31-0,01)	0,24 (0,69-0,01)	93,5 (174,7-46,3)
4° 9' 58,7"	69° 57' 48,3"	27,9 (30,1-26,5)	59,8 (134,3-39,8)	1,87 (3,77-0,51)	7,1 (7,5-6,8)	0,9 (1,18-0,41)	2,3 (4,4-0,1)	0,18 (0,31-0,13)	0,13 (0,48-0,01)	0,26 (0,89-0,01)	105,2 (195,3-32,2)
4° 9' 36,8"	69° 58' 0,05"	27,5 (28,8-26,6)	51,3 (118,4-38)	1,91 (3,17-0,64)	6,8 (6,6-7,0)	1,29 (1,64-0,9)	2,6 (4,7-0,4)	0,21 (0,29-0,12)	0,15 (0,29-0,01)	0,23 (0,67-0,01)	110,9 (176,6-28,9)
4° 9' 29,1"	69° 58' 0,05"	27,4 (28,5-26,3)	57,7 (126-39,7)	1,85 (3,05-0,34)	6,8 (7,2-6,4)	1,29 (1,64-0,9)	1,9 (4,3-0,1)	0,16 (0,31-0,10)	0,14 (0,41-0,01)	0,25 (0,89-0,01)	93,7 (162,8-41,4)
4° 9' 16,2"	69° 58' 10,7"	27,2 (27,9-26,4)	39,9 (49,6-27,7)	1,36 (2,27-0,47)	6,5 (6,9-6,02)	1,13 (1,75-0,9)	2,6 (5,2-0,2)	0,21 (0,39-0,15)	0,16 (0,43-0,01)	0,19 (0,53-0,01)	102,4 (74,6-159,6)
4° 9' 18,9"	69° 58' 0,09"	26,8 (27,5-26,2)	36,8 (44,3-26,5)	1,8 (2,45-0,78)	6,5 (6,9-6,1)	1,23 (1,75-0,9)	3,3 (4,9-0,3)	0,24 (0,41-0,12)	0,31 (0,79-0,04)	0,16 (0,44-0,03)	92,1 (55,8-122,4)
4° 9' 4,1"	69° 57' 38"	26,7 (28,1-25,8)	32,7 (44,8-18,5)	1,76 (2,5-0,38)	6,2 (6,5-6,03)	1,03 (1,29-0,88)	2,1 (4,3-0,1)	0,21 (0,40-0,14)	0,39 (1,0-0,01)	0,14 (0,54-0,02)	111,9 (214,1-11,7)

## 7.4 Fase de laboratorio

### 7.4.1 Análisis de muestras de zooplancton

Para realizar la estimación tanto de diversidad como de densidad de los rotíferos, cada frasco de zooplancton se dejó sedimentar de un día para otro en el laboratorio, y luego se retiró el exceso de agua con la ayuda de una pipeta plástica, el material sedimentado se colocó en frascos de menor tamaño, cada uno con capacidad de 60 ml que corresponde a la cámara de conteo y éste a su vez se analizó con la ayuda de un microscopio invertido. En el microscopio invertido se realizó la determinación y el conteo de cada especie de rotíferos, analizando el total de la muestra. Se adicionó rosa de bengala para facilitar la observación de los rotíferos.

#### **7.4.2 Análisis de muestras de fitoplancton**

Las muestras de fitoplancton se analizaron por otros dos estudiantes del II Curso Tutorizado de Especialización en Ecología Acuática (Pablo César Flores y Diego Montenegro). Los resultados cuantitativos se utilizaron para establecer relaciones entre los cambios en densidad y diversidad de fitoplancton con lo correspondiente en el zooplancton.

El procedimiento que se utilizó para el recuento y análisis del fitoplancton está basado en CENTC230/WG2/TG3/N83 DOCUMENTO DE 11-05-2004, basado de igual forma en Utermöhl 1958 (en: Confederación Hidrográfica del Ebro. Metodologías para el Establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua). Se realizó una cuantificación y determinación taxonómica de las especies presentes en el sistema montado utilizando las cámaras Utermöhl sedimentando por periodos de 10 a 48 horas de alícuotas de muestra y depositadas en cámaras de sedimentación de tipo tubular de 10 ml.

#### **7.5 Análisis de nutrientes**

Se filtraron 20 ml de cada muestra para la determinación de los nutrientes agregados mediante filtrado con filtros de fibra de vidrio de marca WHATMAN GF/C de 0,45  $\mu\text{m}$  de diámetro de cada poro utilizando una bomba de vacío. El producto del filtro era introducido en Eppendorf de 1,5 ml de los cuales eran llenados entre 15 y 20 unidades con sus respectivos rótulos que indicaban las concentraciones de cada uno, posteriormente eran almacenados en bolsas tipo Ziplot y refrigeradas a 4°C por 25 días para su congelación. Las muestras eran enviadas a los laboratorios de la universidad de Vigo en España para su respectivo análisis en el laboratorio de limnología en donde se utilizaba un autoanalizador BRAN + LUEBBE AAIII. Allí se cuantificaban las muestras con las concentraciones de los nutrientes disueltos que correspondían a su vez a Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), Silicato ( $\text{SiO}_4^{2-}$ ) y carbono inorgánico (C).

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Composición Zooplanctónica

En el estudio realizado en el mesocosmos se encontraron 27 especies de rotíferos (**Tabla 5**). Se tomaron en cuenta para análisis las especies que fueron capaces de resistir los diferentes periodos del tratamiento sobre las cuales se ven los cambios más significativos desde sus inicios hasta el final del muestreo.

**Tabla 5.** Composición zooplanctónica encontrada en el mesocosmos del lago 1 de Yahuaraca.

#### **Subclase: Digononta**

##### **Orden Bdelloida**

##### **Clase Bdelloidea**

1. *Bdelloidea sp 1* HUDSON 1884
2. *Bdelloidea sp 2* HUDSON 1884

#### **Subclase Monogononta Plate, 1889**

##### **Orden Ploima Hudson and Gosse, 1886**

##### **Familia Synchaetidae Hudson and Gosse, 1886**

3. *Polyarthra vulgaris* CARLIN 1943

##### **Familia Brachionidae Ehrenberg, 1838**

4. *Brachionus caudatus* AHLSTROM 1940
5. *Brachionus dolabratus* HARRING 1915
6. *Anuraeopsis fissa* GOSSE 1851
7. *Brachionus patulus* O. F. MULLER 1789
8. *Brachionus falcatus* ZACHARIAS 1898

##### **Familia Asplachnidae Eckstein, 1883**

9. *Asplachna sp.* GOSSE 1850

##### **Familia Trichocercidae Haring, 1913**

10. *Trichocerca cf. braziliensis* MURRAY 1913
11. *Trichocerca bicristata* GOSSE 1887

##### **Familia Ephifanidae Haring, 1913**

12. *Epiphanes sp.* EHRENBERG 1832

**Familia Hexartridae Bartos, 1959**

13. *Conochilus* sp. EHRENBERG 1834  
14. *Hexarthra intermedia braziliensis* HAUER 1956

**Familia Lepadellidae Haring, 1913**

15. *Lepadella* sp. EHRENBERG 1830  
16. *Colurella obtusa* GOSSE 1886

**Familia Testudinellidae Haring, 1913**

17. *Testudinella mucronata* GUILLARD 1967

**Familia Lecanidae Remane, 1933**

18. *Lecane papuana* MURRAY 1913  
19. *Lecane bulla* GOSSE 1886  
20. *Lecane hamata* STOCKES 1896  
21. *Lecane closteroerca* SCHMARDA 1859

**Familia Notommatidae Hudson and Gosse, 1886**

22. *Monommata* sp. BARTSCH 1870  
23. *Cephalodella cf. misgurus* BORY DE ST. VINCENT 1826

**Familia Filiniidae Haring and Myers, 1926**

24. *Filinia longiseta* EHRB 1834

**Familia Synchaetidae Hudson and Gosse, 1886**

25. *Synchaeta* sp. EHRENBERG, 1832

**Familia Gastropodidae Haring, 1913**

26. *Ascomorpha saltans* BARTSCH 1970

**Familia Dicranophoridae Haring, 1913**

27. *Dicranophorus* sp. NITZSCH 1827

Dentro de todos los mesocosmos y teniendo en cuenta las condiciones cambiantes de todo el sistema montado, hubo unas pocas especies de rotíferos que presuntamente fueron las que mejor se adaptaron a las situaciones cambiantes presentadas a lo largo del tratamiento, estas fueron encontradas con ciertos ítems similares como semana de aparición, semana de desaparición y porcentaje de abundancia. Dentro de estas se destacaron *Polyarthra vulgaris*,

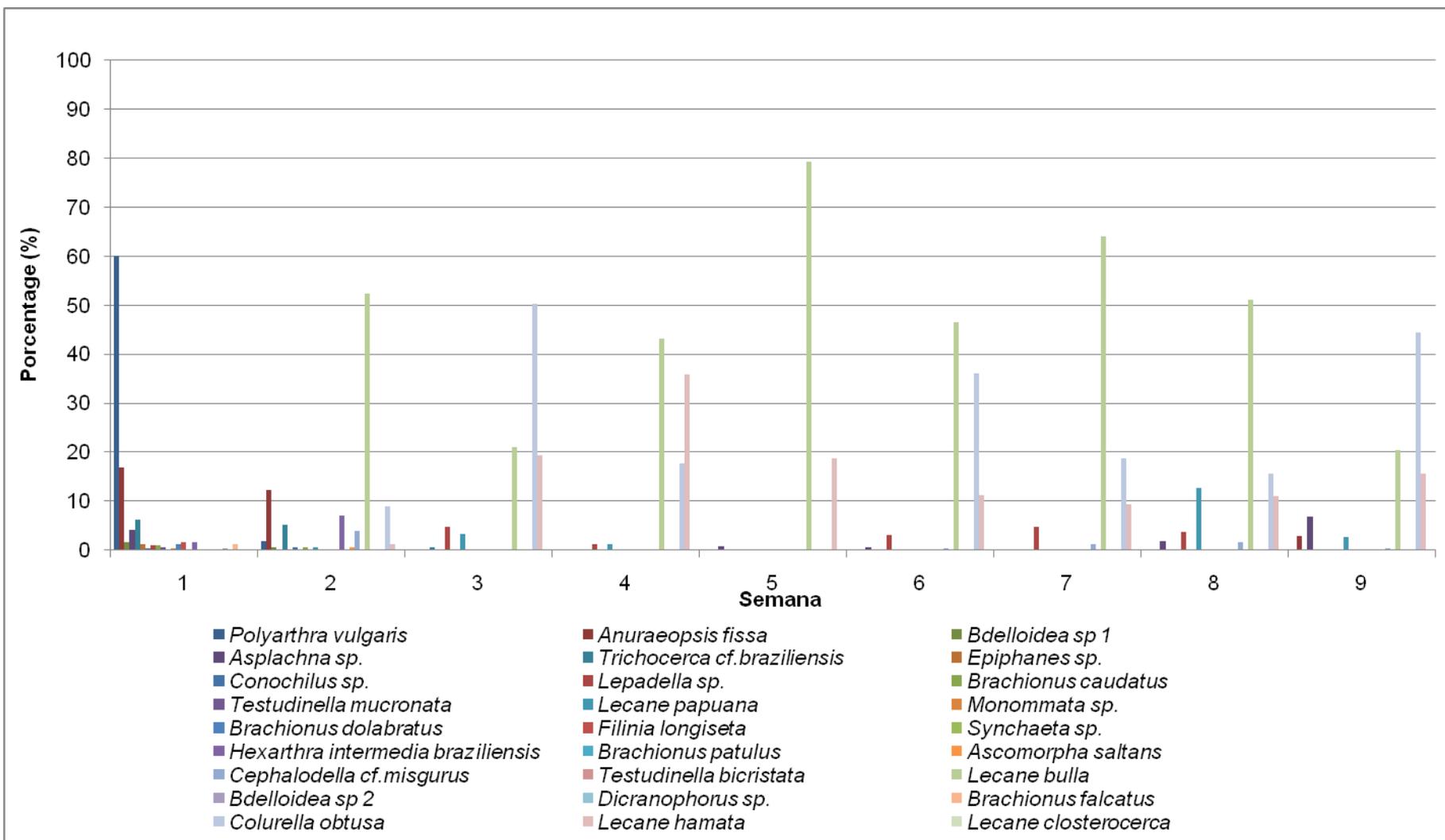
especie que apareció en la primer semana de montado el mesocosmos siendo la dominante y coincidiendo con las características del lago para ese periodo. Esta especie tuvo grandes porcentajes de abundancia hasta la semanas 3 y 4 cuando dejo de aparecer. Otras como *Lecane bulla*, *Lecane clostercerca*, *Lecane hamata* y *Lecane papuana* aparecieron después de la segunda semana de tratamiento, evidenciando su adaptación a las condiciones presentes en este periodo de tiempo de los mesocosmos, ya con menos concentración de oxígeno, menos intercambio de gases (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) con la superficie y agua más cargada de nutrientes adicionados.

Solo unas pocas especies tuvieron porcentajes significativos de abundancia en semanas marcadas como la 4 y la 5, como *Lepadella* sp., *Colurella. obtusa* y *Ascomorpha saltans* aparecieron entre la segunda y tercer semana de tratamiento.

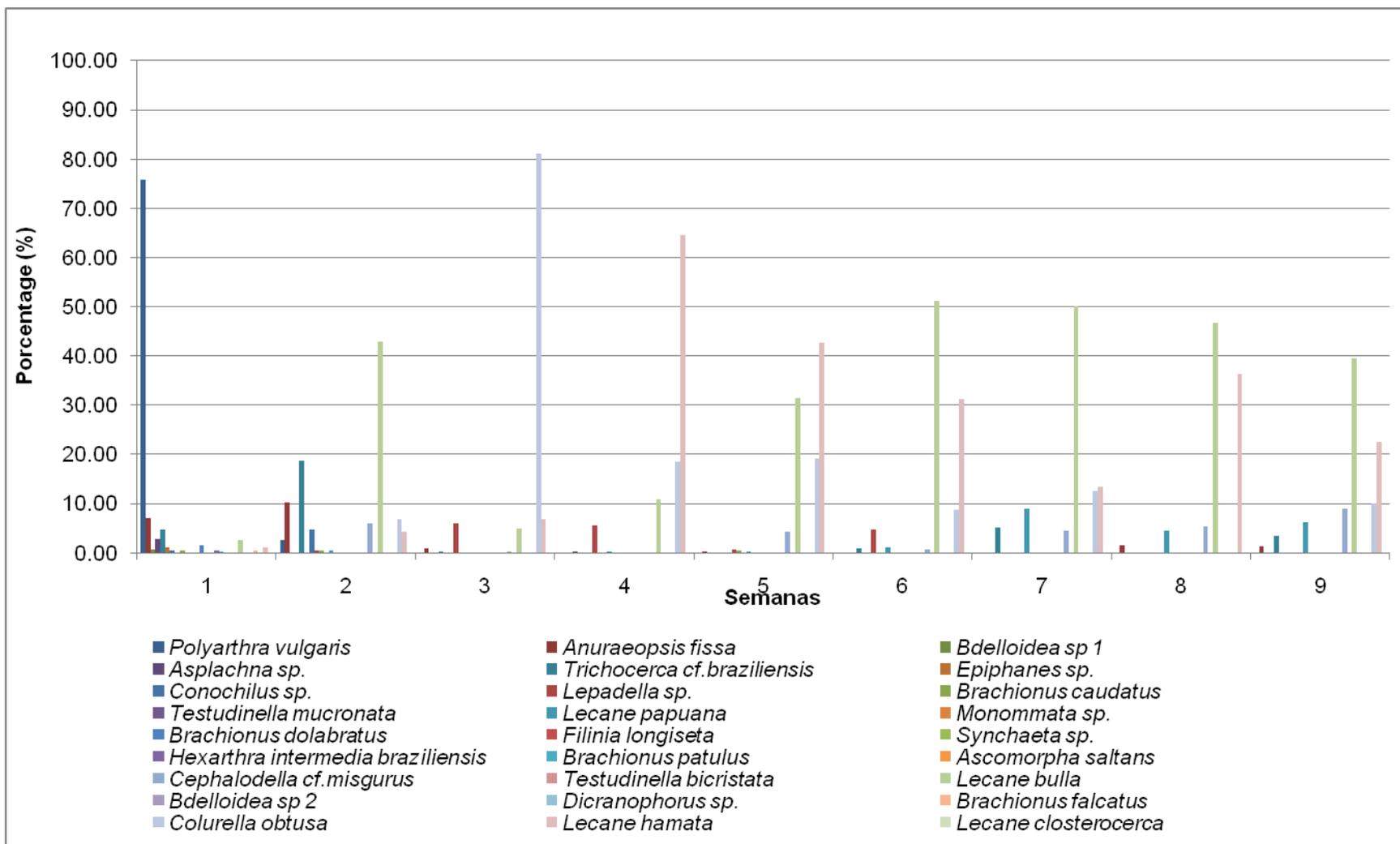
## 8.2 Estructura del ensamblaje según el tratamiento

### 8.2.1 Fosfatos

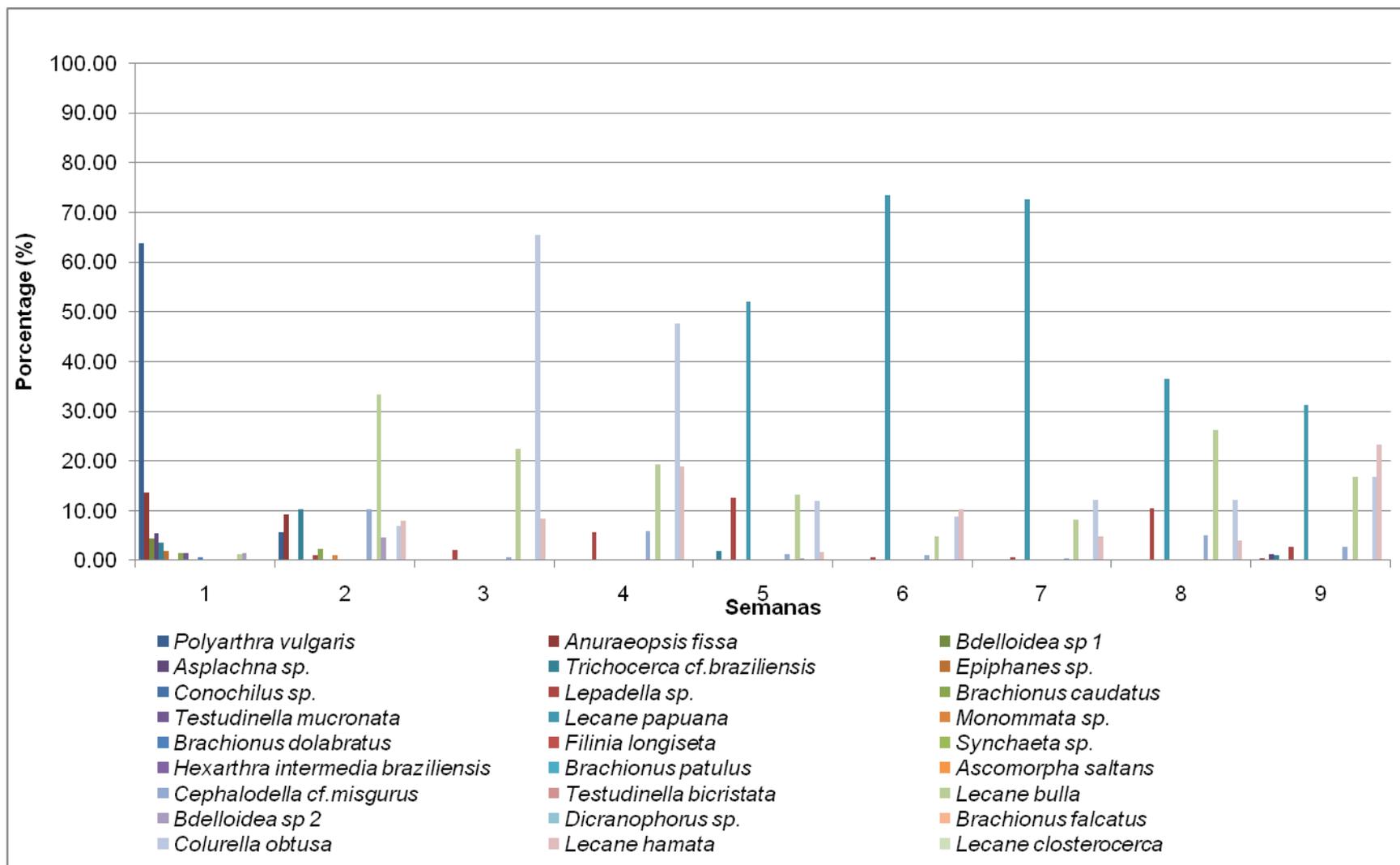
En general para todas las concentraciones de fosfatos hay una mayor riqueza de especies y escasa abundancia de la mayoría de estas en la primera semana, siendo *P. vulgaris* la más abundante. Así mismo se nota como hay una reducción progresiva del número de especies conforme van pasando las semanas, además de una total desaparición de la especie *Polyarthra vulgaris* a partir de la semana 3 en las concentraciones Fosfatos 0,2; 0,5 y 5 y de la semana 4 en las concentraciones fosfatos 1 y 2. También se nota un claro aumento de la abundancia de las especies *Lecane bulla*, *Colurella obtusa* y *Lecane hamata* a partir de la semana 2 en las concentraciones de fosfatos 0,2 y 0,5, siendo *Lecane bulla* la más abundante en la concentración fosfato 0,2 (79,15% durante la semana 5) y en la concentración fosfatos 0,5, *Colurella obtusa* (81% en la semana 3) (**Figuras 4 y 5**). Para fosfatos 1, 2 y 5 aumentan a partir de las semana 2 las mismas tres especies y además acompañadas por *Lecane papuana*. Esta última especie presenta la mayor abundancia general en fosfatos 1 y 5 (73,46% - semana 6 y 82,67% - semana 5, respectivamente) y *Colurella obtusa* (75,09% en la semana 7) para fosfatos 2 (**Figuras 6, 7 y 8**).



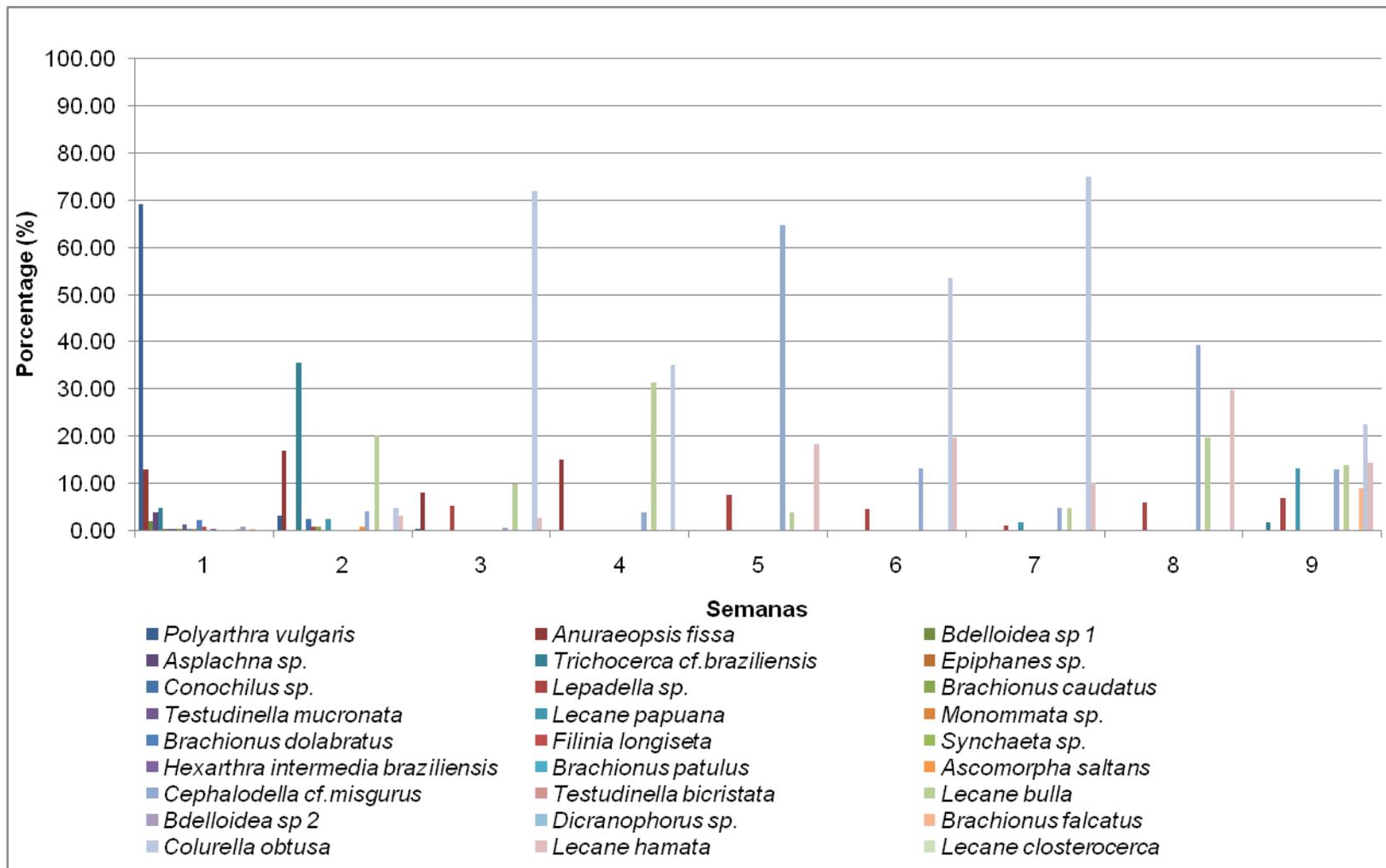
**Figura 4.** Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Fosfatos (0,2)



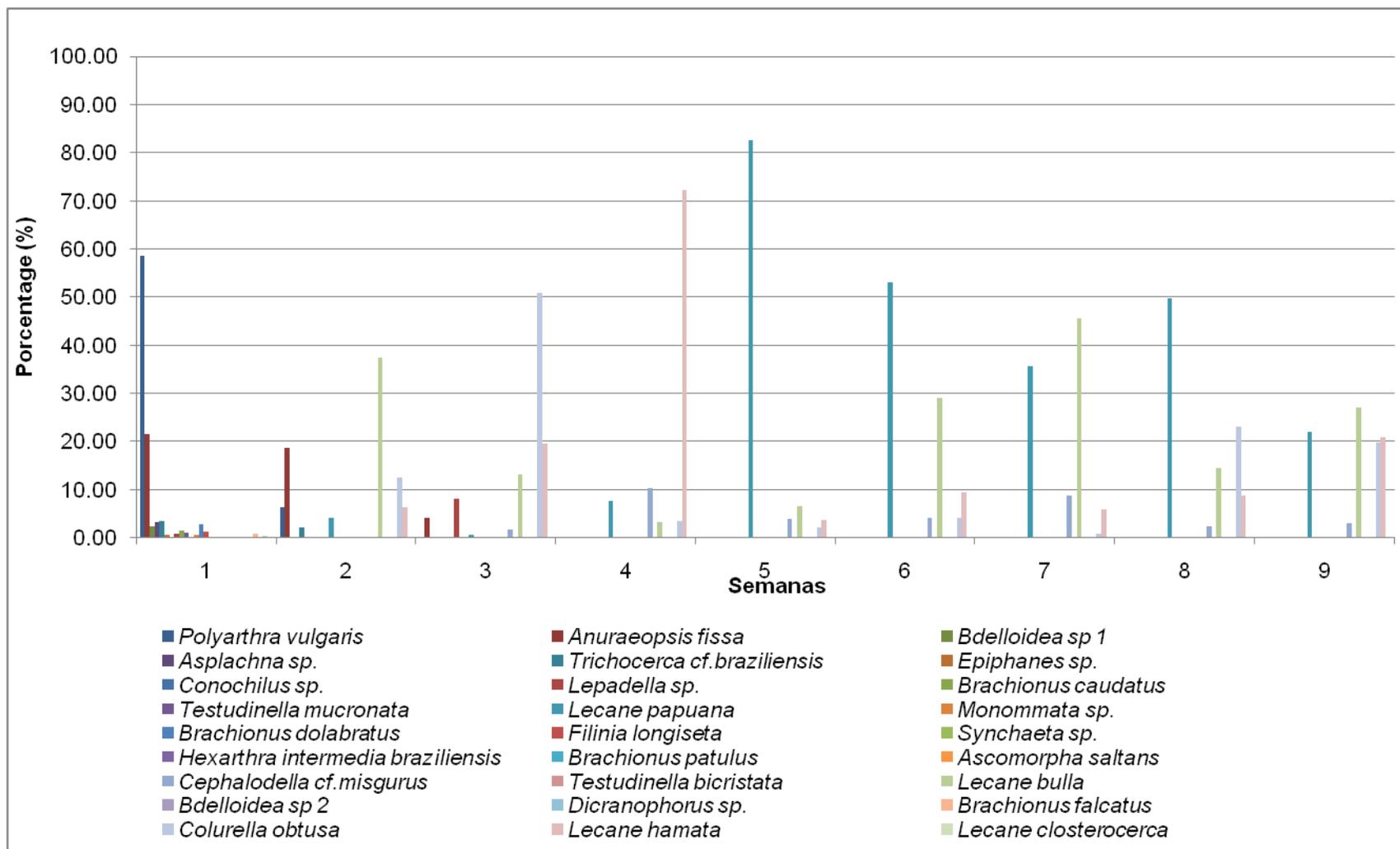
**Figura 5.** Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Fosfatos (0,5)



**Figura 6.** Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Fosfatos (1).



**Figura 7.** Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Fosfatos (2).



**Figura 8.** Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Fosfatos (5).

### 8.2.2. Nitratos

También llama la atención la gran riqueza de especies y la escasa abundancia de la mayoría de estas, en la primera semana, siendo *Polyarthra vulgaris* la más abundante en todas las concentraciones. Así mismo se nota como hay una reducción progresiva de especies conforme van pasando las semanas, además de una total desaparición de *Polyarthra vulgaris* a partir de la semana 3 en las concentraciones 5 y 20, en la semana 4 para nitratos 0,5; 2 y 10.

También hay aumento de la abundancia de *Lecane bulla*, *Lecane papuana*, *Colurella obtusa* y *Lecane hamata* a partir de la semana 2, para las concentraciones nitratos 0,5 y 2; *Lecane papuana*, *Lecane bulla* y *Colurella obtusa* para las concentraciones nitratos 5 y 20; y la aparición de una nueva especie, *Lepadella* sp. para la concentración nitratos 10. En cuanto a la abundancia de estas especies se tiene que *Lecane papuana* presenta una mayor abundancia para la concentración nitratos 0,5 en la semana 5 con un 72,46% (**Figura 9**); *Colurella obtusa* presenta la mayor abundancia en las concentraciones nitratos 2, 5 y 20 con 81,50% en la semana 5 (**Figura 10**), 71,45% en la semana 3 (**Figura 11**) y 84,35% en la semana 3 (**Figura 13**) respectivamente y *Lepadella* sp. presenta su mayor abundancia para la concentración nitratos 10 con un 66,27% en la 5 semana (**Figura 12**).

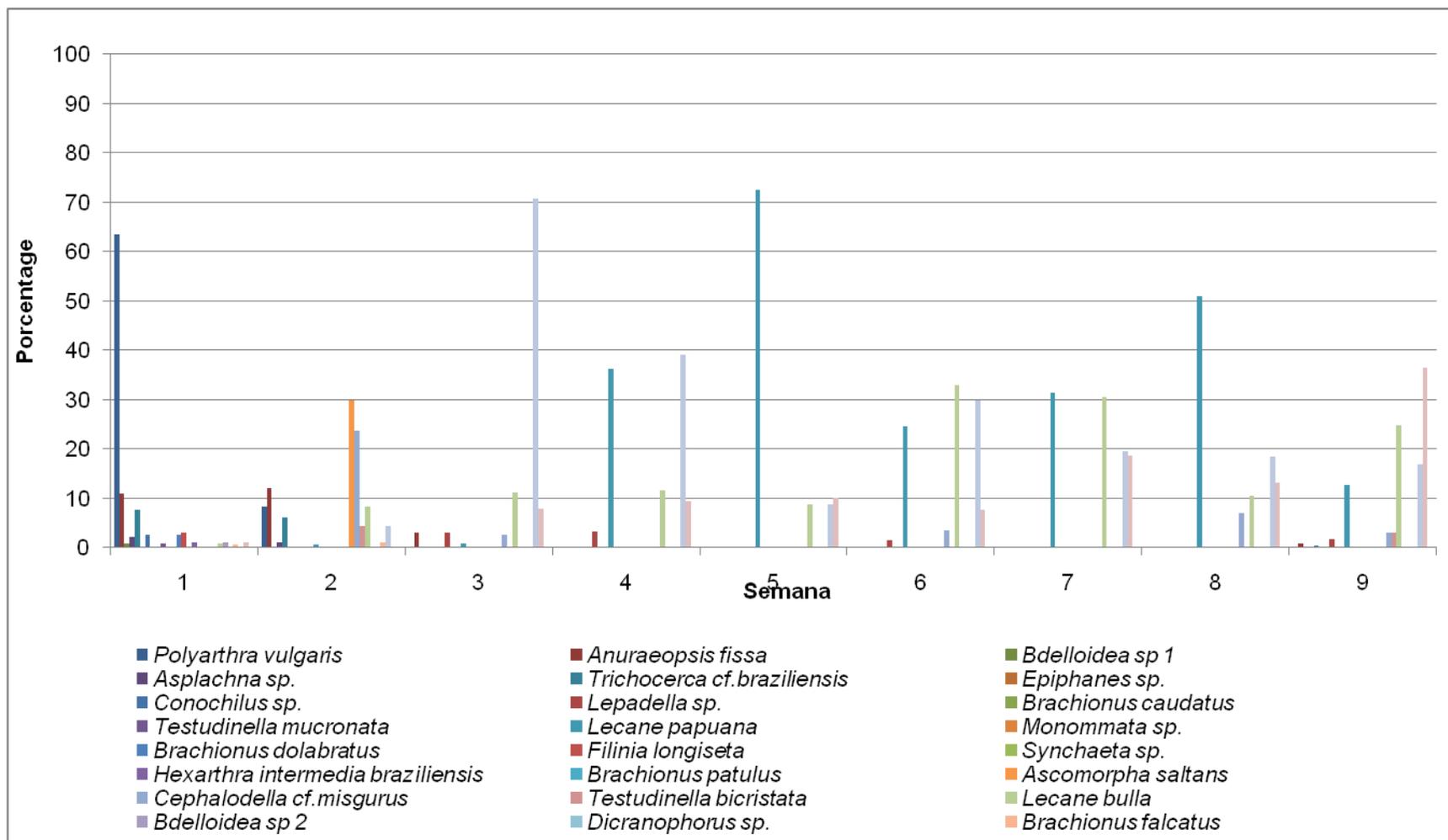


Figura 9. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Nitratos (0,5).

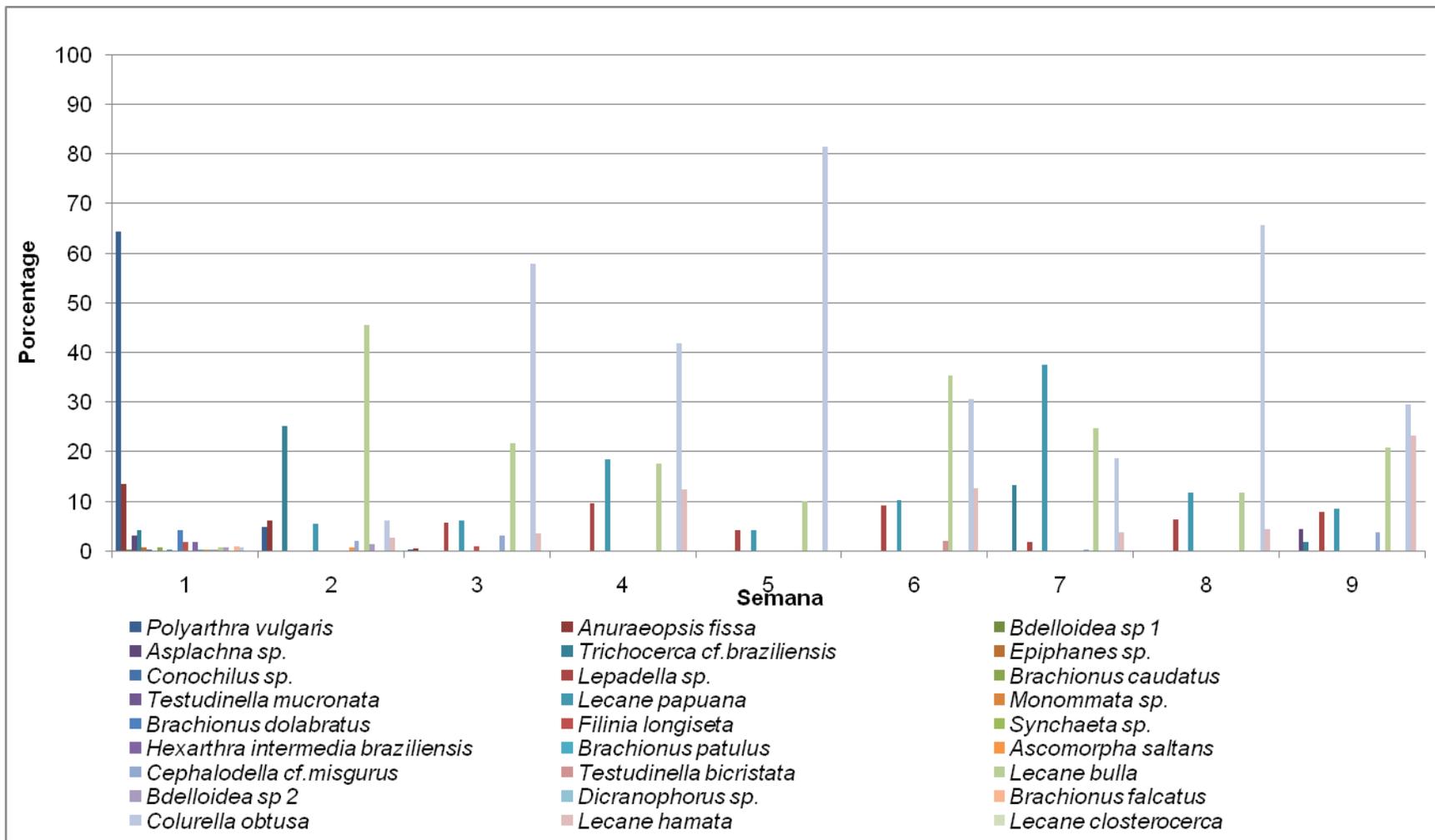


Figura 10. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Nitratos (2).

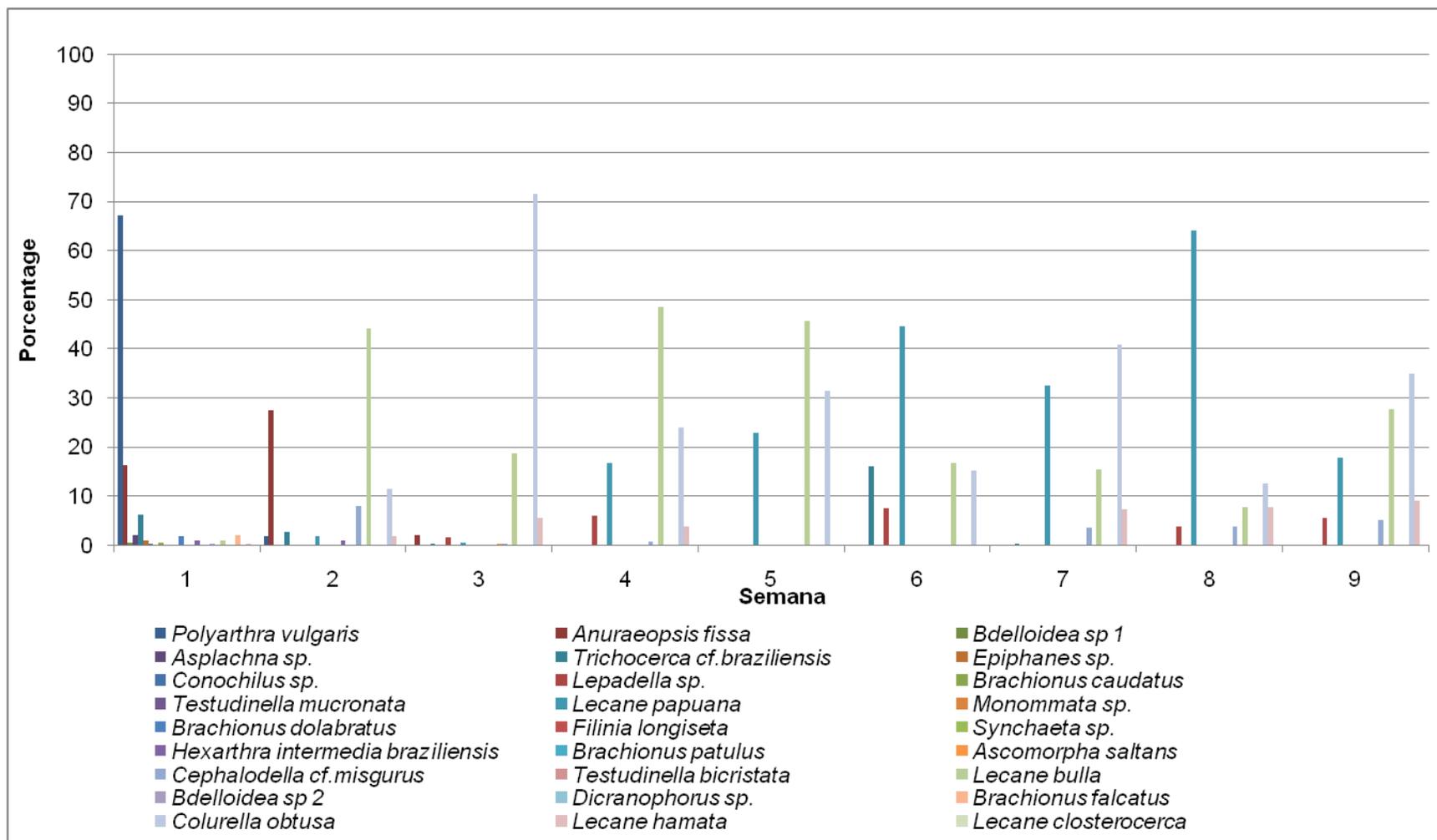


Figura 11. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Nitratos (5).

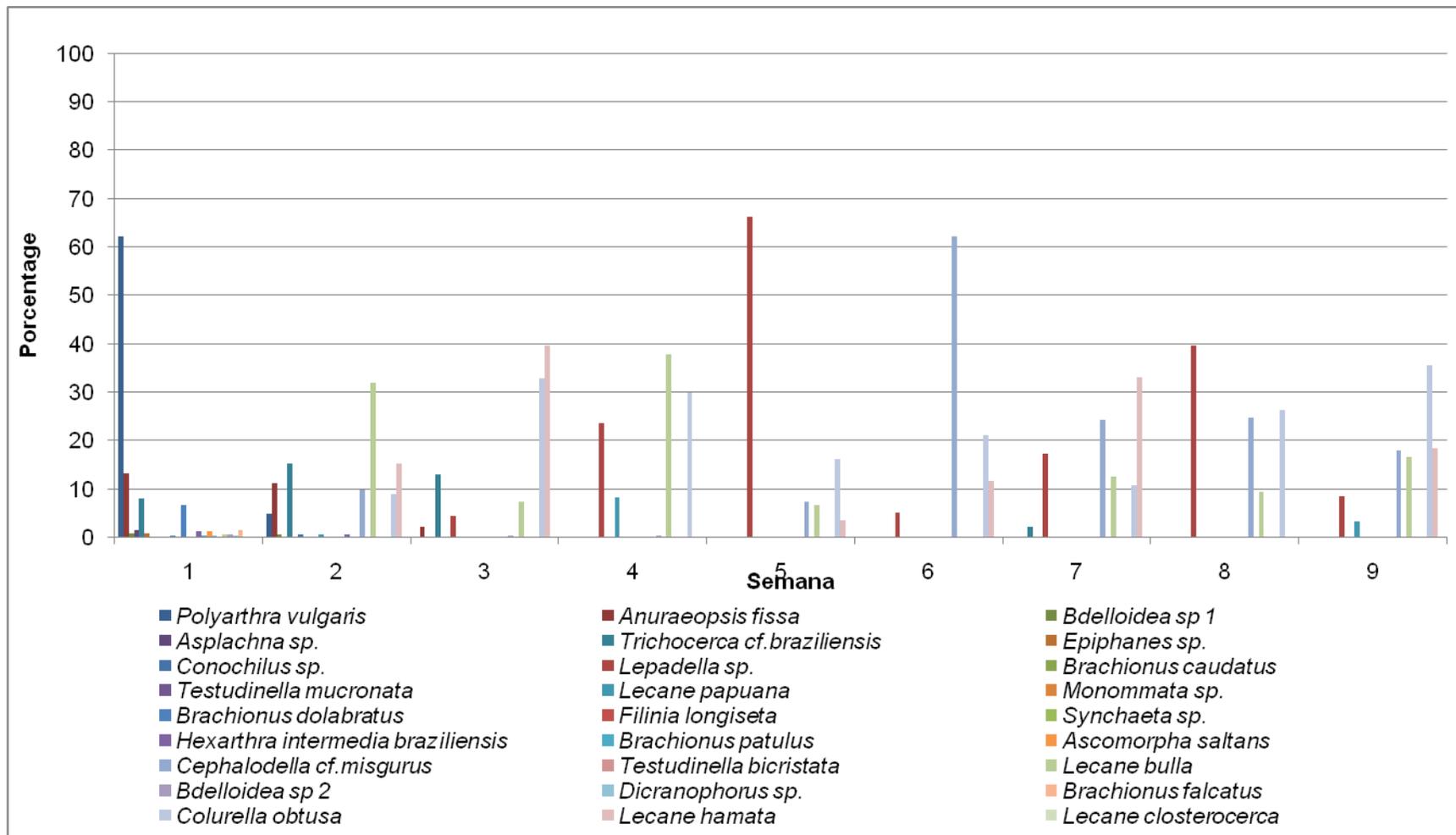


Figura 12. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Nitratos (10).

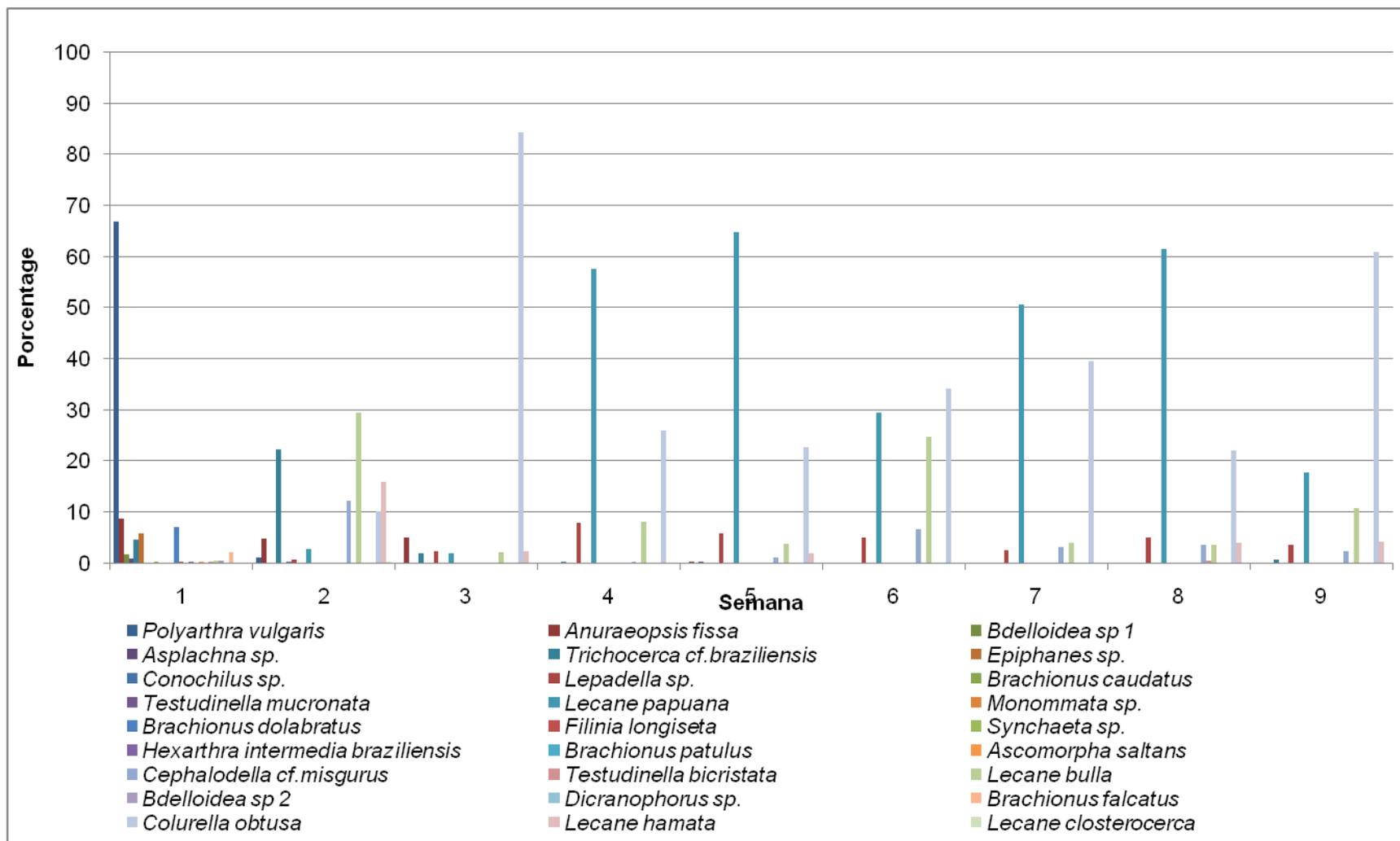
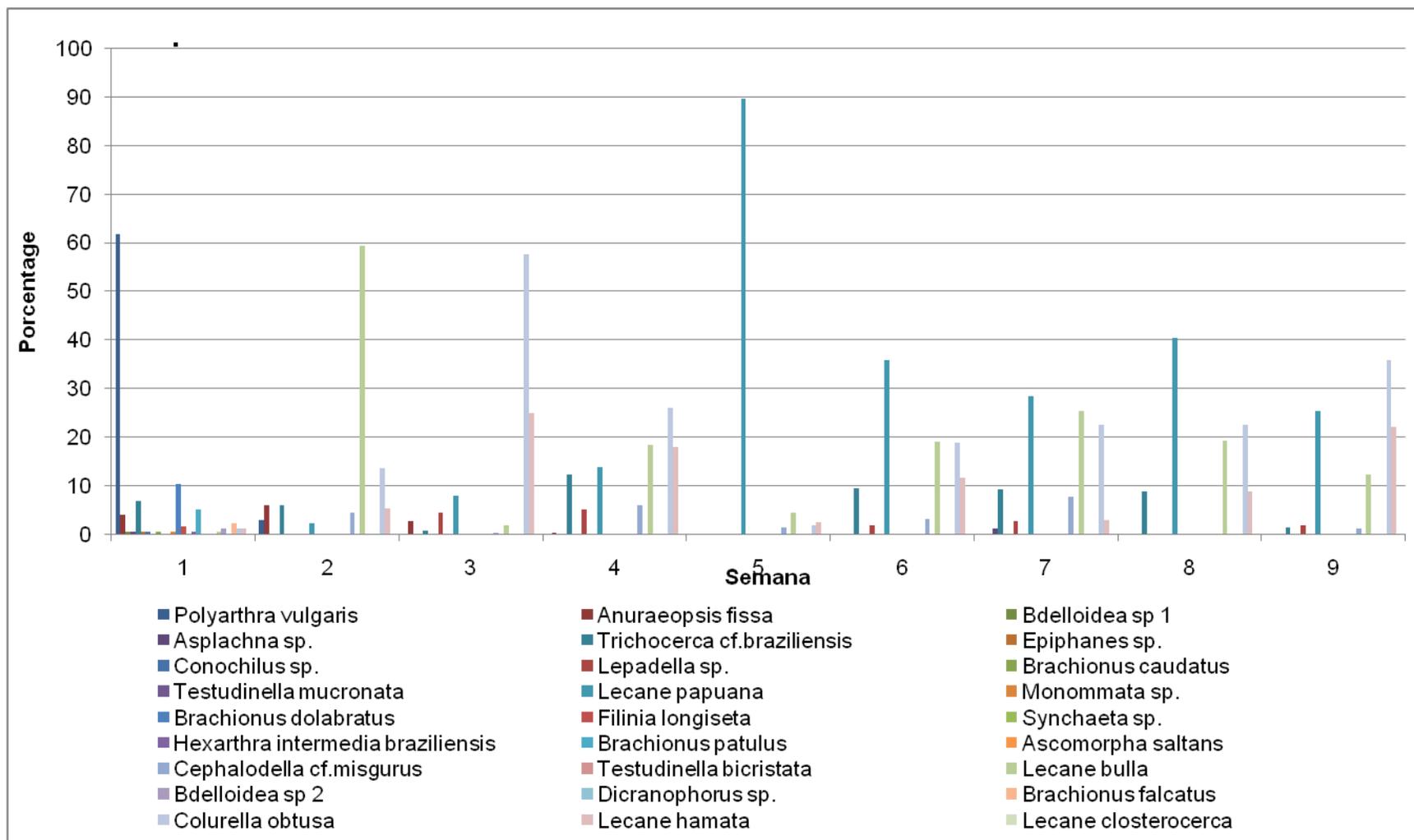


Figura 13. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Nitratos (20

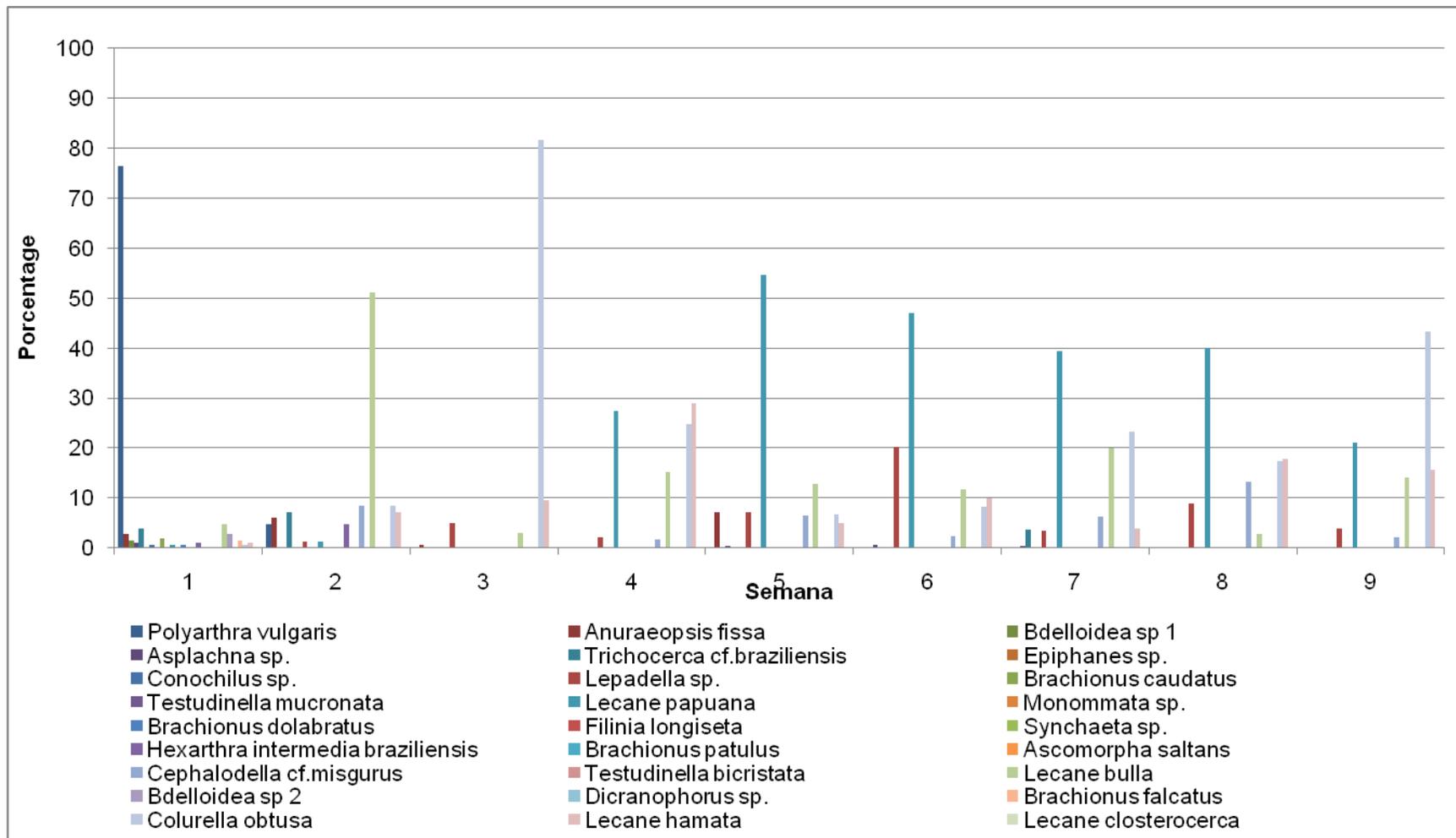
### 8.2.3 Mezclas

En general, para todas las mezclas de concentraciones se da la aparición de la especie *Polyarthra vulgaris* en la 1 semana, corroborando una vez mas que es la especie predominante al inicio del montaje, variando de manera paulatina su desaparición en las diferentes mezclas realizadas, siendo para las mezclas 1 (P(0,2) + N (0,5)) y mezcla 2 (P(0,5) + N (2)) la semana 3 la de su desaparición, para las mezclas 3 (P (1) + N (5)) y mezcla 5 (P (5) + N (20)), la semana 4 y para la mezcla 4 (P (4) + N (10)) la semana 2. Nuevamente se dieron apariciones de especies como *Lecane bulla*, *Lecane papuana*, *Lecane hamata* y *Colurella obtusa* para todas las mezclas en la semana 2 solo evidenciando un cambio para la mezcla 5 que también presento la aparición de la especie *Lepadella* sp. en la misma semana.

Por último y en cuanto a la abundancia de dichas especies, se puede observar que se presenta de manera diferente para cada mezcla teniendo para las mezclas 1 y 5 a *Lecane papuana* la de mayor abundancia con un 89,69% en la 5 semana y 50% en la octava, respectivamente (**Figura 14 y 17**); para la mezcla 2 *Colurella obtusa* con un 81,61% en la semana 3 (**Figura 15**); para la mezcla 3 *Lecane hamata* con un 73,73% en la semana 5 (**Figura 16**) y para la mezcla 5 *Lecane bulla* con 54% en la semana 5 (**Figura 18**).



**Figura 14.** Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Mezcla 1.



**Figura 15.** Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Mezcla 2.

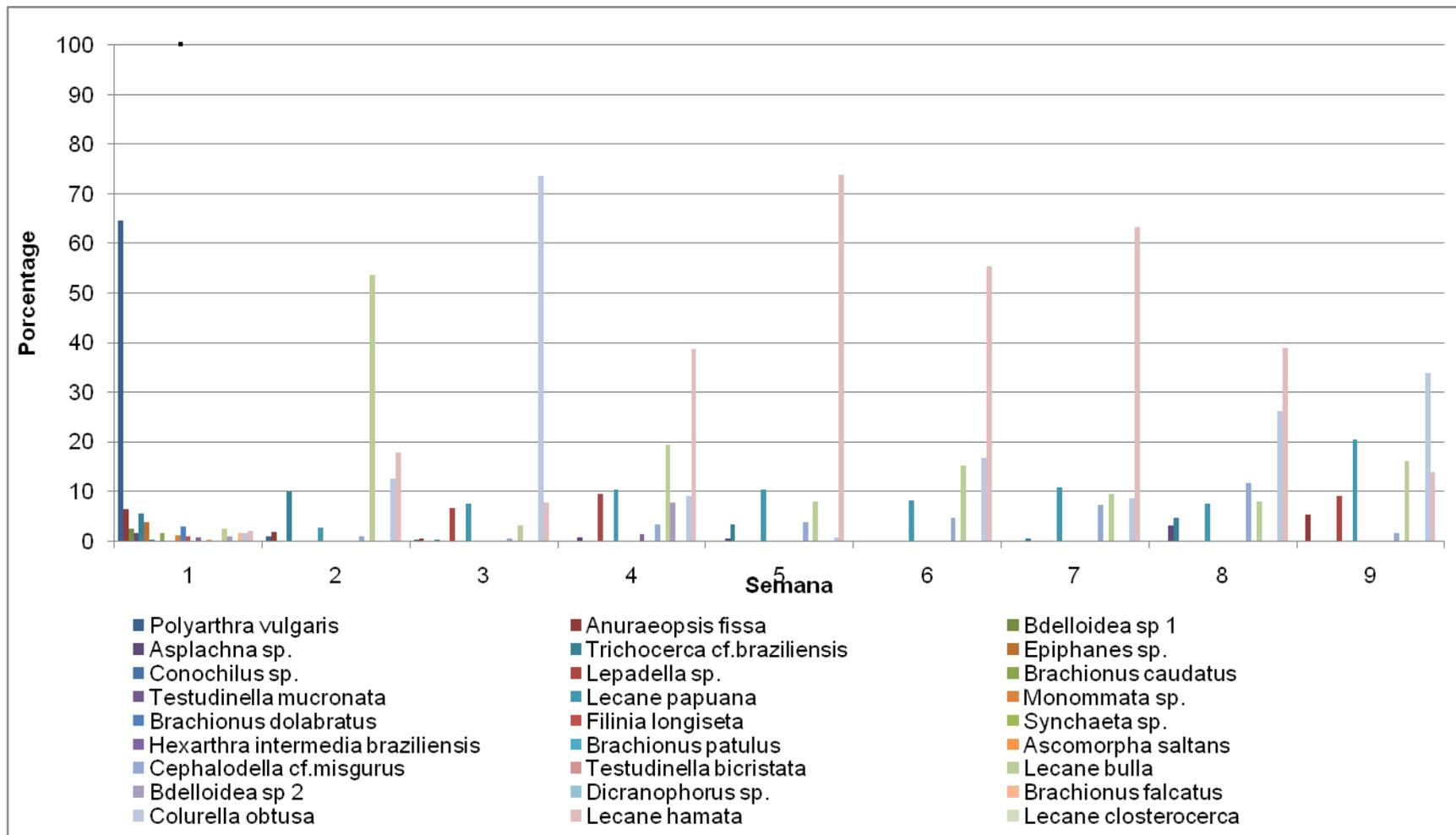
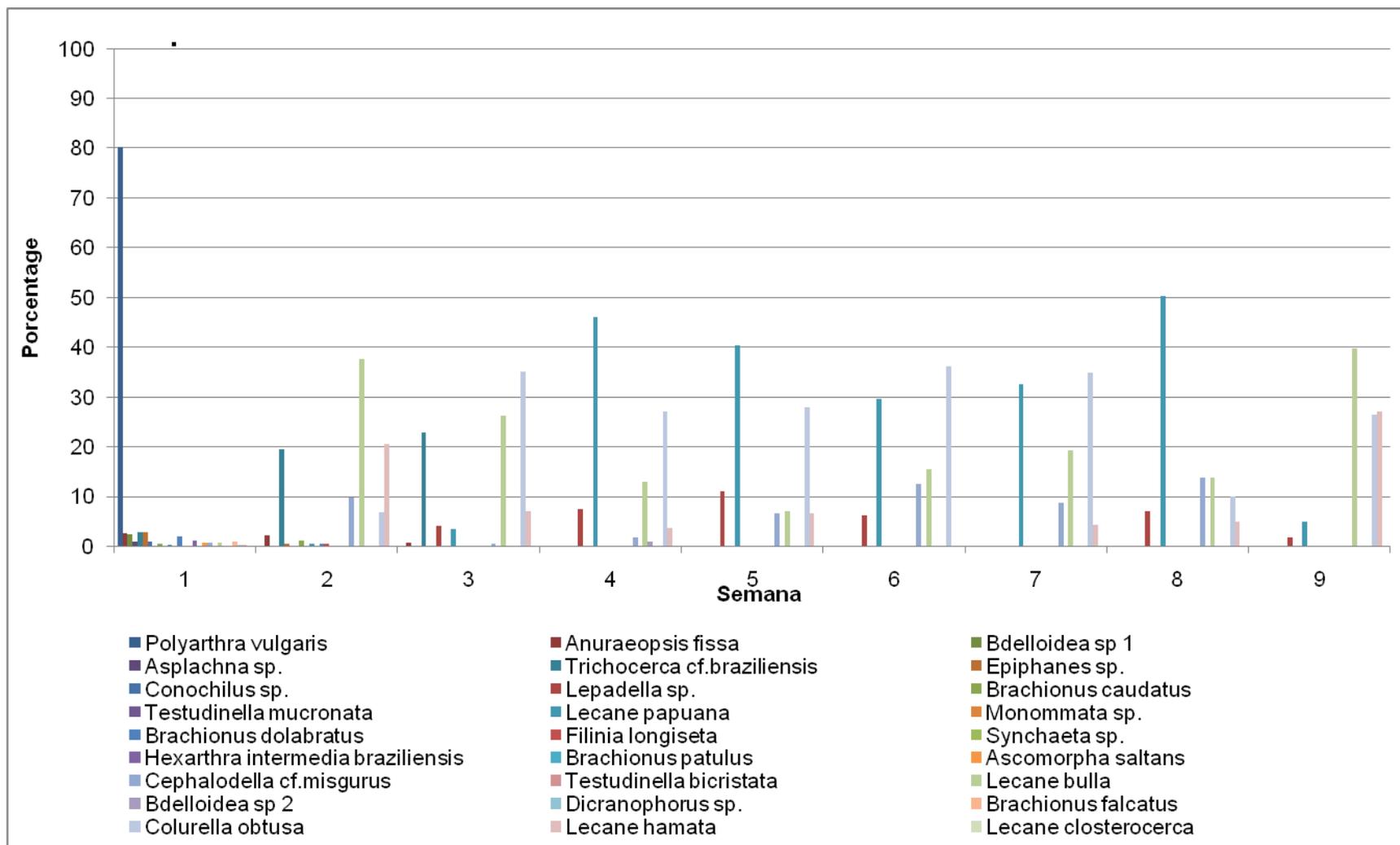
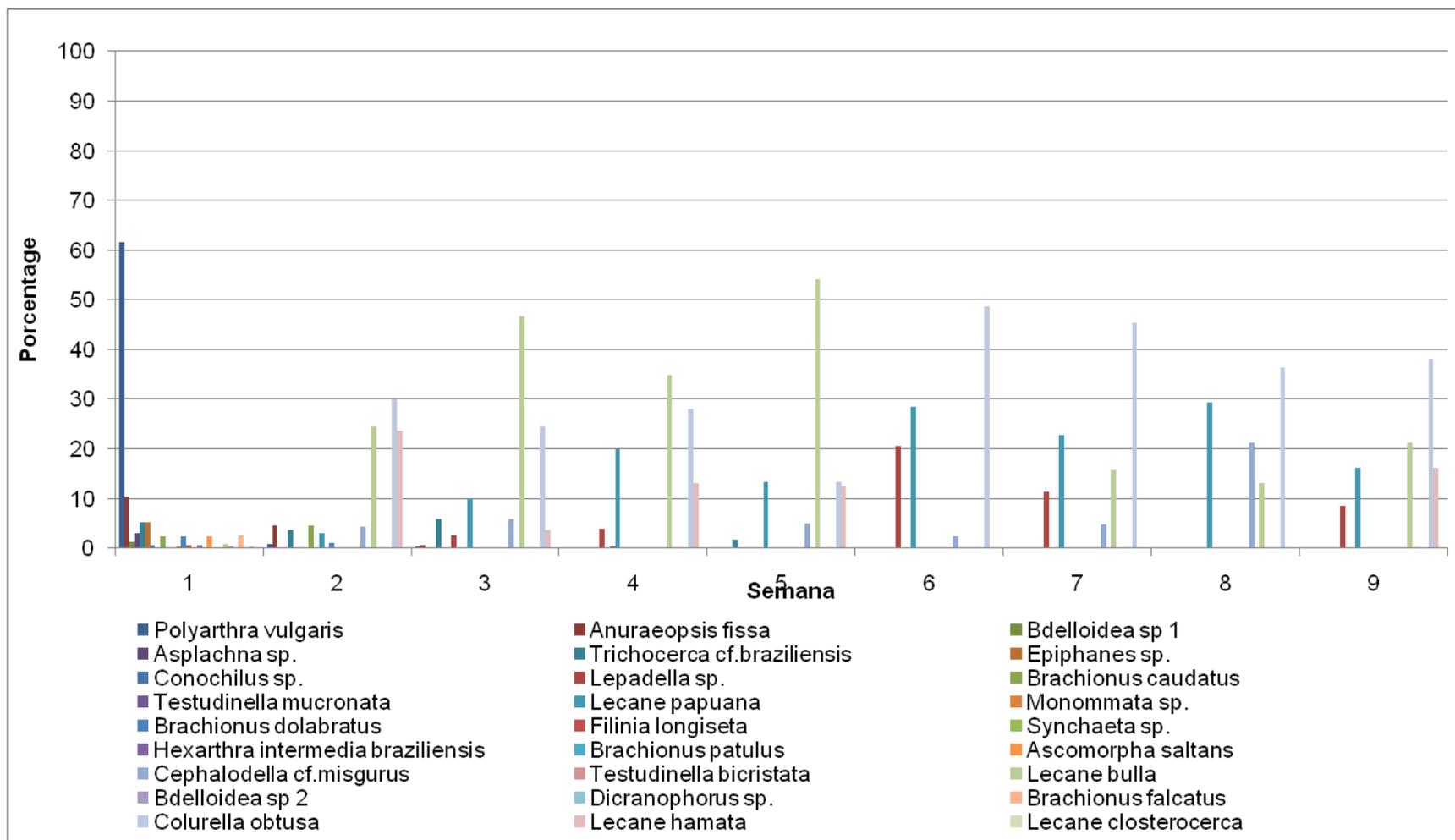


Figura 16. Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Mezcla 3.



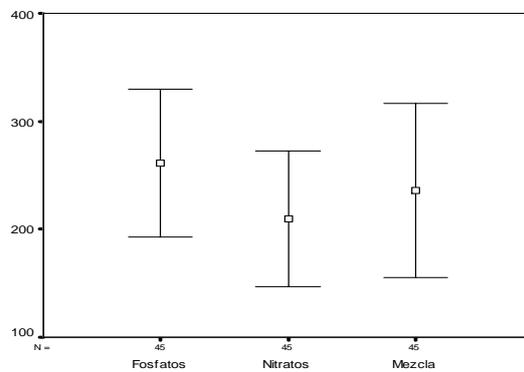
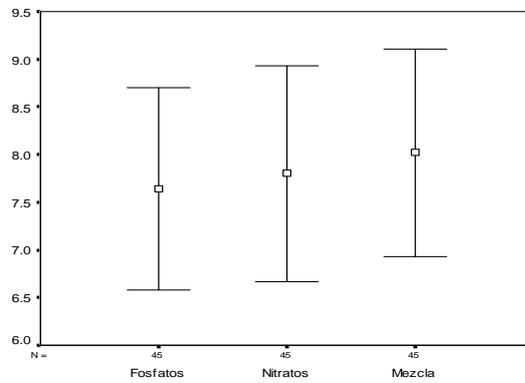
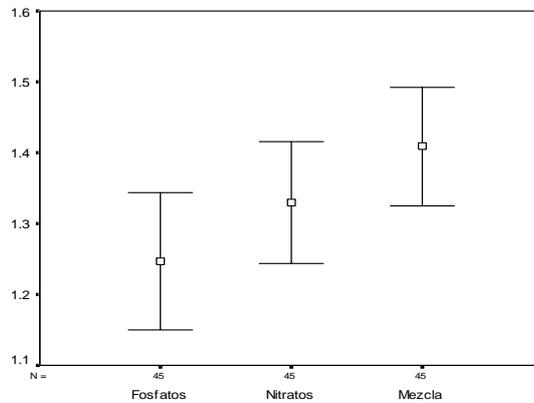
**Figura 17.** Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Mezcla 4.



**Figura 18.** Variación de la abundancia relativa de especies de rotíferos en una concentración de Mezcla 5.

### 8.3 Comparaciones entre concentraciones y tratamientos

Al Comparar la densidad, riqueza e índice de Shannon entre concentraciones para cada tratamiento usando un test de KRUSKAL – WALLIS, no se hallaron diferencias significativas. Al hacer lo mismo pero comparando entre tratamientos, solo se halló diferencia para el caso del índice de Shannon, siendo mayor en las mezclas que en los fosfatos ( $U= 642,5$ ;  $p< 0, 01$ ) en el índice de Shannon. (Figura 19).

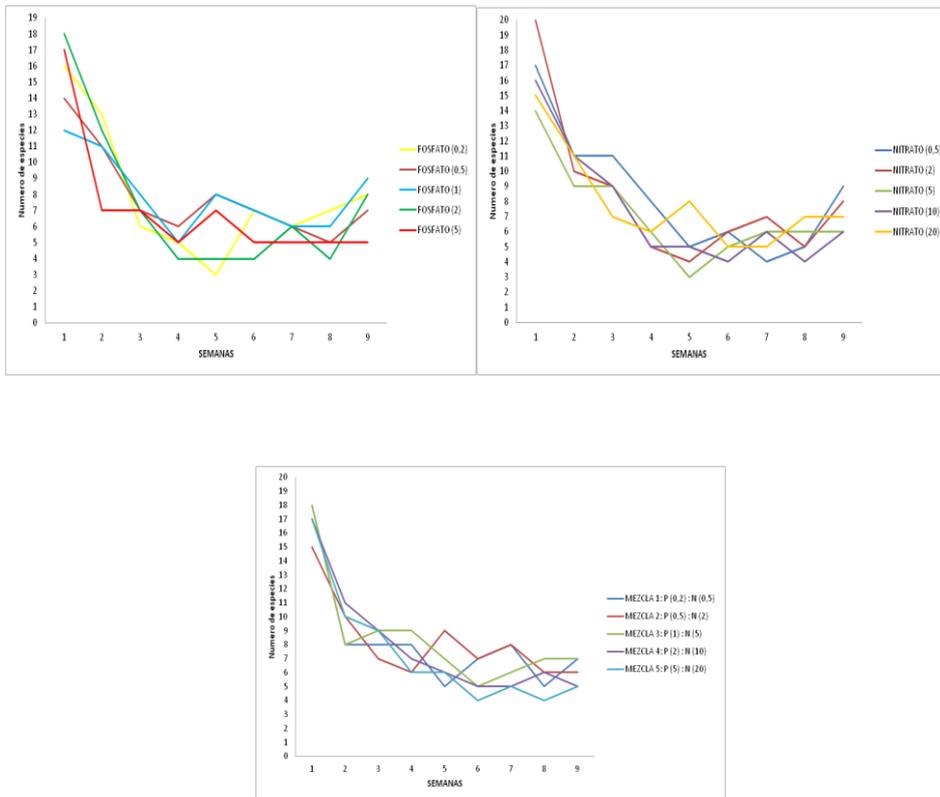


**Figura 19.** Comparación de la riqueza, abundancia e índice de Shannon para los tres tipos de tratamientos implementados. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza del 95%.

#### 8.4. Tendencia de las especies a lo largo del tiempo en los diferentes tratamientos

La tendencia en general de la riqueza en los tratamientos fue una reducción progresiva de especies en todas las concentraciones hasta la semana número 4 en el caso de los fosfatos y 5 en el caso de nitratos y mezclas. Para la semana número 6 hubo una estabilización de la riqueza con un promedio de 5 especies para las concentraciones de nitratos y de 6 para las concentraciones de fosfatos y mezclas, para después presentar una leve recuperación en número de especies en los fosfatos y nitratos. Cabe resaltar aquí, que las mezclas no presentaron dicha recuperación.

El impacto generado en estos tratamientos se vio reflejado en las concentraciones 0,2 de fosfatos en donde se redujo el número de especies hasta un promedio de 3 en la semana 5, en la concentración nitratos 5 en donde se redujo a un promedio de 3 en la semana 5 y en la mezcla 5 en donde se a un promedio de 4 en las semanas 6 y 8. **Figura 20.**

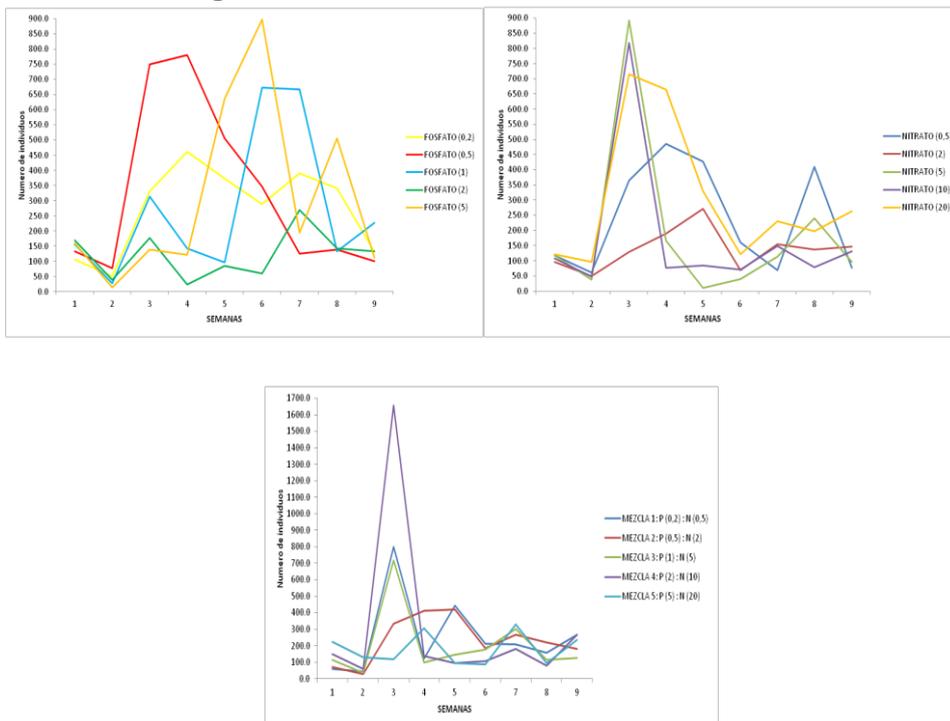


**Figura 20.** Variación de la riqueza a lo largo del tiempo para cada tratamiento

La tendencia general en la abundancia en los tratamientos fue un aumento en el número de rotíferos en todas las concentraciones a partir de la segunda

semana incluyendo a las mezclas aunque no fue tan marcado en estas. Para el caso de los fosfatos, este aumento se presento en mayor cantidad en la concentración fosfatos 5 con 14 individuos; para el caso de los nitratos, este aumento no es tan marcado ya que la menor abundancia la presento la concentración nitratos 5 con aproximadamente 38 individuos hacia la semana numero 5. Para la semana 3 se evidencio una fluctuación variable entre concentraciones en los tratamientos estando marcada para los fosfatos hasta la semana 8 en donde hubo un aumento de individuos en la concentración fosfatos 5 con 56 individuos y un detrimento en la concentración fosfatos 2 con solo 54 individuos.

Para el caso de los nitratos se dio un aumento en la abundancia en la mayoría de las concentraciones a excepción de la concentración nitratos 2. Para las mezcla se vuelve a dar el hecho de una reducción en la abundancia no tan marcada, presentando así la menor reducción para el tratamiento mezcla 2 con 28 individuos aproximadamente, esto en la semana 2. Para la semana 3, hay un incremento notorio en la abundancia en la mayoría de las concentraciones en especial en la mezcla número 4 con aproximadamente cerca de 1600 individuos y el mayor detrimento en la abundancia se da para la semana 4 con fluctuaciones hasta la semana 8. En general para la semana 9, el comportamiento de los tratamientos es a volver a su estado inicial de abundancia. **Figura 21.**

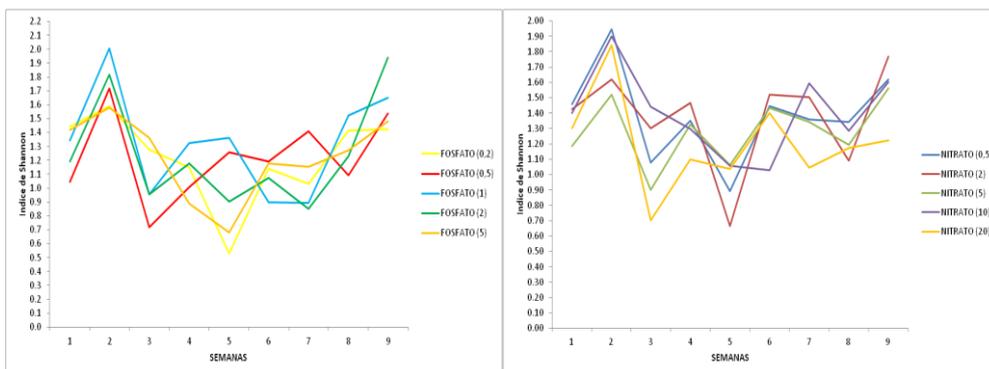


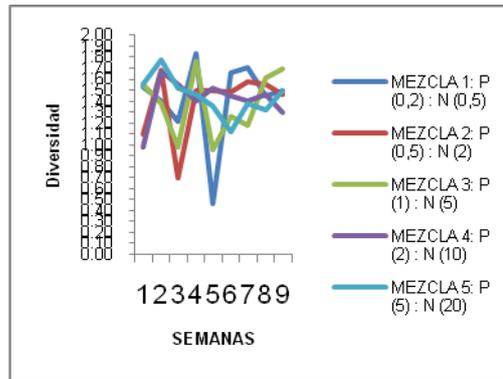
**Figura 21.** Variación en la abundancia a lo largo del tiempo para cada tratamiento.

La tendencia general en cuanto a la diversidad fue el aumento en la diversidad en todas las concentraciones para la semana 2 para todos los tratamientos esto debido aparentemente a la reducción poblacional de la especie dominante en la semana 1, *Polyarthra vulgaris*. Para la semana 3, se presentó una caída total en la diversidad tanto para fosfatos como para nitratos, siendo menos marcada esta tendencia para las mezclas, debido esto al aumento poblacional de otras especies. Para la semana 5, se presentó la mayor reducción en la diversidad de especies; en el caso de los fosfatos, la mayor reducción de la diversidad se presentó para la concentración fosfatos 5 con un índice de Shannon de 0,5 en Shannon, para los nitratos, la mayor reducción de especies se presentó para la concentración nitratos 5 con un índice de Shannon de 0,67 y para las mezclas el caso fue para la concentración mezcla 1 con un índice de Shannon de 0,46.

En las semanas 5, 6 7 y 8, la diversidad se estabiliza en general para todos los tratamientos a excepción de las mezclas en donde la estabilización se da en la semana 6. Finalmente para la semana 9 se presenta el caso de un aumento en la diversidad debido a que a pesar de la disminución de la riqueza de especies, el tamaño poblacional se redujo y tiende a ser similar.

En términos generales parece ser que el comportamiento de la comunidad fue muy similar, tanto en el tipo de nutriente, ya fueran Fosfatos, Nitratos, Mezclas, como en las 5 concentraciones en las que estas se presentaban. Parece ser que todos los tipos de concentración tuvieron el mismo impacto significativo en la comunidad, en las primeras semanas del estudio. Sin embargo el comportamiento de la comunidad a partir de ese impacto parece haber dependido más de los organismos que estuvieron en el mesocosmos desde el inicio del tratamiento, que de las concentraciones o tipo de nutriente que tenían los mesocosmos. Es decir, que el comportamiento después del impacto fue condicionado más por el estado inicial de la comunidad y por la desaparición, supervivencia y dominancia de determinadas especies, que por la concentración de los nutrientes en sí. **Figura 22.**





**Figura 22.** Variación en la diversidad a lo largo del tiempo para cada tratamiento

## 9. DISCUSION

### 9.1 Estimación del enriquecimiento con nitratos y fosfatos

En el principio del montaje hubo una significativa aparición de *P. vulgaris* especie que muestra una relación positiva con la cantidad de clorofila A en un sistema acuático, lo que indica su dependencia nutricional con los pequeños organismos fotosintéticos (Devetter y Sed'a 2003). En algunos casos, sobre todo durante las inestables condiciones hidrológicas, *P. vulgaris* y otras especies de rotíferos, son los herbívoros dominantes acuáticos y responsables de la mayoría de las transacciones de carbono en la cadena trófica planctónica (Keckeis *et al.*, 2003).

Esta especie es con frecuencia dominante en el Lago Yahuaraca bajo condiciones de moderados a escasos nutrientes, condición que fue variando con el pasar del tiempo, dándose además una disminución en la concentración de oxígeno de los contenedores de los tratamientos (Flórez 2010), aparentemente por el hecho de que estos no tenían un desfogue y no había un intercambio constante de gases ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ) entre el interior de los contenedores y el exterior, lo que es un efecto estresante que se dio en todos los tratamientos y podría explicar que no hubiesen diferencias importantes entre ellos.

Los cambios temporales se deben a que las especies fitoplanctónicas como las zooplanctónicas presentaran diferentes capacidades de competencia para diferentes concentraciones de nutrientes (Curvin-Aralar *et al.* 2004, Frangópulos *et al.* 2004 ) y estos fueron incrementando en los recipientes a medida que pasaba el tiempo favoreciendo en el fitoplancton a especies típicas de condiciones eutróficas como las cianofíceas, como lo presentado por Molina (1992), en donde indico que existían géneros dominantes en su trabajo como *Merismopedia* respecto a las cianofitas en cuanto a fertilización de lagos y estanqueras, Dimitrov (1987), con fertilización mineral y orgánica reportando dos especies de cianofitas; en el zooplancton a las más frecuentes en zonas litorales con acumulación de materia orgánica y que a veces tienen periodos de déficit de oxígeno, como los rotíferos de la familia Lecanidae (Andrade2011).

En un hábitat natural con pocos nutrientes a ser al ser incrementada levemente su concentración, cambiala composición inicial de especies aumentando la diversidad, por esto en algunos casos hacia el segundo o tercer muestreo aumento levemente la riqueza por el desarrollo de estructuras de resistencia que estaban en el agua del lago o el aumento la densidad de especies muy raras al inicio. La tendencia generalizada sin embargo, fue a la disminución en

la riqueza desde el inicio hacia el final del estudio, lo que contrasta con lo usual, ya que en un ambiente que es pobre en nutrientes, cuando se da un aumento en los aportes de ellos se espera que se produzca un incremento en la diversidad de especies, aunque los experimentos a menudo muestran una reducción de la diversidad después de un enriquecimiento experimental, posiblemente debido a la limitación de la dispersión (Cottingham y Carpenter, 1998; Dodson et al 2000).

Los factores ambientales distintos de los nutrientes (por ejemplo calcio: Pinel-Alloul et al., 1995) pueden ser también determinantes importantes de la composición de la comunidad zooplanctónica, haciendo que algunos colonos no tengan éxito incluso cuando los niveles de nutrientes son alterados, sin embargo estas variables no fueron analizadas en presente estudio.

En cuanto al efecto que las cyanofitas causan sobre las poblaciones de zooplancton, se puede mencionar que este tipo de fitoplancton suele producir una amplia serie de metabolitos secundarios entre los cuales se encuentran las hepatotoxinas, neurotoxinas y las citotoxinas. El estudio de estas toxinas ha mostrado que provocan una serie de problemas de índole crónico en animales, incluso llegando a la muerte (Francis, 1878; Odriozola et al., 1984; Cook et al., 1989; García de Emiliani & Emiliani, 1997 y Carmichael & Falconer, 1993), generando en muchas oportunidades, el deterioro de limnopodos que sirven de fuente de agua potable o para uso recreativo (Carmichael, 1989; Codd, 1995: 1999 y Falconer, 1993).

Las comunidades planctónicas responden a la eutroficación con una baja en la biodiversidad y en muchas ocasiones con el predominio de algas verde-azules y el consecuente desarrollo de floraciones. La presencia de Cianobacterias tóxicas ha sido reportada en al menos 44 países (Carmichael & Falconer, 1993; Chorus y Bartram, 1999 y Codd, 1995).

## 10. CONCLUSIONES

- El efecto del enriquecimiento con nitratos y fosfatos en las poblaciones de rotíferos fue el aumento en la densidad de las especies más resistentes a condiciones de escasas de oxígeno y al incremento en la abundancia de cianofíceas, usualmente poco palatables o tóxicas, y la disminución de algas de pequeño tamaño que suelen ser una oferta alimenticia más adecuada. A su vez, la disminución en la densidad de especies típicas del lago y que no se adaptaron de forma eficaz a dichas condiciones, especialmente las fitófagas.
- Los principales cambios se dieron a pocas semanas de iniciado el tratamiento, desapareciendo o disminuyendo las dominantes en condiciones naturales y aumentando un grupo relativamente similar en especies a pesar del tratamiento que se aplicara, lo que se relaciona probablemente con la ausencia de un intercambio constante de gases ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ) entre el interior de los contenedores y el exterior, lo que es un efecto estresante común a todos los ensayos.
- A lo largo del trabajo realizado se pudo observar que solo pocas especies sobrevivieron a las condiciones reinantes de adición de nutrientes y falta de oxígeno y con el pasar del tiempo esta tendencia se vio marcada por la presencia de pocas especies, poca diversidad y mayor abundancia de estas. Especialmente de especies de *Lecane* usualmente típicas de zonas litorales con abundante material orgánico, del que se alimentan, y estrés por fluctuaciones de oxígeno día – noche.

## 11. RECOMENDACIONES

- Instalar en los mesocosmos un aditamento que le permita a estos sistemas artificiales tener un intercambio de oxígeno y dióxido de carbono directo con el medio externo, como sucede al menos en las capas superficiales del lago o como resultado de las mezclas.
- Realizar los muestreos con periodos de tiempo más cercanos entre sí para poder llevar un control más estricto en los ciclos de vida y posibles cambios de los rotíferos.

## 12. BIBLIOGRAFIA

- ALVARADO C. F., 1998. Respuesta de la Comunidad fitoplanctónica del Lago Yahuaraca (Amazonia Colombiana) al enriquecimiento con Nitrógeno y Fósforo en incubaciones *in vitro*. Tesis de Pregrado. Biología. Universidad Nacional de Colombia.
- ANDRADE-SOSSA, C. 2001. Efectos de la fluctuación del nivel del agua sobre la estructura de la comunidad de rotíferos planctónicos en el lago Yahuaraca (Río Amazonas – Colombia). Tesis M.Sc. Universidad de los Andes. Bogotá.
- ANDRADE-SOSSA, C., GARCÍA-FOLLECO M., RODRÍGUEZ - MUNAR C. DUQUE S. R. & REALPE, E. 2011. Efectos de la fluctuación del nivel del agua sobre la estructura del ensamblaje de rotíferos en el lago largo (sistema Yahuaraca - llanura de inundación del río Amazonas - Colombia). *Caldasia* 33(2):407-425.
- ARBELÁEZ, E. F. 2000. Estudio de la Ecología de los peces en un caño de aguas negras amazónicas en los alrededores de Leticia (Amazonia Colombiana). Tesis de pregrado. Biología. Universidad Nacional de Colombia.
- BRETT, M.T., MÜLLER-NAVARRA, D.C. & PARK, S. 2000. Empirical analyses of the effect of phosphorus limitation on algal food quality for freshwater zooplankton. *Limnology and Oceanography* 45: 1564-1575.
- CARMICHAEL, W. W. & FALCONER I.R., 1993. Diseases related to freshwater blue-green algal toxins, and control measures. In Falconer I.R. (Ed) *Algal toxins in seafood and drinking water*: 187-209. Academic Press.
- CHORUS I. & BARTRAM J., 1999. *The Cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management*. E & FN Spon. London.
- CONDE – PORCUNA, J. M., et al., 2002. Desarrollo de las poblaciones zooplanctónicas y limitación de nutrientes
- CONDE-PORCUNA, J.M., RAMOS-RODRÍGUEZ E. & MORALES-BAQUERO R. 2007. El zooplancton como integrante de la estructura

trófica de los ecosistemas lenticos. [www.revistaecosistemas.net](http://www.revistaecosistemas.net). Consulta abril de 2007.

- COOD, G. A., 1994. Blue-green algal toxins: water-borne hazard to health. In Golding, A.M.B.; Noah N. and Stanwell – Smith (Eds.) *Water and public health*. 16: 271-278.
- COOD, G. A., 1995. Cyanobacterial toxins: occurrence, properties and biological significance. *Wat. Sci. Tech.* 32: 149-156.
- COOK, W. O., BEASLY V.R., NOVELL R.A., DAHLEM A. M., HOOSER S. B., MAHMOOD N. A. & CARMICHAEL W. W., 1989. Consistent inhibition of peripheral cholinesterase by neurotoxins from the freshwater cyanobacterium *Anabaena flos-aquae*: studies of ducks, swine, mice and steer. *Environmental Toxicology and Chemistry* 8: 915-922.
- CUPITRA, O. 2011. Influencia del pulso de inundación y la conectividad, en el sistema de lagos Yahuaraca. Leticia- Amazonas. Trabajo de grado de Biología. Universidad del Cauca, Popayán.
- DIMITROV, M., 1987. Intensive polyculture of common carp, *Cyprinus carpio* L., silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Val) and black buffalo, *Ictiobus niger* (Raf.). *Aquaculture* 65: 119-125.
- DODSON, S.I., ARBOTT, S.E. & COTTINGHAM, K.L. 2000. The relationship in lake communities between primary productivity and species richness. *Ecology* 81: 2662-2679.
- DUQUE, S. R. 1993. Inventario, caracterización y lineamientos para la conservación de los humedales en el Departamento del Amazonas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- ECHENIQUE, R. O., 1999. Cyanophyta toxicas, antecedentes y estudios actuales en la Republica Argentina. *Notas Botánicas de la Soc. Arg. Bot.* 25: 3-7.
- ESTEVES, F. (1988). *Fundamentos de limnología*. Ed 20 Río de Janeiro: Editora Interciencia Ltda, 1988.
- FALCONER, I. R & Humpage A.R., 1996. Tumour promotion by cyanobacterial toxins. *Phycologia* 35: 74-79.

- FRANCIS, G., 1878. Poisons Australian Like. Editor Nature 444: 11 – 12
- FRANGÓPULOS M., C. GUISANDE, E. DEBLAS & I. MANEIRO. 2004, Toxin production and competitive abilities under phosphorus limitation of *Alexandrium* species, *Harmful Algae* 3:131–139.
- GARCÍA DE EMILIANI M. O. & EMILIANI F. 1997. Mortandad de ganado y aves silvestres asociada con una floración de *Anabaena spiroides* Kleb. *Natura Neotropicalis* 28: 150-157.
- HAIRSTON, N.G., Jr. 1996. Zooplankton egg banks as biotic reservoirs in changing environments. *Limnology and Oceanography* 41: 1087-1092.
- HUNT, R & MATVEER, V. 2005. The effects of nutrients and zooplankton community structure on phytoplankton growth in a subtropical Australian reservoir: An enclosure study. *EL SEVIER. Rev. Limnológica*, 5. 90-101.
- HUTCHINSON, B.P. 1967. *A Treatise on Limnology*. Vol. II. *Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton*. John Wiley & Sons, New York, Estados Unidos.
- JEPPESEN E., JENSEN J., SONDERGAARD M., LAURIDSEN T. & LANDKILDEHUS F. 2000. Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Rev. Freshwater Biology*. 45, 201-218.
- KLUN J. L. 2002. Positive and negative effects of allochthonous dissolved organic matter and inorganic nutrients on phytoplankton growth. *Rev. Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53:85-95
- LAMMENS, E.H.R.R., GULATI, R.D., MEIJER, M.L. & VAN DONK, E. 1990. The first biomanipulation conference: a synthesis. *Hydrobiologia* 200/201: 619-627.
- MARCUS, N.H., LUTZ, R., BURNETT, W. & CABLE, P. 1994. Age, viability, and vertical distribution of zooplankton resting eggs from an anoxic basin: Evidence of an egg bank. *Limnology and Oceanography* 39: 154-158.

- MARGALEF, R. 1983. Limnología. Ed. Omega. Barcelona, España. 1009 p.
- MOLINA, A.F.I., 1992. Evaluación de las tasas de productividad primaria desarrolladas en tres estanques rústicos de producción con policultivo, sostenidos bajo fertilización orgánica realizado en la Unidad piscícola, "EL JICARERO", with different conditions of stratification. *Hydrobiologia*, 249: 93-100.
- ODRIOZOLA, E., BALLABENE, N. & SALAMANCO A., 1984. Intoxicación en ganado bovino por algas verde-azuladas . revista argentina de Microbiología 16: 219-224.
- RAMOS-RODRÍGUEZ, E. & CONDE-PORCUNA, J.M., 2003. Desarrollo de las poblaciones zooplanctónicas y limitación de nutrientes.
- RODRÍGUEZ C. M. 2003. Cambios en la estructura de la comunidad de rotíferos en el lago Yahuaraca, planicie de inundación del Rio Amazonas (Amazonia-Colombiana). Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. 65 p.
- SCHINDLER D.W. 1977. Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science* 195: 260–262.
- SIOLI, H., 1967. Studies in Amazonian waters. Atlas do simposio a biota Amazónica. 3: 9-50.
- SKINNER, R.H. & COHEN, A.C. 1994. Phosphorus nutrition and leaf age effects on sweet potato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology* 23: 693-698.
- SOMMER, U. 1989. *Plankton Ecology: Succession in Plankton Communities*. Springer - Verlag, Berlín, Alemania.
- STERNER, R.W. & HESSEN, D.O. 1994. Algal nutrient limitation and the nutrition of aquatic herbivores. *Annual Review of Ecology and Systematics* 25: 1-29.
- Taxonomía y sistemática de rotíferos. [En línea]. 2012. [Citado agosto – 2012] Disponible en internet: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Cockpit/5591/rotíferos.htm>.

- WAIDE, R.B., WILLING, M.R., STEINER, C.F., MITTELBACH, G., GOUGH, L., DODSON, S.I., JUDAY, G.P. & PARMENTER, R. 1999. The relationship between productivity and species richness. *Annual Review of Ecology and Systematics* 30: 257-300.
- ZANOTELLI, C. T. 2002. Modelagem matemática de nitrogênio e fósforo em lagoas facultativas e de aguapés para tratamento de dejetos de suínos. Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção Santa Catarina – Brasil.