EFECTOS DEL ENRIQUECIMIENTO CON NITRÓGENO Y FÓSFORO SOBRE EL METABOLISMO DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE LA CIÉNAGA DE PAJARALES Y RÍO FUNDACIÓN, CARIBE COLOMBIANO

DARIO VEGA DIAZ

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SANTA MARTA, D.T.C.H.
2002

EFECTOS DEL ENRIQUECIMIENTO CON NITRÓGENO Y FÓSFORO SOBRE EL METABOLISMO DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE LA CIÉNAGA DE PAJARALES Y RÍO FUNDACIÓN, CARIBE COLOMBIANO

DARIO VEGA DIAZ

028078

Trabajo de grado para optar el título de
Biólogo

DIRECTOR
CARLOS AUGUSTO HERNANDEZ JIMENEZ
M. Sc. Biólogo

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SANTA MARTA, D.T.C.H.
2002

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
BIBLIOT

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

Presidente de Jurado

_____

Jurado

_____

Jurado

20 de noviembre de 2002

A mis padres Manuel Esteban Vega Machado y
Evelina Isabel Díaz Nieto,
A mi hija Luz Dayana

AGRADECIMIENTOS

A Carlos Hernández Jiménez, por la orientación y opiniones acertadas en la realización de esta investigación.

A Marta Hernández Turriago por el apoyo y la colaboración brindada en la realización de esta investigación.

A mis hermanos, quienes me apoyaron en la realización de mis estudios.

A mi compañera Josefina Melendez por su apoyo y animo para culminar esta invsetigación.

A mi amigo Alex Ricardo Báez, Por su colaboración y ayuda durante la realización de los bioensayos y búsqueda de información

A Federico Fernández, por su colaboración y orientación en el tratamiento estadístico de los resultados.

A todo el grupo de profesores del programa de Biología por la orientación brindada durante toda la carrera

A los funcionarios del Centro de documentación de INVEMAR , por haber facilitado el material bibliográfico.

A Luz Adriana Velazcos, por su colaboración en la culminación del documento final.

A Jacobo Blanco por su colaboración en la revisión del abstract

A Juan Laverde Castillo por las recomendaciones dadas para realizar la presentación del documento final.

T
BB
00013
ej 1

TABLA DE CONTENIDO

		Pag
RESUMEN		1
ABSTRACT		2
1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	8
2.1.	ÁREA DE ESTUDIO	8
2.1.1.	Zona 1: Ciénaga de Pajaral	10
2.1.2.	Zona 2: Río Fundación	11
2.2.	UBICACIÓN DE ESTACIONES	13
2.3.	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	13
2.3.1.	Estimación del metabolismo	15
2.3.2.	Análisis de variables fisicoquímicas	17
2.3.3.	Análisis de variables biológicas	17
2.3.3.1.	Clorofila a y Feopigmento a	17
2.3.3.2.	Conteo e identificación del fitoplancton	18
2.4.	CÁLCULOS MATEMÁTICOS	19
2.5.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	20
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DURANTE LOS PERIODOS EN QUE SE EFECTUARON LOS BIOENSAYOS	21
3.1.1.	Variables Fisicoquímicas	21
3.1.2.	Variables Biológicas	28
3.1.2.1.	Clorofila a y Feopigmento a	28
3.1.2.2.	Conteo e identificación del Fitoplancton	29
3.1.2.2.1.	Ciénaga de Pajaral	29
3.1.2.2.2.	Río Fundación	30

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
BIBLIOTECA CENTRAL

3.2.	**RESPUESTA METABÓLICA DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA FRENTE AL ENRIQUECIMIENTO**	32
3.2.1.	**Tasa Fotosintética y respiratoria**	32
3.2.1.1.	**Bioensayos realizados en la Ciénaga de Pajaral**	32
3.2.1.2.	**Bioensayos realizados en el río Fundación**	40
4.	**CONSIDERACIONES FINALES**	47
5.	**CONCLUSIONES**	49
6.	**RECOMENDACIONES**	51
7.	**BIBLIOGRAFÍA**	52
ANEXOS		

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

LISTA DE TABLAS

Pag

Tabla 1. Tratamientos aplicados en cada una de las botellas para valorar la tasa fotosintética y respiratoria. 16

Tabla 2. Concentración de Clorofila a y Feopigmento a obtenidas en cada una de las zonas donde se realizaron los bioensayos. 29

Tabla 3. Concentración de nutrientes obtenidas después de la incubación del primer bioensayo realizado en la Ciénaga Pajaral. 35

Tabla 4. Concentración de nutrientes obtenidas después de la incubación del segundo bioensayo realizado en la Ciénaga Pajaral. 39

Tabla 5. Concentración de nutrientes obtenidas después de la incubación del primer bioensayo realizado en el río Fundación. 42

Tabla 6. Concentración de nutrientes obtenidas después de la incubación del segundo bioensayo realizado en el río Fundación. 45

LISTA DE FIGURAS

Pag

Figura 1. Localización de la estación de muestreo en la Ciénaga Pajaral. 10

Figura 2. Localización de la estación de muestreo en el río Fundación, Santuario de fauna y Flora. 12

Figura 3. Esquema metodológico de recolección (A) y tratamiento (B) de las muestras de agua en cada uno de los bioensayos. 14

Figura 4. Valores de precipitación estación ubicada en el municipio de Fundación. Tomado del IDEAM, 2000. 22

Figura 5. Valores mensuales de temperatura de la columna de agua, tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena. 23

Figura 6. Valores mensuales de Salinidad de la columna de agua, tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena. 23

Figura 7. Valores mensuales de disco Secchi, tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena. 24

Figura 8. Valores mensuales de concentración (mg/L) de NH_4^+,NO_2^-,NO_3^{2-} y PO_4^{3-} ,de la columna de agua en la Ciénaga de Pajaral. Tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena. 26

Figura 9. Valores mensuales de concentración (mg/L) de NH_4^+,NO_2^-,NO_3^{2-} y PO_4^{3-}, de la columna de agua en el río Fundación. Tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena. 26

Figura 10. Relación N:P en la Ciénaga de Pajaral datos tomados del proyecto "Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena". 27

Figura 11. Relación N:P en el río Fundación datos tomados del proyecto "Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena". 27

Figura 12. Dominancia relativa de los grupos fitoplanctónicos encontrados en los cuatro bioensayos. 31

Figura 13. Dendrograma de similaridad de Bray-Curtis entre los bioensayos. 32

Figura 14. Variación de la tasa Fotosintética media entre tratamientos en el primer bioensayo, realizado en la Ciénaga de Pajaral. 34

Figura 15. Variación de la tasa Respiratoria media entre tratamientos en el primer bioensayo, realizado en la Ciénaga de Pajaral. 34

Figura 16. Relación N:P en cada uno de los tratamientos al final del primer bioensayo realizado en la Ciénaga Pajaral. 36

Figura 17 Variación de la tasa Fotosintética media entre tratamientos en el segundo bioensayo, realizado en la Ciénaga de Pajaral. 37

Figura 18. Variación de la tasa Respiratoria media entre tratamientos en el segundo bioensayo, realizado en la Ciénaga de Pajaral. 37

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
BIBLIOTECA CENTRAL

Figura 19. Relación N:P en cada uno de los tratamientos al final del segundo bioensayo realizado en la Ciénaga Pajaral. 39

Figura 20. Variación de la tasa Fotosintética media entre tratamientos en el primer bioensayo, realizado en el río Fundación. 41

Figura 21. Variación de la tasa Respiratoria media entre tratamientos en el primer bioensayo, realizado en río Fundación. 41

Figura 22. Relación N:P en cada uno de los tratamientos al final del primer bioensayo en el río Fundación. 42

Figura 23. Variación de la tasa Fotosintética media entre tratamientos en el segundo bioensayo, realizado en el río Fundación. 44

Figura 24. Variación de la tasa Respiratoria media entre tratamientos en el segundo bioensayo, realizado en el río Fundación. 44

Figura 25. Relación N:P en cada uno de los tratamientos al final del segundo bioensayo en el río Fundación. 45

LISTA DE ANEXOS

Tabla 7. Variables fisicoquímicas de la columna de agua, tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del Río Magdalena.

Tabla 8. Concentración de nutrientes de la columna de agua, tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del Río Magdalena.

Tabla 9. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa fotosintética calculada en el primer bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla 10. Prueba de comparación múltiple para la tasa fotosintética por tratamientos en el primer bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla 11. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa respiratoria calculada en el primer bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla 12. Prueba de comparación múltiple para la tasa respiratoria por tratamientos en el primer bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla 13. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa fotosintética calculada en el segundo bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla 14. Prueba de comparación múltiple para la tasa fotosintética por tratamientos en el segundo bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla 15. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa respiratoria calculada en el segundo bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla 16. Prueba de comparación múltiple para la tasa respiratoria por tratamientos en el segundo bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla 17. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa fotosintética calculada en el primer bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla 18. Prueba de comparación múltiple para la tasa fotosintética por tratamientos en el primer bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla 19. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobres la tasa respiratoria calculada en el primer bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla 20. Prueba de comparación múltiple para la tasa respiratoria por tratamientos en el primer bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla 21. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa fotosintética calculada en el segundo bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla 22. Prueba de comparación múltiple para la tasa fotosintética por tratamientos en el segundo bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla 23. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa respiratoria calculada en el segundo bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla 24. Prueba de comparación múltiple para la tasa respiratoria por tratamientos en el segundo bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla 25. Abundancia fitoplanctónica obtenidas en cada uno de los bioensayos.

Tabla 26. Ubicación taxonómica del fitoplancton encontrado en las muestras de agua utilizadas para la realización de los bioensayos.

RESUMEN

En los meses de agosto y septiembre del 2000, se realizaron en la Ciénaga de Pajaral y el río Fundación cuatro bioensayos con el propósito de valorar los efectos que sobre la tasa fotosintética y respiratoria de las comunidades fitoplanctónicas tiene el enriquecimiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Los bioensayos se realizaron adicionando a muestras de agua natural concentraciones de 0,5 mg/l y 2,0 mg/l de nitrógeno (amonio + nitrato), fósforo (ortofosfato) y la combinación de estos en una relación 16:1. Para valorar este efecto se utilizó el método de variación de oxígeno (botellas claras y oscuras) implementado por Gaarden y Gran (1927). Se valoraron las concentraciones inicial y final de los nutrientes, la tasa de producción y consumo de oxígeno y la estructura de la comunidad fitoplanctónica presente en cada uno de los bioensayos. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores encontrados en la valoración de la tasa fotosintética y respiratoria de la comunidad fitoplanctónica sin adicionar nutrientes (control), sometiendo los resultados a un análisis de varianza de una vía. La comunidad del fitoplancton de las dos zonas (Ciénaga de Pajaral y río Fundación) donde se realizaron los bioensayos eran diferentes así como las características físicas y químicas de las aguas; en la Ciénaga de Pajaral es alta la densidad de fitoplancton, abundan las cianófitas, diatomeas, clorófitas y euglenófitas. En el río Fundación a la altura de la desembocadura de Caño Jobo la densidad de fitoplancton es baja, predominan formas flageladas, sus aguas son de color pardo doradas, con un alto contenido de materia orgánica disuelta. La tasa fotosintética de la comunidad fitoplanctónica aumentó en mayor proporción con respecto al control y los demás tratamientos, en ambas zonas cuando se adicionó ortofosfato en una concentración de 0,5 mg/l; cuando se adicionó nutrientes en concentración de 2,0 mg/l la tasa fotosintética disminuyó. La tasa respiratoria no tuvo un patrón de respuesta definido a la adición de nutrientes en la Ciénaga de Pajaral; en el río Fundación los resultados no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos y el control.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
BIBLIOTECA CENTRAL

ABSTRACT

In order to assess the effect of the nutrient enrichment (nitrogen and phosphorus) on the photosynthetic rate in the phytoplankton community, four bioassays were carried out in Ciénaga de Pajaral and Fundación river on August and September, 2000. The bioassays were performed adding 0,5 mg/l and 2,0 mg/l concentrations on nitrogen (ammonia + nitrate), phosphorus (orthophosphate)and their combination in a 16:1 ratio to natural water samples. The oxygen variation method (clear and dark bottles) was used to evaluate this effect. For every assays, initial and final nutrient concentration, production rate, oxygen consumption and occurring phytoplanktonic community were evaluated. Results were compared with those values found when estimating photosynthetic and respiration rate in the phytoplanktonic community without nutrient addition (control), using a one way ANOVA. Phytoplanktonic community in both areas (Ciénaga de Pajaral and Fundación river) where bioassays took pace were different, also the physical and chemical features in their waters; phytoplankton density was high, cyanophytes, diatoms, chlorophytes and euglenophytes were abundant in Ciénaga de Pajaral. Phytoplankton density in the Fundación river near Caño Jobo was low, predominating those flagellate forms, water were golden brown in color with a high content of dissolved organic matter. The photosynthetic ratein the phytoplanktonic community in both areas increased to a higher extent than in the control and the other treatments when orthophosphate (0,5 mg/L) was added. The photosynthetic rate dropped when nutrients up to 2,0 mg/l concentration were added. The respiration rate for Ciénaga de Pajaral showed an undefined response pattern with the addition of nutrients; whilst in Fundación river the outcomes showed no significant differences between treatments and control.

1. INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras y los estuarios son ecosistemas privilegiados para el desarrollo de poblaciones densas de fitoplancton por que presentan una buena cantidad de nutrientes inorgánicos y energías de subsidio que determinan las condiciones favorables para que se mantengan de manera muy abundante las especies que se adaptan a esta oferta ambiental. En los cuerpos de agua tropicales someros, con fluctuaciones de nivel de agua se dan las condiciones ambientales para el buen desarrollo de los organismos acuáticos y de aquellas especies que los utilizan como recurso alimentario. Además estos ecosistemas reciben aportes de agua dulce con grandes cantidades de nutrientes y aguas salobres, tal es el caso de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) y su conexión con la Ciénaga de Pajarales (CP), en la cual se presentan condiciones muy favorables para el desarrollo de abundantes grupos fitoplanctónicos y por tanto altos valores de producción primaria (Hernández y Gocke, 1990; Rondón, 1991; Hernández *et al.,* 2001).

Con el propósito de evaluar como es afectada la comunidad fitoplanctónica cuando entran a los sistemas anteriormente mencionados, concentraciones altas de nutrientes que pueda estar generada por el vertimiento de aguas de consumo doméstico, agroindustriales y en especial de detergentes sintéticos organofosforados (Hernández y Márquez 1991), se realizaron cuatro bioensayos, dos en la Ciénaga de Pajaral y dos en el río Fundación a la altura de Caño Jobo; usando como indicadores las tasas fotosintética y respiratoria de la comunidad fitoplanctónica, adicionando a muestras de agua natural concentraciones conocidas de nitrógeno (en forma de amonio + nitrato) y fósforo (ortofosfato), y la combinación de estos dos nutrientes. Para valorar las tasas fotosintética y respiratoria se utilizó el método de botellas claras y oscuras implementado por Gaarden y Gran (1927).

La información obtenida en esta investigación es útil en la medida en que sirve como punto de referencia para la realización de estudios que relacionen la dinámica de la comunidad fitoplanctónica en este tipo de ecosistemas tropicales altamente subsidiados cuando aumenta la concentración de nutrientes en el agua.

Los cambios estacionales en la disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo pueden incrementar la productividad primaria, pero también alteran la estructura de la comunidad fitoplanctónica, induciendo la presencia o ausencia de determinadas especies, llegando una especie a la dominancia por exclusión de otras (Fistzgerald, 1971; Tundisi y Henry, 1986). Sin embargo, la concentración de nutrientes en al agua no provee un indicio claro de la abundancia fitoplanctónica, porque la productividad está regulada por la tasa de abastecimiento de nutrientes, no por la concentración (Rhee, 1986; Somer, 1990 En: González y Ortaz, 1998). En estas condiciones se generan grandes floraciones de microalgas, las cuales transforman considerablemente el equilibrio ecológico y la calidad de las aguas causando extensas mortandades de peces (Shilo, 1980).

Los nutrientes de mayor importancia para la producción primaria del fitoplancton son los compuestos de nitrógeno y fósforo. En especial, este último es con frecuencia un factor limitante (Margalef, 1983). Los nitratos y fosfatos se consumen con rapidez en la parte superior de los lagos durante los periodos de proliferación del fitoplancton (González, 1988). En las ciénagas someras debido a la mezcla del agua y a la interacción en la interfase sedimento - agua provee un suministro casi continuo de nutrientes hacia la columna de agua.

Entre las investigaciones realizadas para evaluar la respuesta de la comunidad fitoplanctónica a la adición de nutrientes se destacan:

- Cabecadas *et al.* (1994), realizaron estudios sobre los nutrientes como control de la productividad primaria del estuario Sado, encontrando un agotamiento de nitrógeno inorgánico en la mayor parte del estuario cuando hubo gran desarrollo fitoplanctónico, indicando esto que la productividad está limitada por el nitrógeno. Finalmente concluyeron que el estuario Sado es un sistema moderadamente productivo presentando una buena capacidad de asimilación.

- Beaty y Parker (1996), estimaron la respuesta de la productividad primaria fitoplanctónica frente al enriquecimiento de nutrientes en el Lago Mountain, Virginia; concluyendo que la productividad primaria aumenta cuando se incrementa la concentración de nutrientes.

- Bais *et al.* (1997), estudiaron los cambios estacionales de la productividad del fitoplancton debido al enriquecimiento artificial de nutrientes en los lagos Military Engineering y Sagar (India), experimento realizado "in situ", en el cual la respuesta de la comunidad fitoplanctónica no fue muy marcada; sin embargo, la *prueba t* indicó diferencias significativas en la productividad entre los lagos. En ambos lagos la adición de nutrientes en forma combinada fue más efectiva en el incremento de la productividad casi todo el tiempo.

- Levine *et al.* (1997), investigaron como el fósforo, el nitrógeno y el silicio controlan la biomasa y composición de especies fitoplanctónicas en el lago Champlain (USA.-Canadá); concluyeron que la interacción de factores múltiples influencia la abundancia y composición de especies fitoplanctónicas en el lago Champlain; también encontraron que en primavera el crecimiento fitoplanctónico no está limitado por nitrógeno (N), sílice (Si) o fósforo (P), pero sí está determinado por otros factores como la luz o la temperatura; en verano el fósforo es el principal nutriente limitante.

- Suzuki *et al.* (1997), estimaron la sucesión del fitoplancton en un mesocosmo fertilizado durante el verano en Saanich Inlet, Canadá. Utilizando cromatografía liquida de alta ejecución para el análisis de pigmentos, los resultados sugirieron que los dinoflagelados y rafidofitas pueden ser los grupos más importantes cuando hay nuevos nutrientes en la superficie del agua de zonas costeras durante el verano.

- Mozetic *et al.* (1997), determinaron la respuesta del plancton costero al enriquecimiento de nutrientes simulando un proceso natural de los procesos biológicos que se dan en el Golfo de Trieste (Mar Adriático); concluyeron que el efecto de los nutrientes depende no sólo de la concentración de los diferentes nutrientes sino de la estructura inicial del componente biotico en el sistema marino.

- Cushing y Horwood (1998), realizaron experimentos de limitación de nutrientes en botellas; encontrando que las más alta productividad primaria se da cuando hay un incremento moderado de nutrientes, pero que el incremento de la producción no puede ser utilizada para determinar si un nutriente es limitante.

- González y Ortaz (1998), evaluaron los efectos del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad del fitoplancton en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa, Venezuela). Observaron un incremento en la abundancia del fitoplancton cuando se adicionaron nutrientes. Al término de los experimentos, las Chrysophytas, Euglenophytas y Dinophyceas desaparecieron y las Chlorophytas y Cianophytas incrementaron.

- Ramírez *et al.* (2002), probaron el efecto de la adición de nitrógeno en tres concentraciones y la adición de fósforo en cuatro concentraciones a muestras de agua superficial de la represa la Fe, el Retiro, Antioquia, Colombia; colectando las muestras en bolsas plásticas de 2 l. Utilizaron como variables de respuesta la biomasa fitoplanctónica, la razón de pigmentos y la concentración de material particulado. Observaron un incremento significativo de la biomasa fitoplanctónica en las bolsas donde hubo adición de nitrato, y concluyeron que para el día de la experimentación en la zona limnética del embalse la Fe fue el nitrógeno y no el fósforo el nutriente limitante; el material total suspendido no constituyo el mejor criterio para la evaluación de los efectos del enriquecimiento en la comunidad fitoplanctónica.

En la Ciénaga Grande de Santa Marta se han realizado varios estudios donde se ha tratado de relacionar la disponibilidad de nutrientes con la producción primaria de la comunidad fitoplanctónica:

- Navas (1999), realizó una investigación que se enfocó en el intercambio de los compuestos nitrogenados y fosforados en la interfase agua – sedimento, buscando implementar una metodología de bajo costo y adaptada a los equipos e infraestructura disponible, para determinar los flujos de amonio, nitrito, nitrato y ortofosfato, nitrógeno y fósforo particulados en la interfase agua – sedimento blando, y concluyó que los flujos de amonio y fósforo provenientes del fondo estarían aportando una pequeña parte de los nutrientes necesarios para la producción primaria de la columna de agua.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

- Sánchez y Zea (2000), a partir de incubaciones experimentales in situ en la CGSM estudiaron la relación de la producción primaria fitoplanctónica con las cantidades disueltas y las tasas de liberación – consumo neto de nitrógeno y fósforo inorgánicos disueltos. Encontraron que la gran variabilidad del metabolismo neto de amonio y del fósforo en la columna de agua de la CGSM implica que tanto los procesos de asimilación como los de liberación y excreción son importantes y variables temporalmente.

- Sánchez *et al.* (2001), realizaron bioensayos con la diatomea *Actinocyclus normanii* con el fin de determinar el comportamiento del crecimiento de esta especie que es muy abundante y frecuente en las aguas de la CGSM; la especie fue cultivada en laboratorio combinando tres concentraciones de los nutrientes silicato (10, 150 y 300 µmol/l) y fosfato (0,03, 1,5 y 3 µmol/l); tres salinidades (0, 15 y 25 UPS) y dos densidades de siembra inicial (100 y 800 cel/ml). El crecimiento de las poblaciones de microalgas se retrasa y, en algunos casos, se inhibe a salinidades medias y altas, por lo cual se considera que esta especie no es halotolerante; los bioensayos demuestran que esta diatomea es indicadora de aguas no salinas y ricas en silicato. Al aumentar la concentración del silicato y fosfato simultáneamente, se manifiesta un efecto sinergético sobre el crecimiento de esta microalga. El silicato parece ejercer un efecto limitativo más intenso sobre el crecimiento que el fosfato.

El objetivo de esta investigación fue valorar a través de bioensayos el efecto que tiene el enriquecimiento con nitrógeno(N) y fósforo(P) y la combinación de estos nutrientes, sobre el metabolismo de la comunidad del fitoplancton de la Ciénaga de Pajaral y el río Fundación.

Esta investigación estuvo vinculada al proyecto Monitoreo de los procesos indicadores de recuperación del ecosistema en El Delta Exterior Derecho del Río Magdalena, Código: 1117-09-040-98. Financiado por COLCIENCIAS y cofinanciado por la Universidad del Magdalena, CORPAMAG, GTZ y UAESPNN.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en dos zonas del Delta Exterior Derecho del río Magdalena: la Ciénaga de Pajaral (zona de amortiguamiento del Parque Vía Isla de Salamanca (**VPIS)**) y el río Fundación a la altura de caño Jobo en el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande de Santa Marta (**SFFCGSM**). Este complejo de humedales está conformado por un gran conjunto de lagunas costeras, una red de caños, ríos y pantanos y bosque de manglar, abarcando una extensión de 4280 Km^2. Se encuentra ubicado en la parte noroccidental del departamento del Magdalena, extendido entre el mismo río que lo separa del departamento del Atlántico y la CGSM por una parte. Por otra parte va desde el litoral del mar Caribe en la Isla Salamanca y las vecindades de bocas de cenizas, hasta el caño Ciego (IGAC, 1973; INVEMAR, 2000), el cual serpentea desde la ciénaga del cerro de San Antonio, frente al extremo sur del departamento del Atlántico y se dirige hacia el noreste hasta alcanzar la parte más baja del río Fundación.

El bosque de manglar es el más importante de la costa Caribe debido a la extensión que cubre, formando bosques homogéneos de mangle rojo, mangle salado y mangle amarillo y bosques mixtos (INVEMAR, 2000).

Durante los últimos años han ocurrido cambios en la dinámica de este ecosistema, cuya causa principal es la reapertura de las entradas de agua dulce a través de los caños Clarín, Aguas Negras y Renegado. Los cambios son evidentes por su efecto sobre las variables fisicoquímicas en particular la salinidad y la cantidad de material sedimentable que son de gran importancia para el desarrollo del manglar.

Los impactos más significativos se derivan de los factores como la sedimentación, la interrupción del flujo hídrico entre la ciénaga y el mar, la reducción del caudal de los ríos y caños tributarios, la hipersalinización de los suelos y aguas (dada la situación de déficit de hídrico de la región), sobreexplotación de los recursos y eutroficación cultural y natural.

En los últimos años como respuesta a la reconexión del río y el complejo de humedales, se ha presentado una invasión de plantas (Ej: ***Typha domingensis, Eicchornia crassipes***) que viven en condiciones de agua dulce y presentan una baja tolerancia a la salinidad y que compiten por espacio con el manglar (Casas, En: INVEMAR, 2000).

El Delta Exterior del río Magdalena presenta un clima semiárido con una temperatura promedio anual de 27 a 29^{0}C y una precipitación media anual que oscila entre 400 a 1300 mm/año y muestra una tendencia creciente en dirección norte - sureste. La evapotranspiración promedio anual es de 1800 mm/año, mayor que la precipitación, lo que genera un déficit hídrico (IGAC, 1973; PROCIENAGA, 1994). El macroclima de la región incluyendo la CGSM corresponde al tipo estepario tropical, que hacia el sur del caño Ciego pasa a ser más húmedo (Hernández *et al.*,1980).

El régimen de temperaturas corresponde al tipo isomegatérmico, con medias anuales entre 27,0 a 28,0 ^{0}C. Las fluctuaciones diarias son de unos 8,0 a 9,0 ^{0}C aproximadamente (Castaño, 1990; Rondón 1991). Las lluvias se presentan en dos periodos anuales: el primero correspondiente a los meses de abril, mayo y junio; y el segundo los meses de octubre, noviembre y parte del mes de diciembre (Hernández *et al.*, 1980).

Los vientos son variables en velocidad y duración, predominando los Alisios del norte y noreste que se presentan a veces en forma de ventarrones, los cuales se presentan durante todo el año, menos en la época de máximas lluvias (Castaño, 1990).

La alta evaporación en los cuerpos de agua y la intensa evapotranspiración de la vegetación de la zona húmeda adyacente a los cuerpos de agua, generan un descenso en el nivel del agua. Este hecho crea condiciones para que se presente un flujo neto de agua desde la Ciénaga Grande al Complejo de Pajaral. Lo mismo sucede cuando por acción de los vientos procedentes del norte se genera una inclinación en la superficie del agua y se modifican los desniveles relativos entre las diferentes lagunas. Como consecuencia, los patrones de flujo entre ellas (Escobar, 1990; Bernal y Betancur, 1995).

La vegetación terrestre y anfibia existente consiste en: a) monte espinoso, b) bosque inundable (manglar), c) una asociación mixta y d) la formación de pantanos (PROCIENAGA, 1994 En: Espinal y Montenegro, 1963; Holdridge *et al.*, 1971).

2.1.1. Zona 1: Ciénaga de Pajaral

Es el principal cuerpo de agua del sistema Lagunar de Pajarales; se encuentra al occidente de la CGSM; se formó con los cambios en las desembocaduras del río Magdalena y la construcción de la isla barrera "Isla de Salamanca" (Bernal y Betancur, 1995). Se encuentra ubicada entre los $10^0$45' y $10^0$52' de latitud Norte y los $74^0$30' y $74^0$40' de longitud Oeste (figura 1). Posee una superficie aproximada de 44,9 km^2, su profundidad oscila entre 83 y 183 cm (valores tomados de la carta elaborada por el CIOH (2000) que tiene datos de la última batimetría realizada para esta zona).

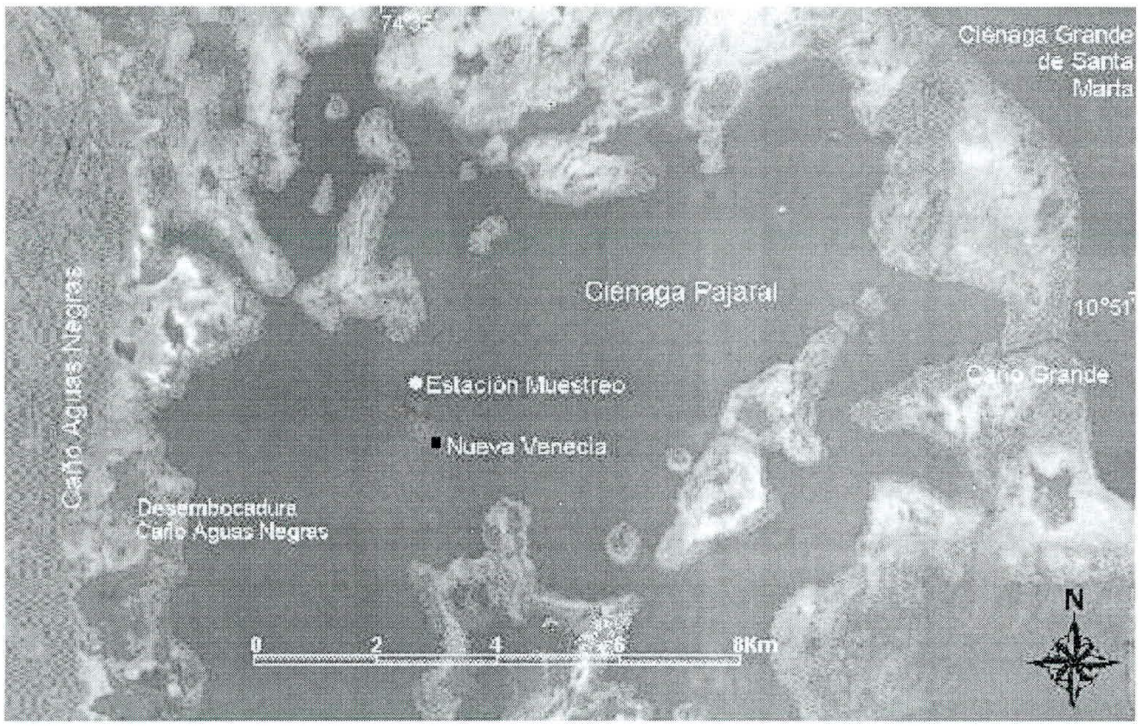


Figura 1. Localización de la estación de muestreo en la Ciénaga Pajaral. Fotografía (modificada) de satélite (SPOT), tomada en diciembre de 1999.

La Ciénaga de Pajaral no tiene comunicación directa con el mar; sin embargo, presenta un régimen de salinidad, debido al flujo de agua marina procedente de la CGSM - Boca de la Barra, la cual durante las épocas secas penetra por el norte y el oriente a través de caño Clarín y caño Grande (Wiedemann, 1973; Estudios y Asesorías, 1989).

En la época de verano, cuando los aportes de agua dulce son bajos, la alta evapotranspiración contribuye a un aumento considerable de la salinidad (IGAC,1973).

Los fondos de la Ciénaga de Pajaral pueden dividirse en 2 dominios: Una zona occidental dominantemente limo-arcillosa y una zona oriental dominantemente areno-arcillosa. Localmente se presentan arcillas limosas. Los agregados de conchas son más extensos en la zona oriental y consisten de moluscos: *Marisa cornuarietis, Polymesoda* y *Mytilopsis,* con ocurrencia local de otros restos (p.e balánidos). Los sedimentos más gruesos (limo-arenoso y arena muy fina) se encuentran al sur de la zona oriental cerca de las islas de mangle alineadas en dirección NE. En términos generales los sedimentos de la Ciénaga de Pajaral tienden a ser más finos que los de la CGSM (Bernal y Betancur, 1995).

La vegetación de la región corresponde al tipo de bosque seco tropical. La comunidad vegetal de la zona de Pajaral está compuesta por bosque de mangle, constituido por especies de árboles halófitos como *Rhizophora mangle, Avicennia germinans y Laguncularia racemosa* (Rondón,1991; Toro, 1995). La comunidad fitoplanctónica está constituida por pocas especies que alcanzan grandes densidades poblacionales, siendo las cianófitas las que tienen mayor presencia numérica, seguidas por las diatomeas, clorófitas y euglenófitas (Rondón, 1991). Mogollón (1996), reporta para el área 96 taxones con el mismo orden de abundancia citado.

2.1.2. Zona 2: Río Fundación

Es el afluente más importante de la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta SNSM (CORPAMAG, 1993). Nace en la vertiente occidental de la SNSM a una altura aproximada de 3000 m sobre el nivel del mar. Posee una longitud aproximada de 150 Km desde sus cabeceras hasta la CGSM (IGAC, 1973). Sirve de límite con el municipio de Aracataca (IGAC, 1969). Tiene una profundidad promedio de un metro y un fondo fangoso con restos de moluscos, desemboca en la parte sur de la CGSM (figura 2),

uniéndose a los paleocauces Caño Palenque y Caño Schiller por el que recibiendo las aguas del río Magdalena, cerca a su desembocadura, están los siguientes canales: Caño Jobo, Corralito, las Flores, Zacarías y Sombra (INDERENA, 1987).

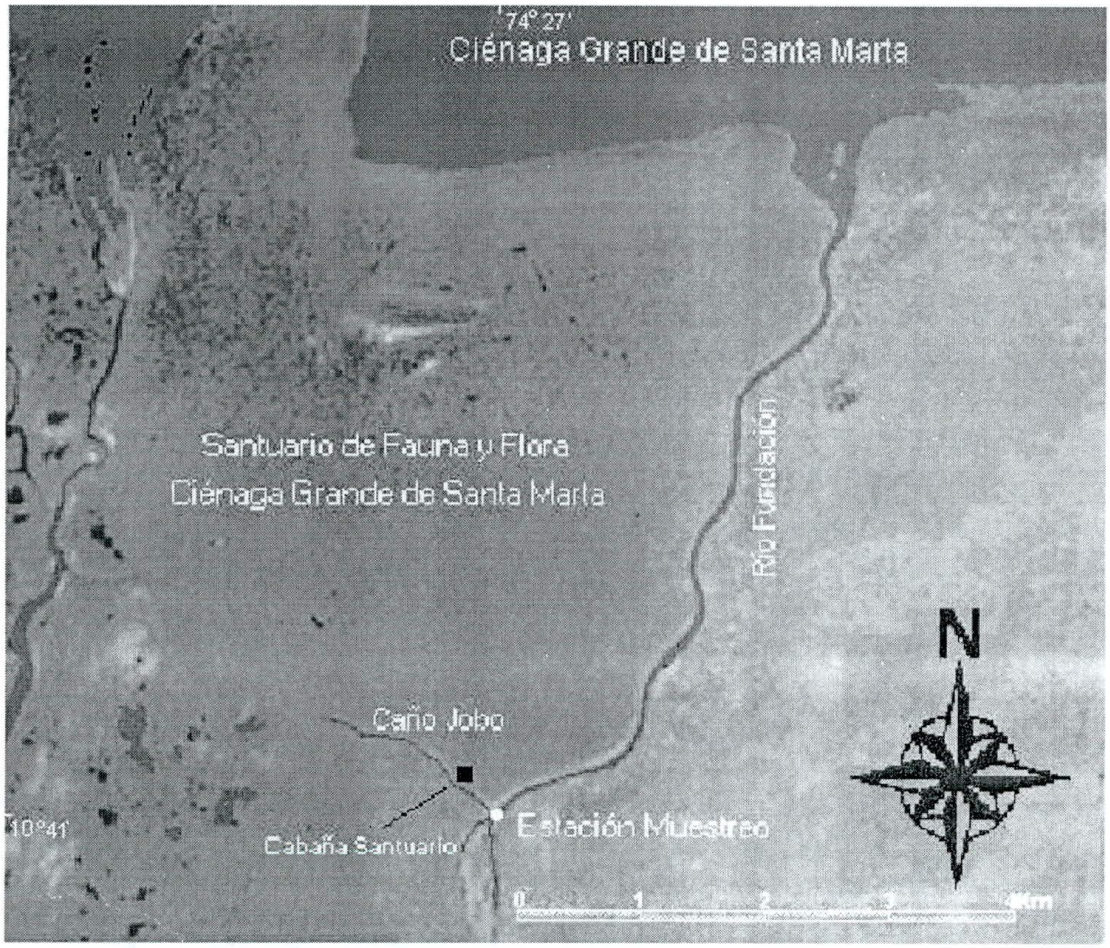


Figura 2. Localización de la estación de muestreo en el río Fundación, Santuario de fauna y Flora. Fotografía (modificada) de satélite (SPOT), tomada en diciembre de 1999.

Sus aguas son ricas en materia orgánica disuelta (ácidos húmicos y fúlvicos), de color pardo dorado con bajos contenidos de nutrientes inorgánicos a pesar de recibir aguas residuales en casi toda la cuenca media y baja.

La precipitación pluvial es de 1269 mm, repartidos en dos períodos: uno seco de Diciembre a Mayo en el cual cae el 30% de la lluvia y una lluvioso de Junio a Noviembre con el 70%; la temperatura media diaria es de 29°C a 30°C con pequeñas fluctuaciones en el curso del año (IGAC 1969). Es una zona particularmente árida que presenta de 6 a

8 meses de intenso verano. El periodo más lluvioso corresponde a los meses de Septiembre - Noviembre y la época más seca de Diciembre- Abril (INDERENA, 1987).

La vegetación de la zona (muy alterada por la agroindustria) corresponde a la formación de tipo bosque seco tropical en la Sierra Nevada, (Parte quebrada) partiendo de occidente a oriente por bosque muy húmedo subtropical, bosque muy húmedo, bosque muy húmedo montano bajo, bosque muy húmedo montano (IGAC, 1969). En los márgenes del río se encuentran asociaciones de *Rhizophora mangle y Avicennia nitida,* el helecho *Acrostichum aureum,* vegetación de sotobosque, bosque homogéneo de mangle salado , bosque de galería y zona de playones. La vegetación flotante presente en ciénagas pequeñas de aguas estancadas y en remansos del río, no está sujeta al sustrato y no sobrevive a la falta de agua; está afectada por la profundidad, salinidad y caudales del río. Algunas macrófitas acuáticas comunes de la zona son las tarullas *(Eichhornia azurea)*, tarulla azul, trebol de agua *(Marsilia polycarpa)*, loto, buchón *(E. Crassipes)*, paraguito de agua, etc (INDERENA, 1987).

2.2. UBICACIÓN DE ESTACIONES

Según se mencionó, para la realización de los bioensayos se escogieron dos estaciones: una ubicada en la Ciénaga de Pajaral ($74^0$35' 45" W y 10^0 50' 18"N) y otra en el río Fundación a la altura de Caño Jobo (74^0 27' 00" W y 10^0 41' 02" N). Se realizaron cuatro bioensayos con una periodicidad de 15 días entre los meses de Agosto (bioensayo 1) y Septiembre (bioensayo 2) del 2000. Los ensayos fueron realizados "in situ".

2.3. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras de agua se tomaron entre las 7:00 a 7:30 am; se trabajó con una muestra integral de la columna de agua (superficie y 10 a 20 cm del fondo) en cada estación. Esta se colectó en un tubo muestreador de 2 metros de longitud y un diámetro de 11 cm, provisto de un dispositivo que permitía cerrar los extremos del tubo con el fin de tomar las muestras en toda la columna de agua.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

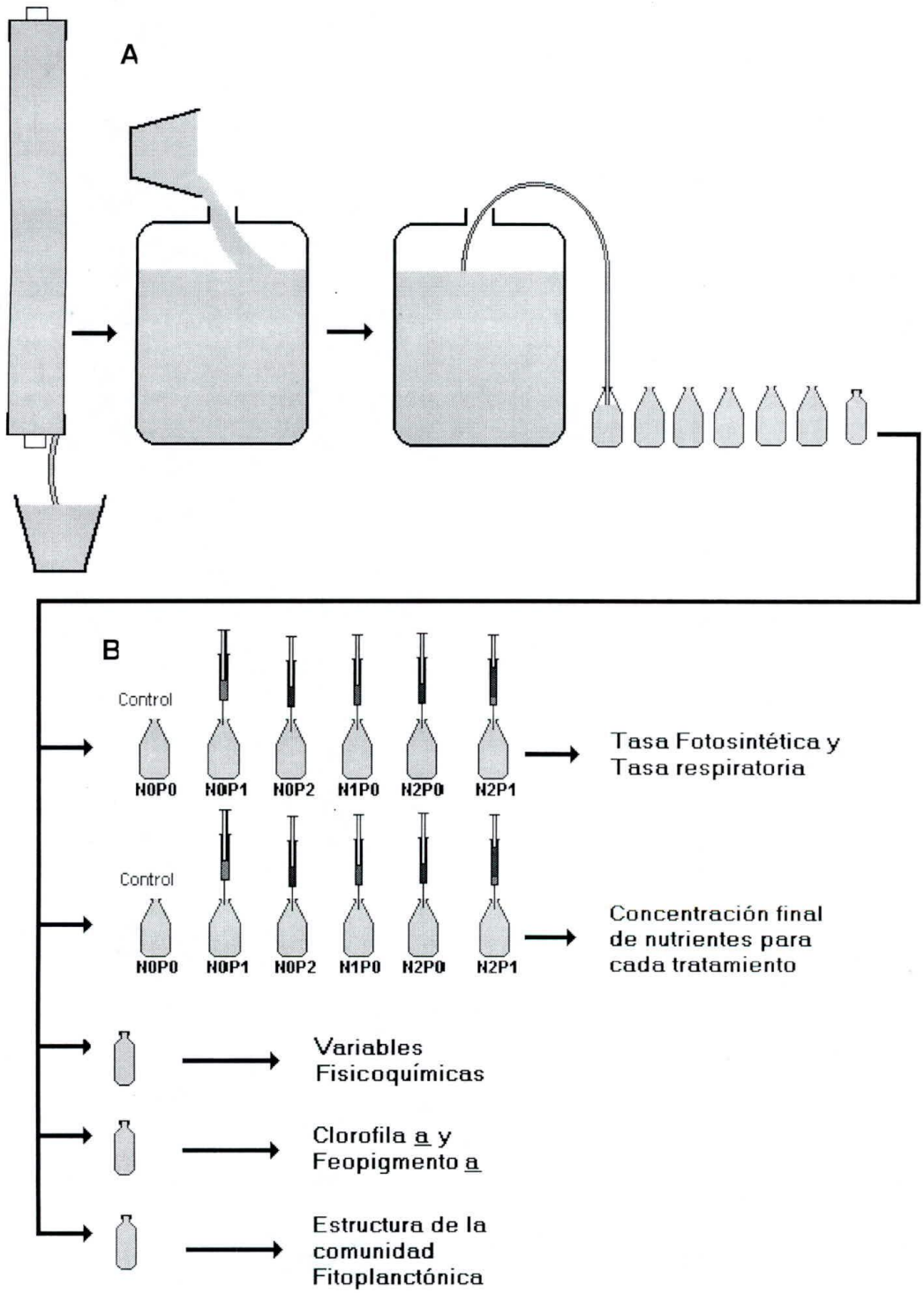


Figura 3. Esquema metodológico de recolección (A) y tratamiento (B) de las muestras de agua en cada uno de los bioensayos.

Se tomaron varias submuestras hasta completar un volumen de 25 l; de este volumen se destinaron 10 l para la determinación del metabolismo, y la parte restante fue colectada en botellas plásticas para la determinación de la concentración de clorofila a y feopigmento a y la estructura de la comunidad fitoplanctónica presente en cada bioensayo (figura 3).

2.3.1. Estimación del metabolismo

Para estimar la tasa fotosintética y respiratoria de la comunidad fitoplanctónica se utilizó el método de botellas claras y oscuras, implementado por Gaarden y Gran (1927). Esta tasa es utilizada como indicador para determinar el efecto que causa la adición de nitrógeno y/o fósforo (enriquecimiento de nutrientes). Este método experimental no necesariamente valora lo que ocurre en condiciones naturales pero da un indicio de lo que se espera que ocurra en la realidad.

Se prepararon soluciones de nitrógeno a partir de estándares de amonio y nitrato Spectroquant MERCK, en dos concentraciones: una de 57,5 mg/l y otra de 230,0 mg/l. De iguales concentraciones se prepararon los estándares de fósforo (en forma de ortofosfatos), a partir de una solución de ácido ortofosfórico. Las concentraciones de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) se prepararon de manera que al adicionar 1 ml a las botellas, la concentración final fuera de ±0,5 mg/l y ±2,0 mg/l para cada una de las concentraciones iniciales de los nutrientes preparados. Antes de la realización de los bioensayos se desconocía la concentración de nutrientes en el agua de los sistemas estudiados.

La muestra de agua (obtenida en el medio natural) contenida en un recipiente plástico se traspasó por medio de mangueras plásticas hasta las botellas, introduciendo las mangueras hasta el fondo para evitar la formación de burbujas; se dejo rebosar un volumen de agua igual al volumen de la botella de vidrio. Se utilizaron 31 botellas cuyo volumen oscilaba entre 115 y 116 mililitros (el volumen de cada botella se conoce con precisión de dos decimales).

En la realización de los bioensayos se escogieron 2 botellas para valorar la concentración de oxígeno inicial, 2 botellas como control (agua natural sin adicionar nutrientes) en la

fase clara y dos control en la fase oscura. Para cada uno de los tratamientos de la fase clara se utilizaron tres réplicas y en la fase oscura dos réplicas. Los tratamientos se realizaron adicionando a cada botella 1 ml de los nutrientes con una jeringa de 5 ml. Los tratamientos realizados se muestran en la tabla 1.

Se determinó la concentración inicial de oxígeno disuelto (botellas iniciales), y su contenido representa la concentración de oxígeno al principio del ensayo. El tiempo de incubación fue de 5 horas entre las: 9:00 am y 2:00 pm.

Las botellas claras se colocaron en dos bandejas plásticas transparentes y éstas se llenaron con agua de la estación hasta cubrir con una película de agua las botellas; la intensidad lumínica a la cual fueron sometidas las botellas claras fue del 100% (esto se logró cubriendo las botellas con ±5 cm de agua dentro de la caja transparente); se realizaron recambios de agua con regularidad para controlar la temperatura del agua en las bandejas de forma que fuera la misma que la del agua de la ciénaga. Las botellas oscuras se forraron con papel aluminio y se introdujeron en un balde con agua al cual se le colocó una bolsa negra que evitaba la entrada de luz hasta las botellas; se colocó en un lugar protegido del sol y fresco para controlar la temperatura del bioensayo.

Tabla 1. Tratamientos aplicados en cada una de las botellas para valorar la tasa fotosintética y respiratoria.

Tratamientos	Nutriente	Mililitros adicionados	Concentración que se adicionó
NOP0	Control	Sin adición	
N0P1	P 57,5 mg/l	1 ml	0,5 mg/l P
N0P2	P 230,0 mg/l	1 ml	2,0 mg/l P
N1P0	N 57,5 mg/l	1 ml	0,5 mg/l N
N2P0	N 230,0 mg/l	1 ml	2,0 mg/l N
N2P1	N 230,0 y P 57,5 mg/l	4 ml y 1 ml	Relación 16:1

Se escogieron botellas testigos a las cuales también se les adicionó la misma cantidad de nutrientes y se incubaron en las mismas condiciones a las botellas claras, su contenido se utilizó para determinar la concentración final de nutrientes después de cada bioensayo.

Para la valoración de la concentración de oxígeno disuelto en el agua contenido en las botellas se utilizó el método yodométrico implementado por Winkler (1888) con las modificaciones señaladas en Strickland y Parsons (1972), con ayuda de una bureta digital Brand, con dos decimales de precisión en el volumen de tiosulfato de sodio adicionado. Con este método se pueden generar errores de tipo humano cuando ocurre el viraje de color de azul a translúcido en la muestra y que generan unos mililitros demás de tiosulfato de sodio (Se consideró que generan ±0,05 mg O_2/l) que no fueron tomados en cuenta en los valores finales medidos en cada tratamiento.

2.3.2. Análisis de variables fisicoquímicas

Los valores de las variables fisicoquímicas fueron tomados del proyecto Monitoreo de los procesos indicadores de recuperación del ecosistema en El Delta Exterior Derecho del río Magdalena; las muestras tomadas para su medición fueron colectadas de la columna de agua.

La temperatura se midió con un termómetro de mercurio tabulado de cero a 50 grados centígrados (^{0}C), con un grado centígrado de precisión. La salinidad, se determinó con un conductímetro Wiss Tech Werstatten modelo Lf 191. La profundidad de visibilidad se midió utilizando un disco Secchi.

Para la concentración de nutrientes se filtraron aproximadamente 5 litros de agua por una red de tamaño de poro de 65 μm; el agua filtrada se recogió en un balde y de éste se tomaron las muestras en botellas de 500 ml; se guardaron en una nevera refrigerada con hielo hasta llegar al laboratorio donde se realizaron de inmediato las valoraciones. En el laboratorio las determinaciones se realizaron utilizando un fotómetro SQ 118 MERCK.

2.3.3. Análisis de variables biológicas

2.3.3.1 Clorofila a y Feopigmento a

Las muestras de agua almacenadas en las botellas de 500 ml (que no se filtraron en el campo), en el laboratorio se pasaron por un filtro de fibra de vidrio microporo Whatman

GF/C 4,5 mm de diámetro con la ayuda de una bomba de vacío. Para la extracción de los pigmentos se utilizó acetona al 90%. Los filtros se maceraron y luego se centrifugaron a 4000 rpm durante 15 min eliminando de esta forma la turbidez.

Para la determinación de feopigmentos a se adicionó a el extracto una gota de HCl al 70% aproximadamente 30 µl utilizando una pipeta Ependorf de 1 ml con graduación de 0,001 ml.

La clorofila a se calculó mediante la ecuaciones de Lorenzen: (SCOR-UNESCO, 1966) que permite cuantificar las concentraciones de clorofila a con un error de 2% y el feopigmento a. La valoración de las absorbancias (750 y 665 nm) se hizo en un espectrofotómetro Spectronic.

2.3.3.2 Conteo e identificación del fitoplancton

Para el análisis del fitoplancton se tomó una submuestra de los 25 l de agua recogidos con el tubo muestreador. Se almacenó en frascos plásticos de 500 ml de capacidad y se preservó con una solución de formol buferizado con ácido bórico y lugol en una proporción de 1:4 (1 ml por cada 100 ml de muestra). Para la identificación y conteo se sedimentaron las muestras en cubetas de 10 ml tipo Utermöhl. Se colocó 1 ml de muestra, previamente agitada y se adicionaron 9 ml de agua destilada para completar el volumen de 10 ml, se esperó 24 horas para que sedimentara el fitoplancton; se realizó una dilución de este tipo debido a la gran abundancia de células fitoplanctónicas. El conteo se realizó observando todo el campo de la cubeta a 400 aumentos (40X / 0,65). Para la identificación se utilizó microscopio Nikon Eclipse E4000 con aumentos de 40X / 0,65 y 100X / 1,25. Al microscopio se le acopló una cámara de video (Hitachi) y esta a una computadora con tarjeta de captura de video ATI para capturar imágenes y digitalización (fitoplancton) para crear una banco de imágenes.

La identificación se realizó por comparaciones de fotografías, iconografías y descripciones en trabajos realizados por: Anagnostidis y Komárek (1988); Komárek y Anagnostidis (1986 y 1989); Parra *et al.* (1982); Streble y Krauter (1987); Roldán (1989); Mogollón (1996); Ruiz (1999); Vidal (1995, sin publicar); Yacubson (1969, 1972, 1974a, 1974b, 1980, 1984); Yacubson y Bravo (1982 y 1986); Duque (1995).

2.4. CÁLCULOS MATEMÁTICOS

La valoración del oxígeno disuelto en mg O_2/l se calculó a partir de la cantidad de tiosulfato de sodio gastado durante la titulación se utilizó la siguiente formula:

$$mlO_2/l = V \times N \times 8000 \times \frac{B}{B-2} \times \frac{22,4}{32} \times \frac{F}{Vt}$$

Donde:

B = Volumen de la botella

B - 2 = Volumen de la botella menos 2 ml

V = Volumen de Tiosulfato gastado en la titulación

N = Normalidad del tiosulfato de sodio (0,01N)

f = factor de estandarización

Vt = volumen de la muestra titulada

Para convertir los valores de mlO_2/l a mgO_2/l se utilizó el factor 1,4285.

$$mgO_2/l = mlO_2/l \times 1,4285 \text{ mg } O_2/l$$

El cálculo de la concentración de Clorofila a y de feopigmento a, se realizó con base en Lorenzen (1967):

$$\text{Clorofila a } (\mu g/l) = \frac{26,7(665^b - 665^a).V}{v.l}$$

$$\text{Feopigmento a } (\mu g/l) = \frac{26,7(1,7[665^a] - 665^b).V}{v.l}$$

Donde,

665^b: Absorbancia de Clorofila a, sin acidificar

*

665^a Absorbancia de Clorofila a, acidificada

V: Volumen de acetona

v: Volumen filtrado

l: Ancho de la celda (1 cm)

2.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para la interpretación de los resultados y para lograr establecer si existían o no diferencias estadísticamente significativas: 1) Se verificó que las condiciones de utilización de las herramientas estadísticas fuese apropiada a los datos, 2) mediante revisión bibliográfica y asesoría se definieron el modelo estadístico más apropiado para comparar los valores de la tasa fotosintética y respiratoria del control y los tratamientos, estos son:

- Análisis de varianza de una vía.
- El método de diferencia significativa mínima de Fishser (D. S. M.).
- Comparación de medias, utilizando la prueba de comparación múltiple.

El comportamiento de las variables se muestra mediante gráficas de promedios.

Para el análisis de la comunidad fitoplanctónica se realizó un análisis de similaridad por método de Bray-Curtis utilizando el paquete estadístico Biodiversity.

También se compararon las condiciones físicas y químicas de las dos estaciones de muestreo mediante estadística descriptiva (promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, máximos y mínimos) y a través de gráficas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DURANTE LOS PERIODOS EN QUE SE EFECTUARON LOS BIOENSAYOS.

Durante los periodos experimentales se presentó en ambas zonas días soleados, cielo despejado y por lo tanto una alta radiación solar. Los registros meteorológicos de municipio de Fundación (IDEAM, 2000), muestran que durante el año en que se realizaron los bioensayos (figura 4) las mayores precipitaciones se presentaron en el mes de junio (28 mm) y septiembre (76 mm), en este último se realizó el segundo bioensayo en ambas zonas.

3.1.1 Variables Fisicoquímicas

Los valores de temperatura en la Ciénaga de Pajaral oscilaron entre 27 y 31 ^{0}C en (Anexo, tabla 7) la columna de agua y alcanzaron un valor máximo en el mes de septiembre (figura 5) fecha en la cual se realiza el segundo bioensayo en esta zona. Estos resultados en forma similar fueron encontrados en otras investigaciones realizadas en esta zona (Escobar, 1990; Rondón, 1991; Mogollón, 1996; Rojas 2000). En el río Fundación los valores de temperatura oscilaron entre 27 a 28,5 ^{0}C.

Los registros de temperatura están determinados por hora en que se haga la medición; en el caso de la Ciénaga de Pajaral, que tiene problemas de comunicación con fuentes directa de agua; no existe una rápida circulación y se generan periodos largos de retención y calentamiento del agua (Mogollón, 1996).

Los valores más altos de salinidad en la Ciénaga de Pajaral se registraron entre los meses de junio y julio (fin de la época menor de lluvias e inicio del veranillo de San Juan) (figura 6) con un comportamiento anual similar a la reportada por otros autores. Escobar (1990) encontró los valores más altos entre los meses de marzo a agosto. Rondon (1991), registró los valores máximos a finales del mes de julio.

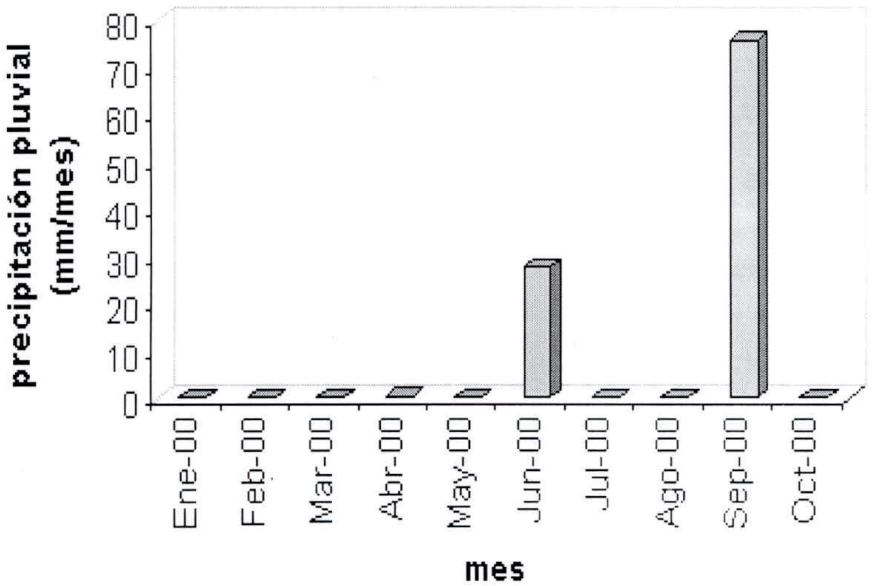


Figura 4. Valores de precipitación estación ubicada en el municipio de Fundación. Tomado del IDEAM, 2000.

En la fecha de la realización de los bioensayos en el mes de agosto la salinidad disminuye abruptamente, luego en el mes de septiembre se registra un pequeño aumento. En la Ciénaga de Pajaral la salinidad está condicionada por las entradas de agua dulce dadas principalmente por las aguas del río Magdalena y en menor medida por la precipitación pluvial. Cuando se presentan las primeras lluvias en esta zona hay incremento significativo de la salinidad debido al lavado de los suelos ya que en la mayor parte de la zona no existe una vegetación que regule la entrada de agua, nutrientes y sales (Mogollón, 1996).

En la zona del río Fundación los valores de salinidad fueron de cero, es decir que no ocurrió intrusión de aguas salobres procedentes de la Ciénaga Grande, ni del SFFCGSM por el caño Jobo.

La profundidad de visibilidad del Disco Secchi en la Ciénaga de Pajaral tuvo un valor máximo de 0,42 m (figura 7) con muy poca variación durante la realización de los bioensayos (0,27 m y 0,24 m), estos valores son menores que los registrados por Rondón (1991).

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

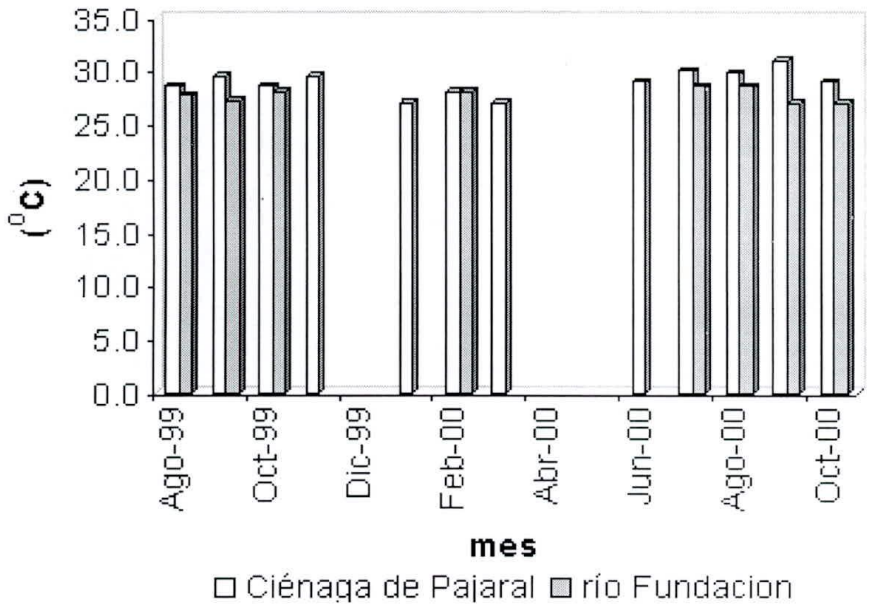


Figura 5. Valores mensuales de temperatura de la columna de agua, tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena.

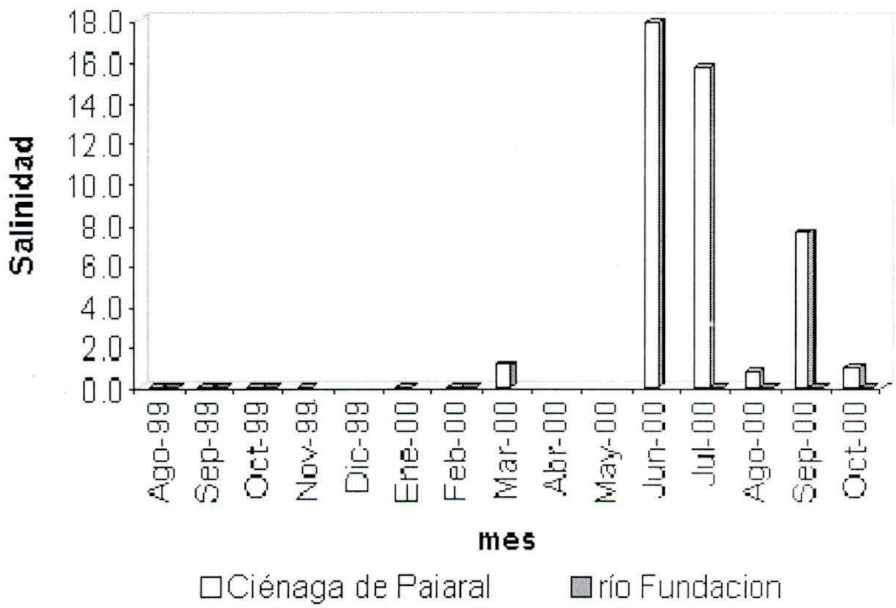


Figura 6. Valores mensuales de Conductividad de la columna de agua, tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

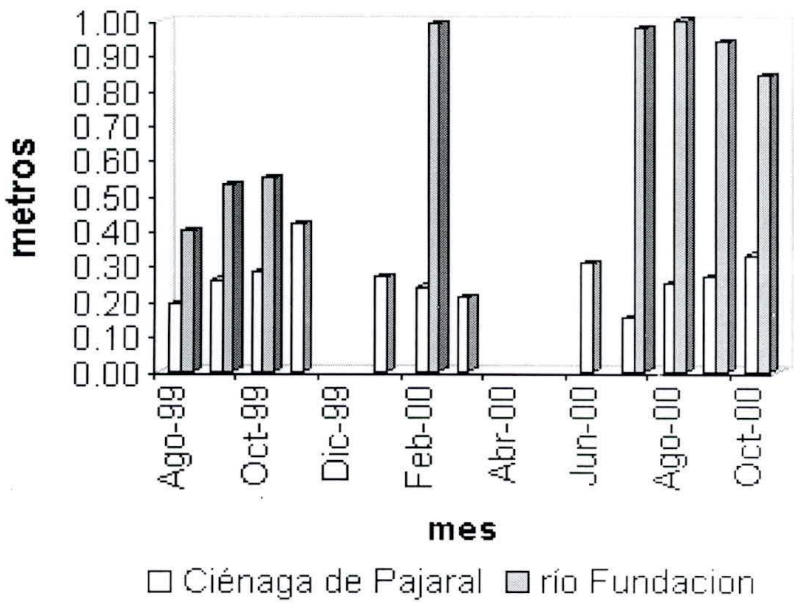


Figura 7. Valores mensuales de disco Secchi, tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena.

En el río Fundación los valores registrados son altos con un máximo de 1,00 m. Esta medida de la penetración de luz solar en el agua da indicios de cual es la porción de la columna de agua donde es posible la realización de procesos fotosintéticos (Hernández, 1988). La baja visibilidad registrada en la Ciénaga de Pajaral se puede explicar por la gran cantidad de sólidos en suspensión y la alta concentración del plancton que disminuyen la visibilidad (Mogollón, 1996).

La concentración de amonio fue poco variable a lo largo del año, durante los primeros meses de muestreo se registraron los valores más altos (figura 8); las concentraciones más bajas se presentaron en los últimos meses incluidos las fechas en la cual se realizaron los bioensayos (Anexo, tabla 8), aunque estos volares son mayores que los registrados por Mogollón (1996). En el río Fundación se registraron valores muy bajos y en algunos casos indetectables por el método utilizado para su medición (figura 9).

Las concentraciónes de nitritos en la Ciénaga de Pajaral fueron muy variables y los valores máximos se registraron en Junio y Agosto (figura 8) en este último mes se realizó el primer bioensayo. En el río Fundación el valor máximo se presentó en el mes de

septiembre fecha en la cual se realizó el segundo bioensayo de esta zona, mostrando poca variación en los primeros muestreos (Anexo, tabla 8). Estos valores son superiores a los reportados por Mogollón (1996) y Rojas (2000). Estos autores afirman que la entrada de agua dulce en el Complejo Pajarales afecta de manera inmediata la concentración de nitritos.

La concentración de nitratos en la columna de agua en la Ciénaga de Pajaral presentó un valor máximo en el mes de enero (Anexo, tabla 8); en los meses en los cuales se realizaron los bioensayos la concentración de este nutriente fue baja (figura 8), alcanzando límites casi indetectables por el método utilizado para su medición. Rondón (1991) reporta que el valor máximo se presentó también en el mes de enero.

En el río Fundación el valor máximo de nitrato se registró en el mes julio (0,48 mg/l); en el mes de agosto en el cual se realizó el primer bioensayo, la concentración de nitrato disminuyó en forma considerable (0,04 mg/l) (figura 9).

La concentración de fósforo (valorado como ortofostatos), en la Ciénaga de Pajaral presentó los valores máximos en los meses de agosto y septiembre del 2000 (Anexo, tabla 8) fechas en las cuales se realizaron los bioensayos, los últimos reportes realizados de este nutriente indicaban una tendencia a disminuir en el tiempo (Rondón, 1991; Mogollón, 1996 y Rojas 2000). Por otra parte Escobar (1990) reporta valores máximos de ortofosfato casi de igual magnitud que los reportados en el mes de septiembre.

En el río Fundación los valores máximos también se dan en los meses de agosto y septiembre del 2000 aunque en menor magnitud a lo encontrado en la Ciénaga de Pajaral.

El comportamiento observado en la Ciénaga de Pajaral es posible ya que el fósforo es un elemento muy móvil y su dinámica es controlada por mecanismos químicos, biológicos o una combinación de ambos que ocasionan que sea absorbido o liberado (Mann, 1982; Slomp et al., 1992, En: Navas, 1999).

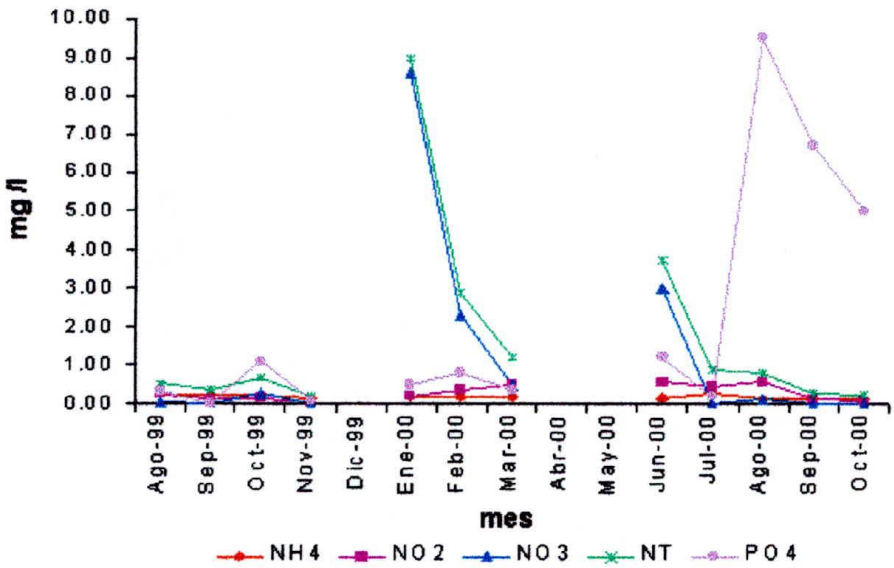


Figura 8. Valores mensuales de concentración (mg/l) de NH_4^+,NO_2^-,NO_3^{2-} y PO_4^{3-}de la columna de agua en la Ciénaga de Pajaral. Tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena.

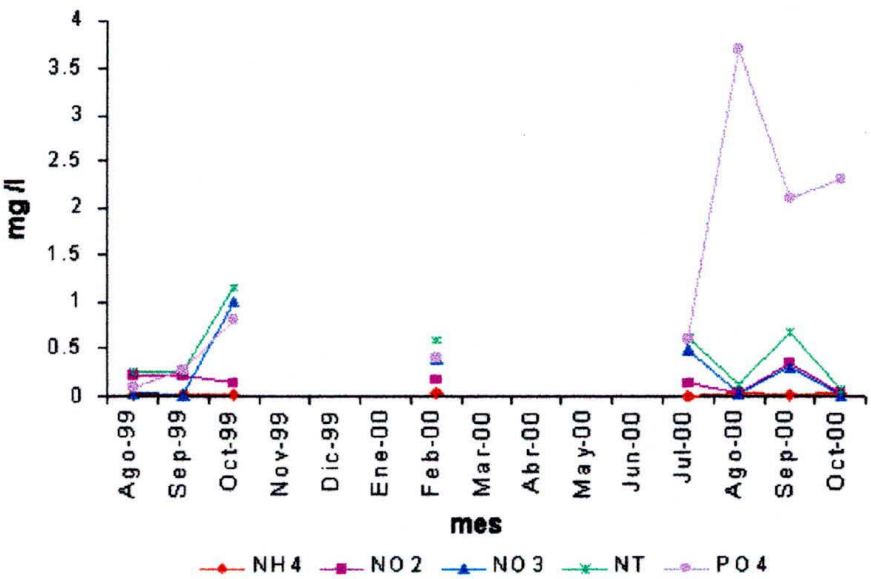


Figura 9. Valores mensuales de concentración (mg/l) de NH_4^+,NO_2^-,NO_3^{2-} y PO_4^{3-} de la columna de agua del Río Fundación. Tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena.

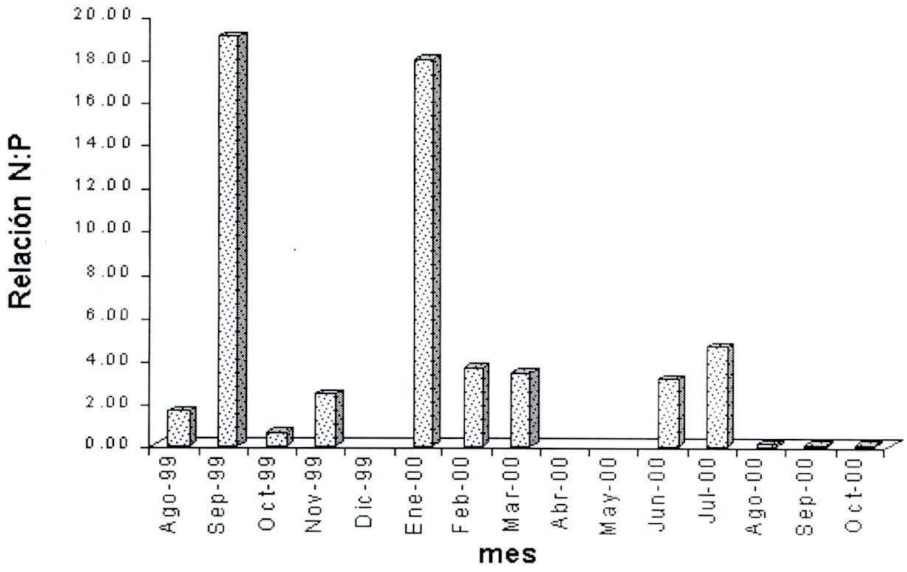


Figura 10. Razón N:P en la Ciénaga de Pajaral datos obtenidos del proyecto "Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena."

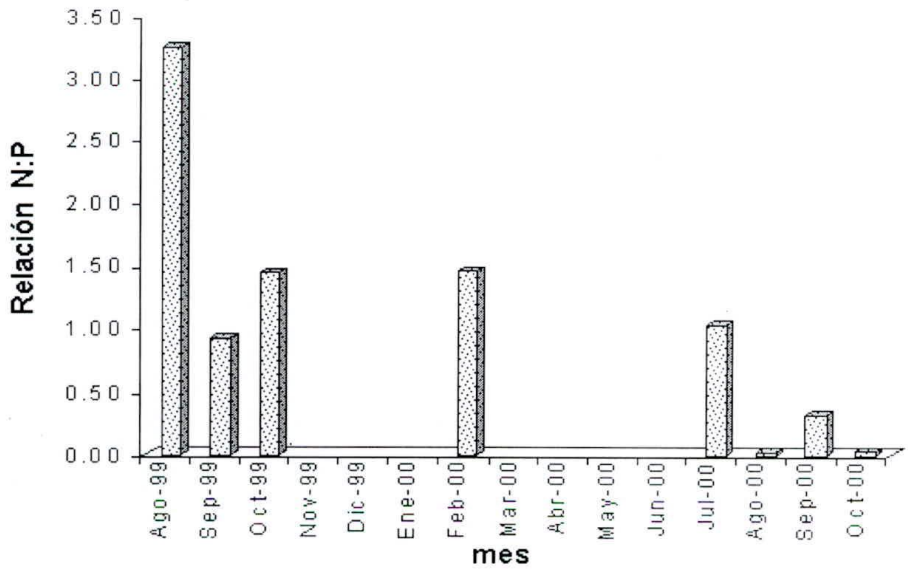


Figura 11. Razón N:P en el Río Fundación datos obtenidos del proyecto "Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del río Magdalena."

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

En general, las concentraciónes de nitrógeno inorgánico total (NH_4^++ NO_2^-+ $NO_3^=$) fueron bajas con relación a la concentración de ortofosfatos especialmente en las fechas de realización de los bioensayos, presentándose de esta manera una relación N:P baja en ambas zonas (figuras 10 y 11), lo cual estaría indicando que existe una limitación de nitrógeno a lo largo del año.

Este tipo de razón N:P se presenta cuando se adiciona al sistema acuático fósforo que está contenido en desechos de aguas domésticas, agroindustriales, y en especial por detergentes sintéticos organo-fosforados (Boney, 1975; Hernández y Márquez, 1991). En la Ciénaga de Pajaral se observa este comportamiento con excepción a los meses de septiembre de 1999 y enero del 2000 donde las relaciones N:P son superiores a 16:1. Al parecer el comportamiento de estos nutrientes está determinado por los ciclos climáticos, regímenes fluviométricos (hidroperíodo) y por los aporte de materia aloctona provenientes de escorrentías (Escobar, 1990; Mogollón, 1996; Hernández y Gocke, 1990).

3.1.2. Variables Biológicas

3.1.2.1. Clorofila a y Feopigmento a

Los valores de concentración de clorofila a y feopigmento a se muestran en la tabla 2. En la Ciénaga de Pajaral la concentración de clorofila a en el mes de agosto del 2000 fue baja con relación al mes de septiembre del 2000. Escobar (1990) registró los valores mayores de clorofila a poco después de los periodos de mayor lluvia, cuando era evidente una disminución en la concentración de nutrientes.

Las concentraciones de clorofila a fueron bajas en el Río Fundación, en el bioensayo 4 la concentración de clorofila fue menor que la concentración de feopigmentos. Estos valores estarían indicando una o varias de las siguientes situaciones:

1) Alto pastoreo por parte del zooplancton y por tanto mucho fitoplancton excretado y muerto, y de clorofila degradada.

2) Algunas células fitoplanctónicas están muriendo por otras causas y la clorofila se degrada.

3) Comunidad fitoplanctónica vieja (Hernández y Gocke, 1990). También los valores de feopigmentos tienden a aumentar cuando el agua está cargada con material vegetal detritico (Hernández y Márquez, 1991), situación que se puede presentar en esta zona por la abundante vegetación aledaña al río.

Tabla 2. Concentración de Clorofila a y Feopigmento a obtenidas en cada una de las zonas donde se realizaron los bioensayos.

Variables	Ciénaga de Pajaral		Río Fundación	
	Bioensayo 1	Bioensayo 2	Bioensayo 1	Bioensayo 2
Clorofila a µg/l	64,5	176,2	2,7	0,3
Feopigmento a µg/l	11,0	17,2	1,4	3,2

3.1.2.2. Conteo e identificación del Fitoplancton.

3.1.2.2.1. Ciénaga de Pajaral

En las muestras de agua tomadas para realizar el primer bioensayo (mes de agosto) en esta zona, el grupo de las cianófitas fue el dominante con una densidad de 70'696.000 ind/l que representó el 95% de la población; mientras que las diatomeas solo se presentaron en una proporción del 4% (figura 12). Ruiz (1999) reportó gran abundancia de grupos de cianófitas para los meses de junio, julio y agosto.

En las muestras de agua del segundo bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral las cianófitas se presentaron en menor proporción con un 56% y aparece en este ensayo con mayor densidad de individuos por litro, el grupo de las diatomeas que representaron en esta muestra el 41% de la comunidad (figura 12). Ruiz (1999) encontró que a partir del mes de septiembre empieza una incursión de diatomeas en esta zona.

El análisis de similaridad muestra que entre los dos bioensayos realizados en la Ciénaga de Pajaral, la comunidad presente en cada uno presentaba un 28,19% de similaridad

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

(figura 13), lo que muestra que las comunidades presente en cada bioensayos fue diferente (en términos de abundancia). En el mes de septiembre, fecha en el cual se realizó el segundo bioensayo, se presentaron lluvias y por lo tanto cambiaron algunas variables fisicoquímicas del agua que pudieron haber proporcionado condiciones para el desarrollo de otros grupos fitoplanctónico. Mogollón (1996), reporta que cuando se genera turbulencia en el agua debido a la acción del viento y a las precipitaciones, se dan las condiciones para el incremento de las diatomeas.

3.1.2.2.2. Río Fundación

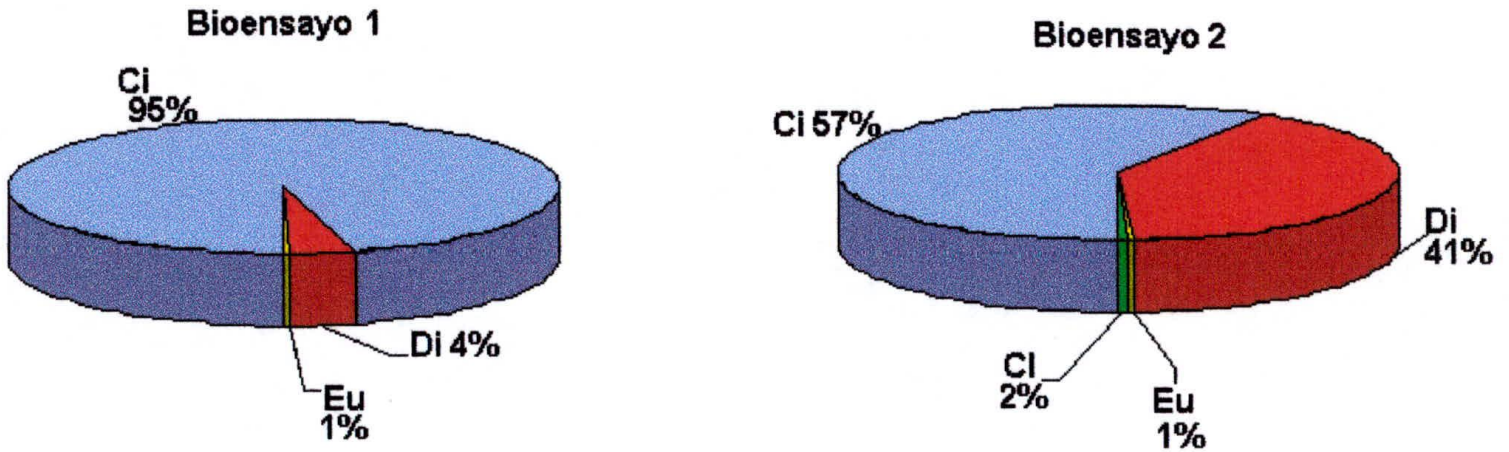
En el primer bioensayo realizado en la desembocadura del caño Jobo en el río Fundación las formas flageladas fueron el grupo dominante y representaron el 69% de la comunidad mientras que las cianófitas representaron el 30% (figura 12).

En las observaciones realizadas en el segundo bioensayo de las muestras obtenidas en la desembocadura del caño Jobo en el río Fundación, casi el 100% de la comunidad estuvo representada por las formas flageladas, los otros grupos se presentaron en cantidades muy pequeñas (figura 12).

En esta zona la similaridad de las comunidades presentes en cada bioensayo fue del 58,27% (figura 13). Como se mencionó anteriormente dominaron los flagelados organismos típicos en aguas con alto contenido de materia orgánica, por lo que se caracterizan las aguas en la cuenca baja del río Fundación.

Las comunidades presentes en cada zona eran totalmente diferentes, presentando una similaridad del 2.50%, esto se explica ya que las características fisicoquímicas de las aguas en ambas zonas son diferentes.

Bioensayos realizados en la Ciénaga de Pajaral.



Bioensayos realizados en el Río Fundación

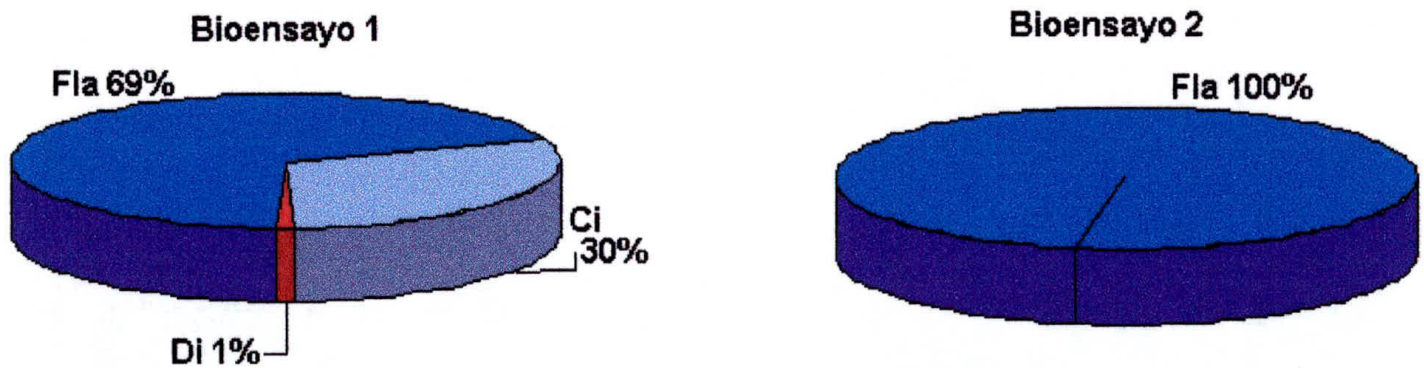
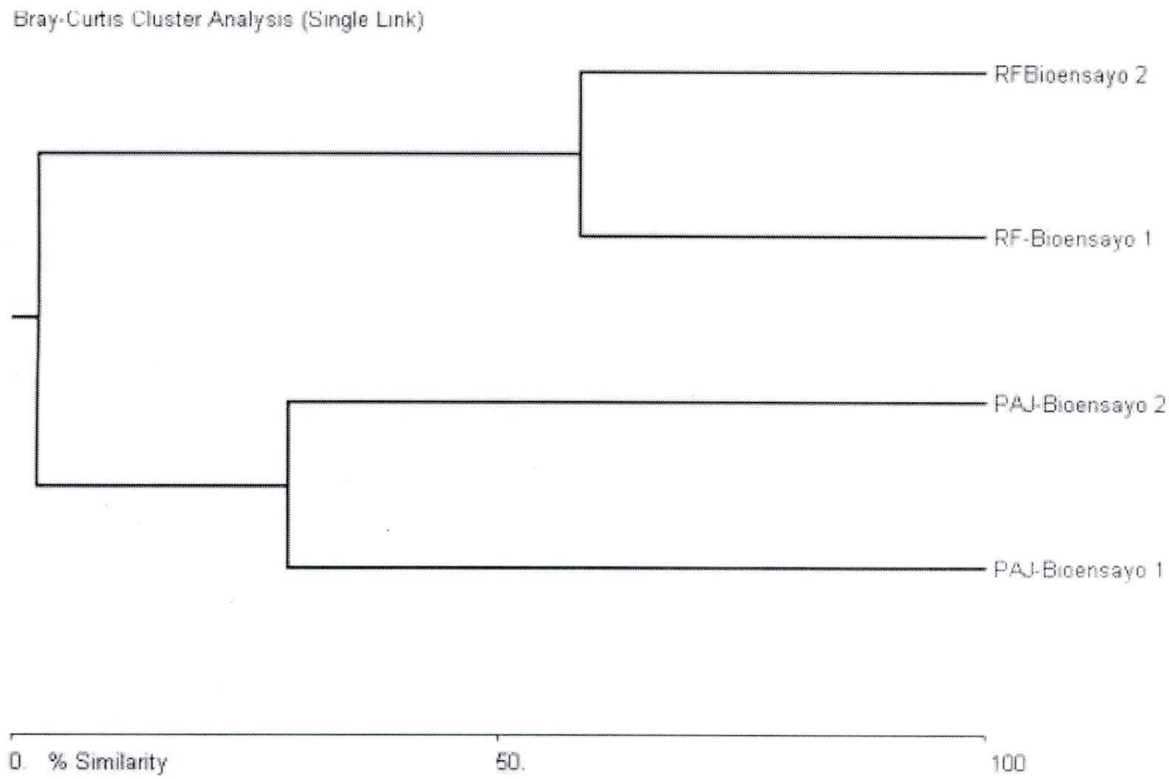


Figura 12. Dominancia relativa de los grupos fitoplanctónicos encontrados en los cuatro bioensayos. Di: Diatomeas, Ci: Cianófitas, Eu: Euglenófitas, Cl: Clorófitas, Fla: Flagelados.



CI: 0.9142

Figura 13. Dendrograma de similaridad de Bray-Curtis entre los bioensayos.

3.2. RESPUESTA METABÓLICA DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA FRENTE AL ENRIQUECIMIENTO

3.2.1. Tasa fotosintética y respiratoria

3.2.1.1. Bioensayos realizados en la Ciénaga de Pajaral.

Resultados Primer Bioensayo: Los datos obtenidos en el mes de agosto, muestran que los valores de la tasa fotosintética (figura 14) de todos los tratamientos son menores que el valor obtenido en el control (N0P0), sin embargo, entre los tratamientos donde se adicionó nutrientes, el mayor valor de la tasa fotosintética se obtuvo cuando se adicionó fósforo en una concentración de 0,5 mg/l (N0P1), seguido por el valor obtenido cuando se adicionó nitrógeno 0,5 mg/l (N1P0). Luego de aplicar un análisis de varianza se muestra que existen diferencias significativas (F= 44,8; p= 0,00) entre el control y los tratamientos (Anexo, tablas 9 y 10) donde se adicionaron los nutrientes.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

El análisis preliminar de los resultados obtenidos en la tasa fotosintética en este bioensayo muestra:

1) La concentración de nitrógeno y en particular Ortofosfato PO_4^{-3} son las más altas observadas a lo largo del estudio.

2) Comparativamente, la concentración más alta se observa en la estación de Pajaral entre todos los datos tomados en el proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del Río Magdalena.

3) Existe el indicio suficiente para pensar que al contener el agua natural una alta concentración de nutrientes, el hecho de adicionar más nutrientes es causa de efectos de inhibición (ley de tolerancia de Shelford) sobre la tasa fotosintética.

4) El adicionar más fósforo a la comunidad fitoplanctónica en una baja concentración puede tener efectos positivos sobre su tasa fotosintética; por ello, su mayor su incremento en el tratamiento a baja concentración de fósforo (N0P1).

5) En cuanto a las respuestas encontradas después de agregar nitrógeno la adición de dicho nutriente parece afectar la tasa metabólica de la comunidad fitoplanctónica cuando se adiciona en baja concentración, pero en menor proporción a lo observado con el tratamiento N0P1. Cabe anotar que en la composición de especies encontradas en este bioensayo predominan las cianófitas y entre estas las que tienen capacidad de fijar nitrógeno.

6) El adicionar nutrientes en exceso estaría causando un estrés fisiológico. Es posible ya que la mayor parte de la comunidad presente en este bioensayo estaba representados por cianófitas organismos que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico y la adición de dicho nutriente no afectaría la tasa metabólica de estos organismos, pero si es adicionado en exceso estaría causando un estrés fisiológico.

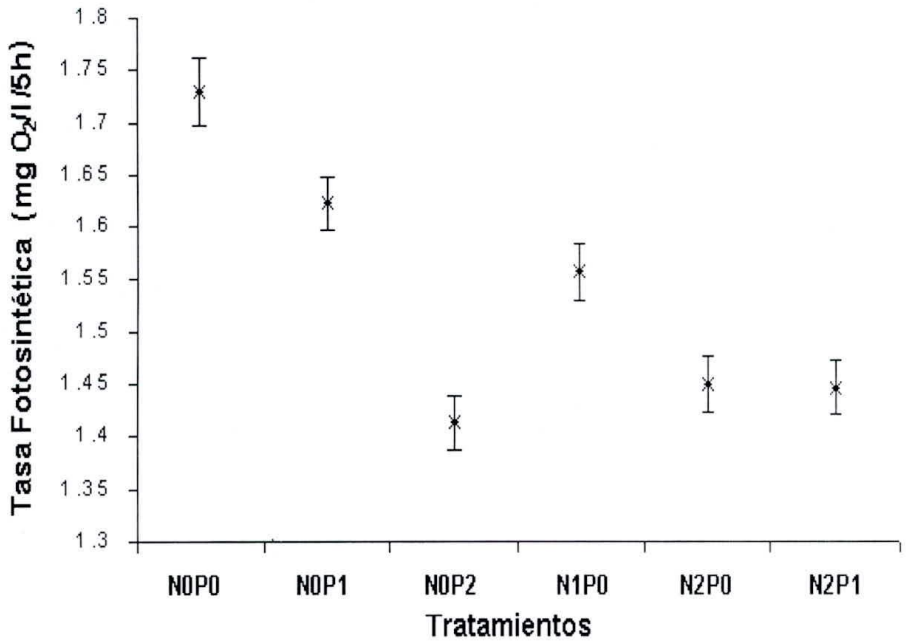


Figura 14. Variación de la tasa Fotosintética media entre tratamientos en el primer bioensayo, realizado en la ciénaga de Pajaral.

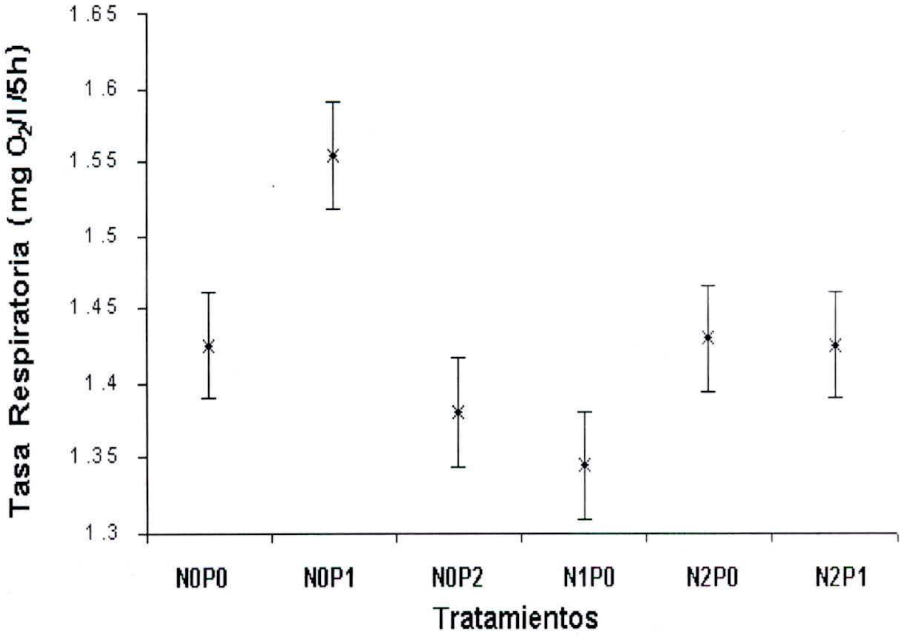


Figura 15. Variación de la tasa Respiratoria media entre tratamientos en el primer bioensayo, realizado en la Ciénaga de Pajaral.

La tasa respiratoria de la comunidad fitoplanctónica en este bioensayo aumentó (figura 15) con respecto al control y los demás tratamientos cuando se adicionó fósforo en baja concentración (N0P1), mostrando diferencias estadísticamente significativas (F= 11,69; P=0,0047) (Anexo, tabla 11). Los demás tratamientos no mostraron diferencias significativas entre ellos y el control (Anexo, tabla 12).

Se desconoce que la tasa respiratoria de la comunidad fitoplanctónica esté afectada por la adición de nutrientes, pero dentro de los microcosmos utilizados para la realización de los bioensayos pudo haber intervenido la actividad de bacterias que incrementaron la tasa respiratoria en el microcosmo donde se adicionó fósforo en baja concentración.

La concentración final de ortofosfatos después de adicionar este nutriente en baja concentración disminuyó de 9,5 mg/l (concentración inicial) a 7,5 mg/l (tabla 3), este comportamiento también se observó cuando se adicionó los nutrientes en forma combinada, indicando de esta manera que hubo cierto consumo de este nutriente durante el tiempo de incubación.

En cuanto a las formas de nitrógeno adicionadas (NH_4^+ y $NO_3^=$) la concentración final fue mayor a la inicial. En la figura 16 se muestra la relación N:P después de la incubación en cada uno de los tratamientos utilizados.

Tabla 3. Concentración de nutrientes obtenidas des pues de la incubación del primer bioensayo realizado en la Ciénaga Pajaral.

Tratamientos	Ortofosfatos mg/l	Amonio mg/l	Nitrato mg/l	NIT* mg/l
N0P0	9,50	0,13	0,11	0,80
N0P1	7,50	0,13	0,11	0,80
N0P2	9,20	0,13	0,11	0,80
N1P0	9,50	0,14	0,08	0,78
N2P0	9,50	0,20	2,40	3,16
N2P1	7,50	0,40	3,50	4,46

*Nitrógeno Inorgánico Total

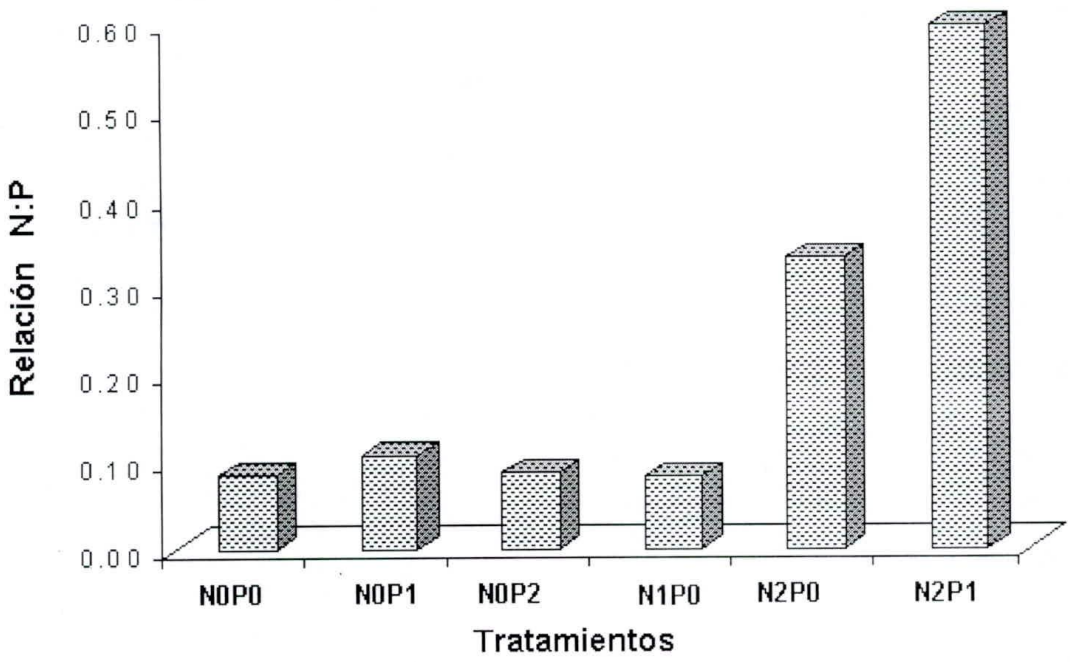


Figura 16. Relación N:P en cada uno de los tratamientos al final del primer bioensayo realizado en la Ciénaga Pajaral.

Resultados Segundo bioensayo: Se realizó en el mes de septiembre, los valores de la tasa fotosintética son mayores con respecto al control (N0P0), cuando se adicionó nitrógeno en menor concentración (N1P0) situación similar ocurrió con el fósforo (N0P1) aunque con este último el incremento de la tasa fotosintética fue mayor (figura 17). La tasa fotosintética disminuye con respecto al control cuando se adicionan nitrógeno y fósforo en forma combinada (N2P1); el análisis de varianza (Anexo, tablas 13 y 14) muestra diferencias significativas($F= 167,85$; $P= 0,000$) entre los tratamientos y el control. Cuando se adicionan los nutrientes en mayor concentración (N0P2 y N2P0) no se presenta diferencias significativas entre estos y el control(Anexo, tabla14).

Rhee (1986), argumenta que la tasa fotosintética de la comunidad fitoplanctónica se ve favorecida con la adición de nutrientes y que este incremento es más significativo con nitrógeno que con fósforo; contrario a lo obtenido en este bioensayo. Mozetic *et al* (1997) encontraron que la adición de fosfatos tuvo efectos más pronunciados sobre el incremento de la biomasa fitoplanctónica en el Golfo de Trieste (Mar Adriático). Levine *et al.* (1997) concluyeron que el fósforo es el nutriente limitante durante el verano en el lago Champlain.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

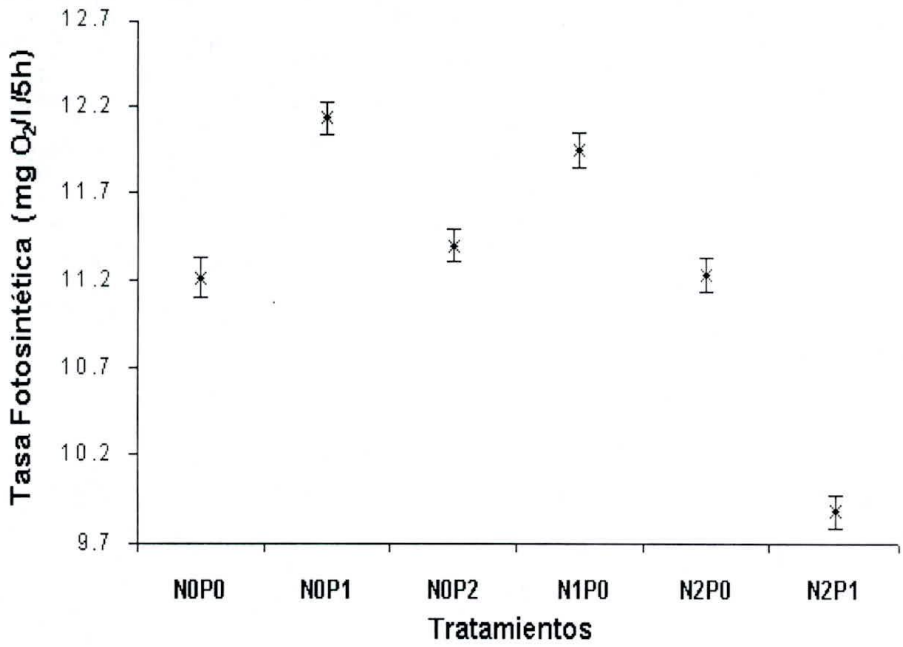


Figura 17. Variación de la tasa Fotosintética media entre tratamientos en el segundo bioensayo, realizado en la ciénaga de Pajaral.

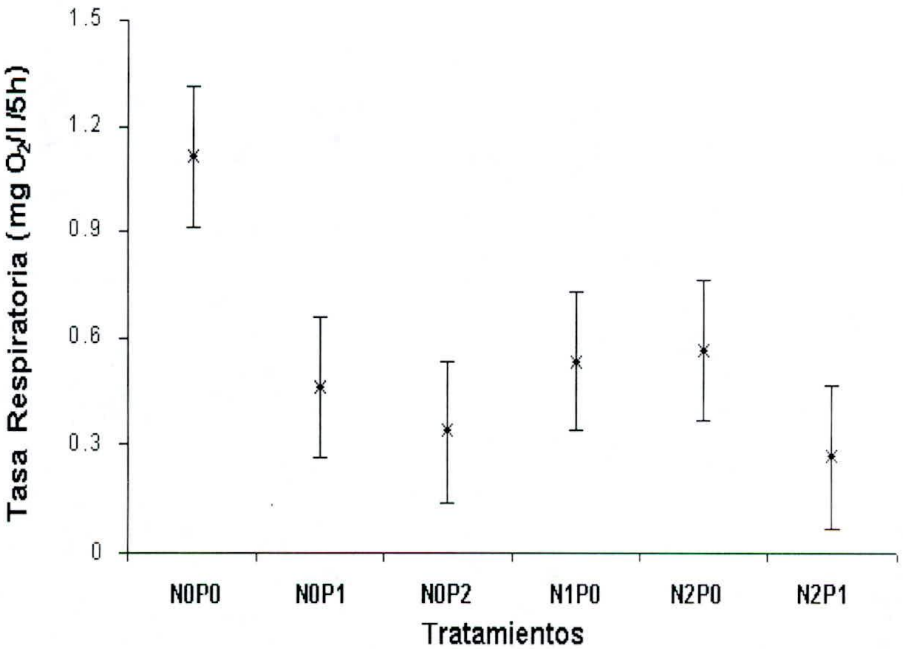


Figura 18. Variación de la tasa Respiratoria media entre tratamientos en el segundo bioensayo, realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Los resultados obtenidos en la tasa respiratoria muestran que esta disminuye en todos los casos donde hay adición de nutrientes (figura 18). Entre los tratamientos y el control hubo diferencias estadísticamente significativa (F=6,92; P=0,0177) (Anexo, tabla 15). Entre los tratamientos no se muestra diferencias estadísticamente significativas (Anexo, tabla 16).

De forma similar a lo ocurrido en el primer bioensayo realizado en esta zona la concentración de ortofosfatos después de la incubación, también disminuye cuando se adiciona este nutriente en menor concentración, cuando se adicionan los nutrientes en forma combinada disminuye también la concentración (tabla 4). La concentración de amonio, una de las formas de nitrógeno adicionadas, muestra una disminución; esto sucede con el tratamiento N1P0 (0,5 mg/l). En la figura 19 se muestra la relación N:P después de la incubación en cada uno de los tratamientos utilizados.

En la Ciénaga de Pajaral, aunque en el segundo bioensayo se muestra una respuesta positiva de la tasa fotosintética a la adición de nutrieres en general el patrón de respuesta para cada uno de los tratamientos es similar en ambos bioensayos, ya que los mayores valores entre los tratamientos se dan al adicionar nitrógeno y fósforo en concentración de 0,5 mg/l (N1P0 y N0P1), y en especial con fósforo. Las diferencias encontradas entre estos bioensayos pudo deberse a dos razones:

1) La concentración inicial de nutrientes fue mucho mayor en el primer bioensayo, lo cual pudo haber causado un estrés fisiológico a la comunidad fitoplanctónica cuando hubo adición de nutrientes.

2) La comunidad fitoplanctónica presente fue diferente, si bien en el segundo bioensayo existían casi los mismos grupos, la abundancia de grupos como las diatomeas incrementó haciendo más notoria la respuesta de este grupo a la adición de nutrientes.

Tabla 4. Concentración de nutrientes obtenidas después de la incubación del segundo bioensayo realizado en la Ciénaga Pajaral.

Tratamientos	Ortofosfatos mg/l	Amonio mg/l	Nitrato mg/l	NIT mg/l
N0P0	6,70	0,13	0,01	0,27
N0P1	5,50	0,13	0,01	0,27
N0P2	7,10	0,13	0,01	0,27
N1P0	6,70	0,08	0,14	0,35
N2P0	6,70	0,18	0,22	0,43
N2P1	6,40	0,13	1,38	1,64

*Nitrógeno inorgánico total

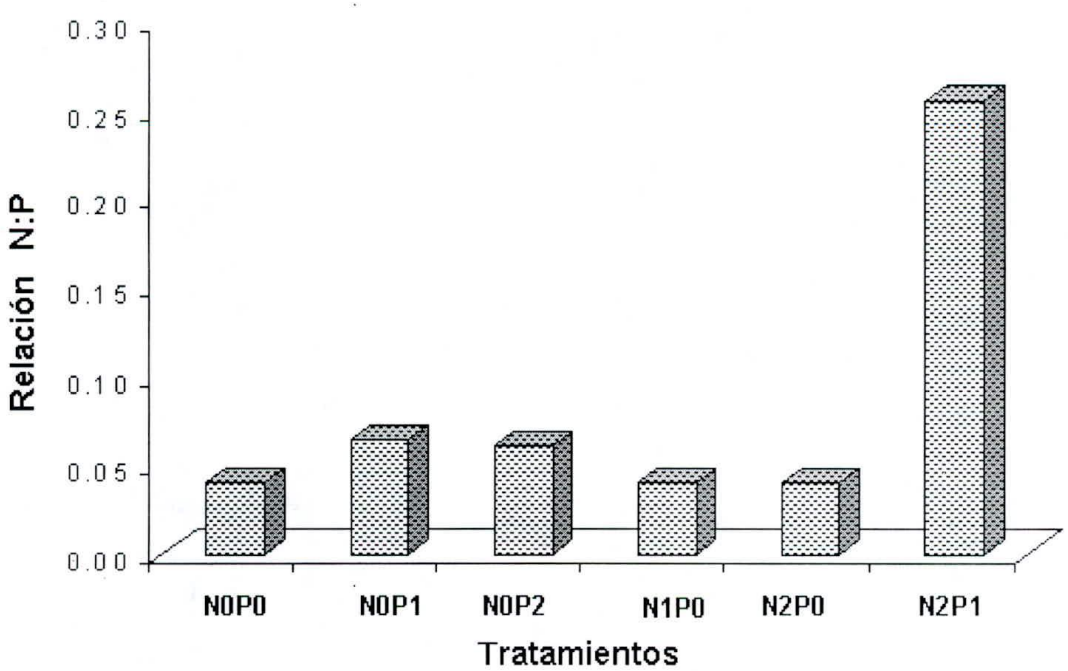


Figura 19. Relación N:P en cada uno de los tratamientos al final del segundo bioensayo realizado en la Ciénaga Pajaral.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

3.2.1.2. Bioensayos realizados en el río Fundación.

El primer bioensayo: Realizado en el mes de agosto, los valores de la tasa fotosintética no fueron superiores al obtenido en el control (figura 20); el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas (F= 9,40; P=0,0011) (Anexo, tabla 17). El mayor valor entre los tratamientos donde se adicionó nutrientes se obtuvo utilizando fósforo en menor concentración (N0P1), pero sin presentar diferencias significativas con el control (Anexo, tabla 18); la mayor diferencia se obtuvo cuando se adicionó fósforo en una concentración de 2,0 mg/l. Entre los tratamientos N1P0, N2P0 y N2P1 no hubo diferencias significativas (Anexo, tabla 18), pero en este último se observa el mayor incremento entre los tratamientos donde se adicionó nitrógeno.

Este bioensayo se realizó en el mes de agosto fecha donde se registran los valores más altos de ortofosfatos, evidenciando de igual forma que el primer bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral, la respuesta de la comunidad fitoplanctónica a la adición de nutrientes especialmente fósforo en una concentración de 2,0 mg/l fue similar. Sin embargo, los valores que se muestran en la figura 20 son negativos evidenciada por la alta tasa respiratoria que se presentó en el sistema, demostrando de esta manera que pudo haberse dado una alta actividad heterotrófica, de hecho el grupo de mayor abundancia en el bioensayo fueron los flagelados, comunidad que puede tener un comportamiento heterotrófico.

La tabla ANOVA (Anexo, tabla 19) muestra que no hay diferencias significativas (F=3,83; P=0,0665) entre los resultados obtenidos en la tasa respiratoria, solo se presentó diferencias significativas (Anexo, tabla 20) entre el control y el tratamiento donde se adicionaron los nutrientes en forma combinada (N2P1), y en este caso la tasa respiratoria disminuyó. Entre los demás tratamientos no hubo diferencias significativas (figura 21).

Los valores de concentración final de los nutrientes adicionados en este bioensayo mostraron un comportamiento diferente a los obtenidos en la zona de Pajaral. La concentración aumentó de acuerdo con la concentración de los tratamientos utilizados (tabla 5). En la figura 22 se muestra la relación N:P después de la incubación en cada uno de los tratamientos utilizados.

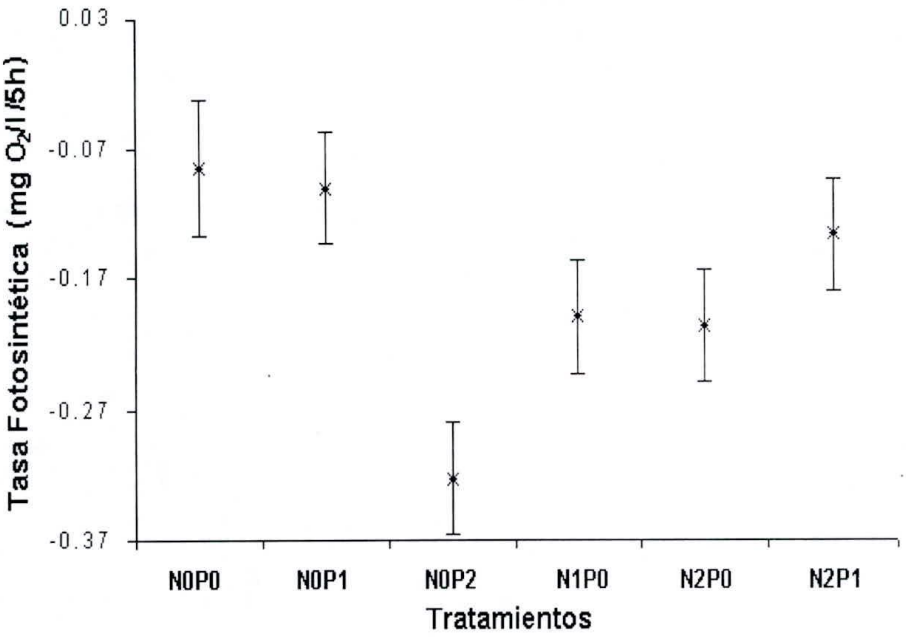


Figura 20. Variación de la tasa Fotosintética media entre tratamientos en el primer bioensayo, realizado en el río Fundación.

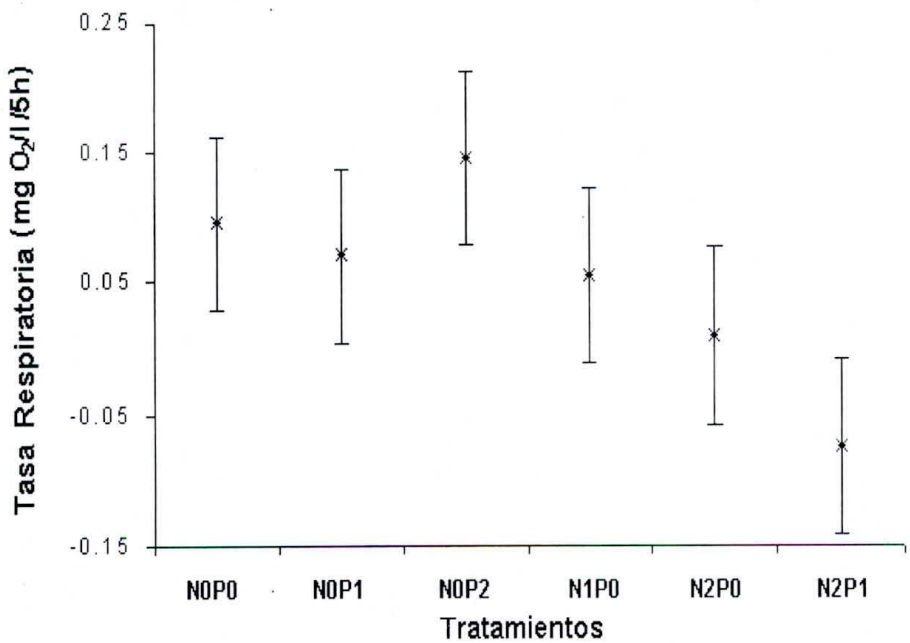


Figura 21. Variación de la tasa Respiratoria media entre tratamientos en el primer bioensayo, realizado en río Fundación.

Tabla 5. Concentración de nutrientes obtenidas después de la incubación del primer bioensayo realizado en el río Fundación.

Tratamientos	Ortofosfatos mg/l	Amonio mg/l	Nitrato mg/l	NIT mg/l
N0P0	3,70	0,03	0,01	0,08
N0P1	4,00	0,03	0,01	0,08
N0P2	4,90	0,03	0,01	0,08
N1P0	3,70	0,07	0,08	0,19
N2P0	3,70	0,10	0,34	0,48
N2P1	3,80	0,18	1,43	1,65

*Nitrógeno inorgánico total

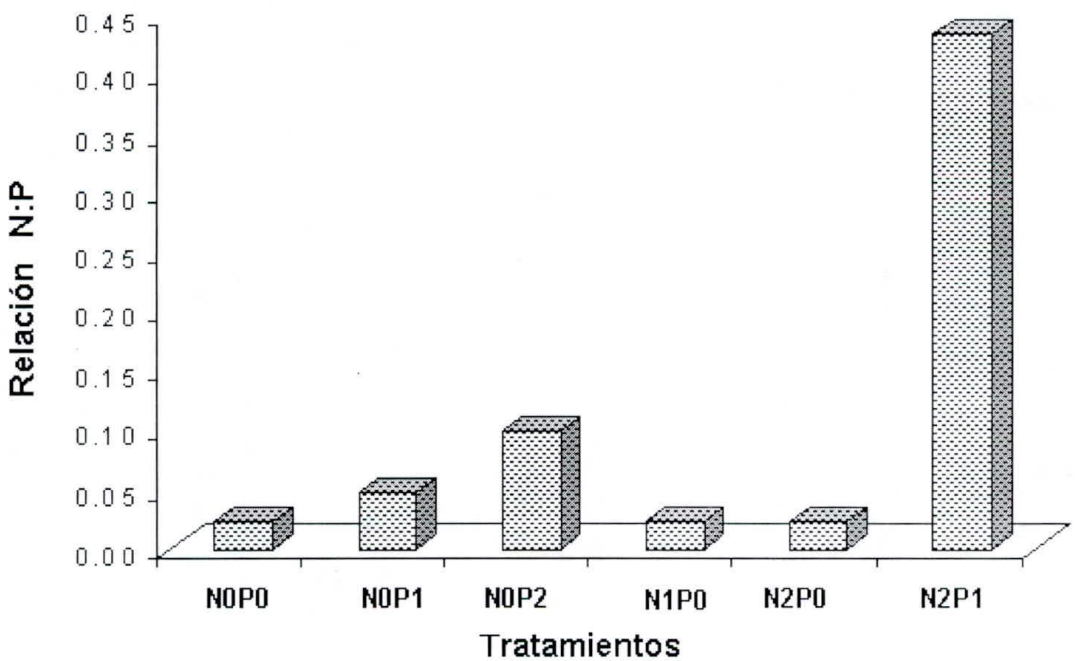


Figura 22. Relación N:P en cada uno de los tratamientos al final del primer bioensayo en el río Fundación.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

En el segundo bioensayo: Realizado en el mes de septiembre, hubo incremento de la tasa fotosintética con respecto al control cuando se adicionó nitrógeno: a) En baja concentración (N1P0) aumentó con respecto al control, b) En alta concentración (N2P0) aumenta y su valor es mayor que lo observado en tratamiento N1P0. El valor más alto de tasa fotosintética se obtuvo cuando se adicionó fósforo en baja concentración (N0P1), los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas (F=36,58 ;P=0,000) (Anexo, tablas 21 y 22) entre control y los tratamientos utilizados. La tasa fotosintética durante este bioensayo disminuye con respecto al control y los demás tratamientos cuando se adicionó fósforo en una concentración en alta concentración (N0P2) (figura 23).

Los resultados encontrados en este bioensayo muestran un comportamiento similar al obtenido en el segundo bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral, aunque en este último se observa un aumento más pronunciado (con respecto al control) de la tasa fotosintética cuando se adicionó fósforo en una concentración de 0,5 mg/l (N0P1). Cushing y Horwood (1998), encontraron que las más alta productividad primaria se da cuando hay un incremento moderado de nutrientes, en bioensayos realizados en botellas.

Bioensayos realizados en ecosistemas de agua dulce muestran que el fósforo es generalmente el principal nutriente limitante (Rhee, 1896; Hecky y Kilham, 1988).

La mayor parte de la comunidad presente en este bioensayo está compuesta por flagelados, Escarvage, *et al* (1996) observaron un cambio en la composición de especies cuando la concentración de fósforo aumentó, y que el grupo de los flagelados se ve favorecido por dicho incremento al igual que la productividad en el estuario Oosterschelde (Suroeste de Holanda).

Los valores obtenidos en la tasa respiratoria al igual que en el primer bioensayo realizado en esta zona no muestran diferencias significativas (F=1,29; P=0,3762) (Anexo, tablas 23 y 24) entre el control y los demás tratamientos (figura 24).

Como se manifestó anteriormente se desconoce que la tasa respiratoria de la comunidad fitoplanctónica esté afectada por la adición de nutrientes, resultado obtenido aquí.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA CENTRAL

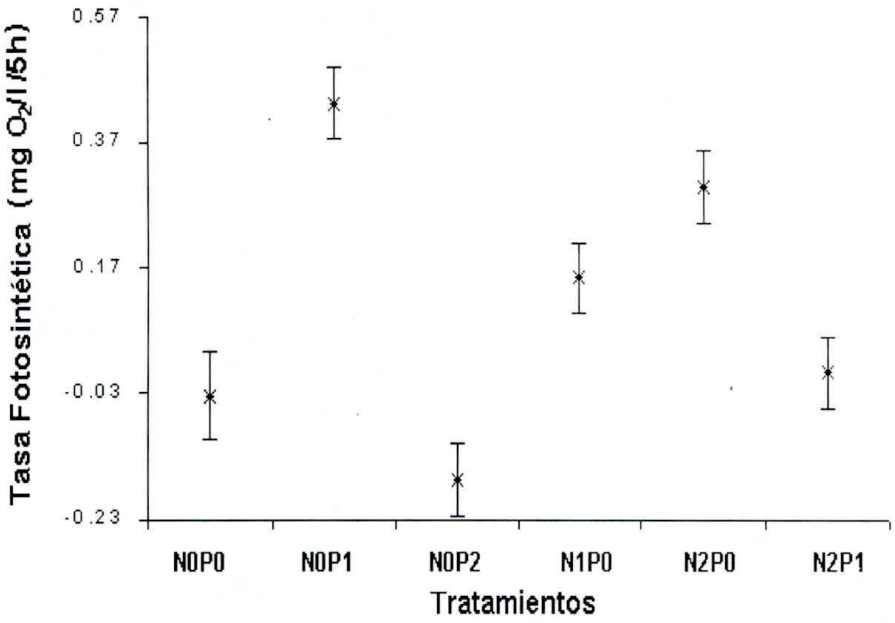


Figura 23. Variación de la tasa Fotosintética media entre tratamientos en el segundo bioensayo, realizado en el río Fundación.

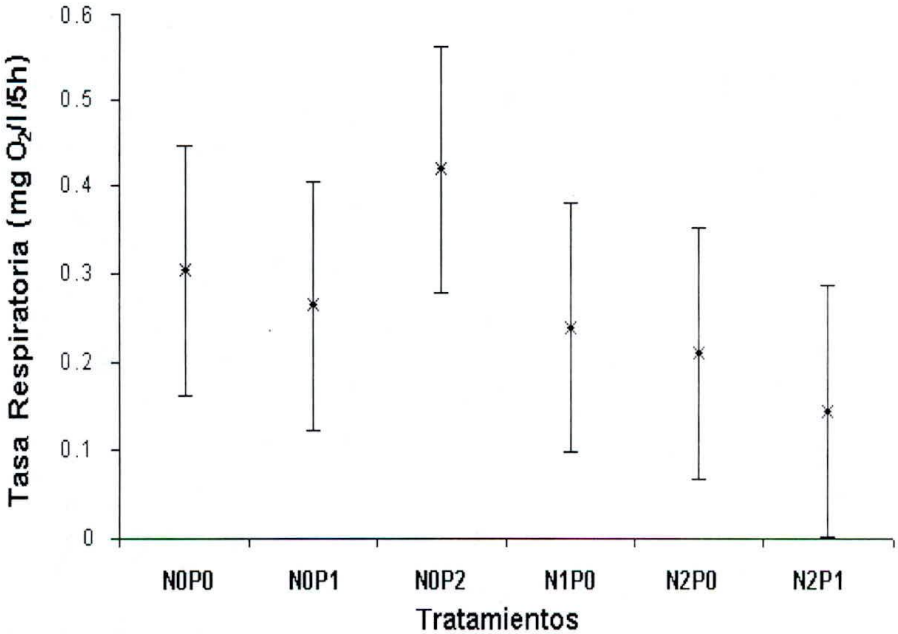


Figura 24. Variación de la tasa Respiratoria entre tratamientos en el segundo bioensayo, realizado en el río Fundación.

Tabla 6. Concentración de nutrientes obtenidas después de la incubación del segundo bioensayo realizado en el río Fundación.

Tratamientos	Ortofosfatos mg/l	Amonio mg/l	Nitrato mg/l	NIT mg/l
N0P0	2,50	0,02	0,25	0,63
N0P1	2,40	0,02	0,25	0,63
N0P2	2,90	0,02	0,25	0,63
N1P0	2,50	0,02	0,52	0,90
N2P0	2,50	0,02	0,65	0,93
N2P1	2,50	0,05	1,95	2,36

*Nitrógeno inorgánico total

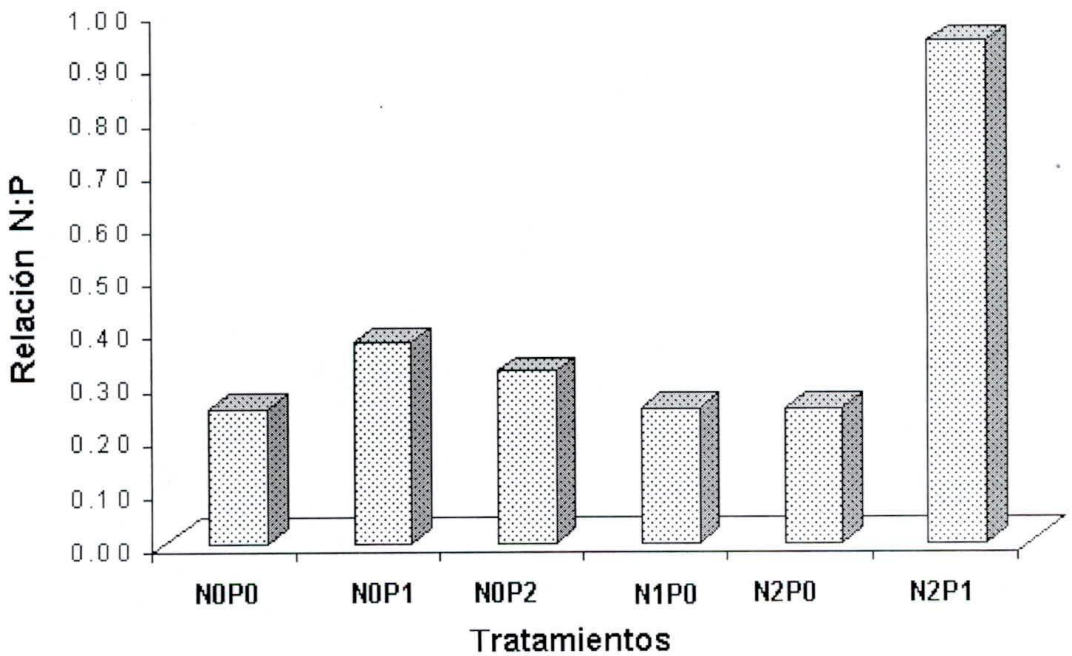


Figura 25. Relación N:P en cada uno de los tratamientos al final del segundo bioensayo en el río Fundación.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

En este bioensayo la concentración de ortofosfatos disminuyó después de utilizar el tratamiento con menor concentración de este nutriente (tabla 6). La concentración final de amonio después de terminado el ensayo fue igual a la concentración inicial cuando se adicionaron las concentraciones de 0,5 y 2,0 mg/l (tabla 6); Bernhard y Peele (1997) encontraron que la concentración de los nutrientes inorgánicos adicionados a los bioensayos disminuyó durante todas las incubaciones, pero los que mostraron más reducción fueron los tratamientos donde se adicionó nitrógeno, y concluyeron que este el nutriente limitante durante el verano en la Bahía Padilla. En la figura 25 se muestra la relación N:P después de la incubación en cada uno de los tratamientos utilizados.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Los ambientes utilizados para desarrollar este tipo de experimentos no permiten que estos se realicen un lapso de tiempo más largo, de tal forma que se pueda observar una respuesta más clara de la comunidad fitoplanctónica a la adición de nutrientes. Rhee (1986) argumenta que la productividad de la comunidad fitoplanctónica está dada por la tasa de abastecimiento de los nutrientes. Barnes y Man, (1991) y González, (1998) afirman que en bioensayos de tipo estáticos (cuando su duración es prolongada) tienen el inconveniente que impiden la entrada de nutrientes, lo que no ocurre en el medio natural. Por otra parte la productividad en este tipo de ecosistema puede estar controlada por las altas tasa de reciclaje interno de los nutrientes entre el medio pelágico y bentónico, o por ambos factores (Sánchez y Zea, 2000; Andersen *et al.*, 1991).

Los bioensayos de adición de nutrientes son una prueba útil para valorar el papel del nitrógeno y fósforo sobre la productividad primaria. Tiempos cortos de incubación de fitoplancton con adición de nutrientes proveen una idea de qué factores limitan el crecimiento de poblaciones fitoplanctónicas existentes (O'donohue *et al.*, 1997).

En los bioensayos donde hubo un incremento de la tasa fotosintética se observó un notable consumo de nutrientes en especial ortofosfatos y amonio que pueden estar evidenciando dicho incremento. Dortch *et al.*, (1982) dividió los nutrientes en dos categorías: nutrientes de reciclaje (ortofosfatos y amonio) y nutrientes provenientes de fuente adyacentes (silice y nitrato) y argumenta que los nutrientes de reciclaje muestran una respuesta inmediata de toma cuando estos nutrientes son adicionados en el agua.

Los siguientes autores Bais *et al.*, (1997); Bernhard y Peele, (1997); Levine *et al.*, (1997); Suzuki *et al.*, (1997); Mozetic *et al.*, (1997); Cushing y Horwood, (1998); Gonzáles y Ortaz, (1998); Schlüter, (1988) encontraron que en la mayoría de los bioensayos que realizaron para determinar la respuesta de la comunidad fitoplanctónica a adición de nutrientes, la mayor respuesta se presenta cuando se adicionan nutrientes en forma combinada en

especial nitrógeno y fósforo a muestras de agua natural y que el fósforo es el nutriente más limitante en verano.

En los bioensayos realizados en el presente estudio la relación N:P antes y después de adicionar los nutrientes siempre fue inferior a 16:1 indicando una limitación de nitrógeno, sin embargo, las mayores respuestas a la adición de nutrientes se dio cuando se adicionó fósforo y se podría pensar que los requerimientos de la comunidad fitoplanctónica presente en cada uno de los bioensayos son menores a la relación "Redfield", ya que no todas las especies tienen los mismos requerimientos de nutrientes (Rhee, 1986; Hecky y Kilham, 1988).

Los resultados obtenidos en la tasa respiratoria no muestran un patrón de comportamiento definido, aunque en la revisión bibliográfica realizada no se encontró estudios relacionados con este fenómeno, se desconoce que la adición de nutrientes afecte la tasa respiratoria, sin embargo, al final de las incubaciones se presentan diferencias significativas (en los bioensayos realizados en la Ciénaga de Pajaral). Estas diferencias encontradas son pequeñas, el método estadístico utilizado lo considera como estadísticamente significativas y deben tenerse en cuenta las consideraciones realizadas en la metodología.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

5. CONCLUSIONES

La Tasa fotosintética de la comunidad fitoplanctónica en la Ciénaga de Pajaral y río Fundación aumenta cuando se adiciona al agua bajas concentraciones (0,5 mg/l) de nitrógeno y fósforo, aunque con este último en mayor proporción.

Posiblemente, cuando se adiciona a muestras de agua natural mayores concentraciones de nutrientes se puede dar una respuesta que requiere de más tiempo para ser detectado o se estaría cumpliendo la Ley de Shelford (de tolerancia).

Los resultados también dan indicio de que el fósforo es el nutriente limitante para la mayoría de las especies del fitoplancton durante la realización de los bioensayos y este fenómeno se enmascara por la presencia de las Cianófitas fijadoras de nitrógeno que se independizan del depósito de nitrógeno disuelto en el agua.

Los resultados obtenidos en los bioensayos indican que la metodología utilizada permite valorar la respuesta metabólica de la comunidad fitoplanctónica al adicionar nitrógeno y fósforo a las aguas naturales provenientes de la Ciénaga de Pajaral y río Fundación (Caño Jobo).

Los bioensayos coincidieron en los momentos que las concentraciones naturales de ortofosfato en el agua eran altas (ver figura 8) con relación a los otros muestreos realizados en el Proyecto. Es posible que dadas otras concentraciones naturales de nutrientes la respuesta de la comunidad fitoplanctónica a la adición de nutrientes sea diferente a la observada.

La respuesta de la comunidad fitoplanctónica a la adición de nutrientes depende tanto de la concentración inicial de nutrientes en el agua como la estructura de la comunidad fitoplanctónica presente.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

En las referencias bibliográficas consultadas no se encontró relación alguna entre la adición de nutrientes y la tasa respiratoria de la comunidad fitoplanctónica; sin embargo, se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y el control, en los bioensayo realizados en la Ciénaga de Pajaral.

La causa de que ocurra una diferencia en la tasa respiratoria se atribuye a tres posibles causas: 1) Un aumento en la tasa respiratoria de la comunidad de bacterias. 2) Que efectivamente se de un aumento en la tasa respiratoria como respuesta a una alta concentración de nutrientes que aumenta el gasto respiratorio (cumpliendo la Ley de Tolerancia de Shelford). Estos eventos no han sido reportados en la investigaciones publicadas que fueron consultadas. 3) Las algas (por no estar los frascos sometidos a agitación) pudieron haberse sedimentado (tanto las vivas como las muertas), lo que podría haber incrementado la fijación de oxígeno y con ello la tasa respiratoria por parte de las bacterias que participan en la descomposición. 4) Errores inherentes al método de valoración de oxígeno por el método de Winkler para el que se estima que el viraje de color azul a traslucido es en promedio 0.05 mgO_2 /l.

La comunidad del fitoplancton de las dos zonas (Ciénaga de Pajaral y río Fundación) donde se realizaron los bioensayos eran diferentes así como las características físicas y químicas de las aguas, la concentración de nutrientes es mayor en la Ciénaga de Pajaral.

La comunidad fitoplanctónica de la Ciénaga de Pajaral se caracteriza por la dominancia de cianófitas (grupo importante por su aporte en numero de especies como densidad de algunas de sus especies que llega a ser más del 90%), siguen en importancia las diatomeas, clorófitas y euglenófitas.

En el río Fundación a la altura de la desembocadura de Caño Jobo, la densidad de fitoplancton es baja, sus aguas son de color pardo doradas, con un alto contenido de materia orgánica disuelta y que su origen sea muy posible del bosque inundado por el que corren las aguas adicional a la carga orgánica que entra a lo largo de la cuenca del río Fundación. La comunidad fitoplanctónica está constituida por cianófitas pero el grupo más importante son flagelados (si bien con pocas especies estas se presentan en alta densidad). Es menor la contribución de diatomeas, clorófitas y euglenófitas. Las especies fitoplanctónicas presentes indican un ambiente rico en materia orgánica.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda que para evaluar en el mediano y largo plazo la respuesta del fitoplancton a la adición de nutrientes se realice en condiciones de mesocosmos ya que es muy posible que lo observado en estos bioensayos de microcosmos esté dando una respuesta muy diferente a lo que ocurre en el medio natural.

También es muy posible que la respuesta de la comunidad fitoplanctónica a la adición de nutrientes cambie en función del tiempo y se requiere de incubación por tiempos más prolongados a los utilizados en esta investigación y utilizando como indicador el cambio adicionales a la tasa fotosintética la concentración de clorofila a y feopigmento a, así como la abundancia de células fitoplanctónicas.

También es recomendable realizar este tipo de investigaciones en la época sequía y época lluviosa para conocer la respuesta de la comunidad en otras posibles combinaciones de concentración de nutrientes, con valores mucho más bajos y altos.

Es muy importante que para realización de este tipo de investigaciones (bioensayos) se introduzcan nuevas tecnologías que permitan observar los procesos biológicos de la forma más parecida a como ocurren en el medio natural.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

7. Bibliografía

ANAGNOSTIDIS, K. y J. KOMAREK, 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3-Oscillatoriales. Arch. Hidrobiol. Suppl. 80, 1-4 (Algological Studies 50-53). Stuttgart. 327-472.

ANDERSEN, T., A. K. SCHARTAU y E. PAASCHE, 1991. Quantifying external and internal nitrogen and phosphorus pools, as well as nitrogen and phosphorus supplied through remineralization, in coastal marine plankton by means of a dilution technique. Mar Ecol. Prog. Ser. 69: 67-80.

BAIS, V. S., N. AGRAWAL y T. ARASTA, 1997. Seasonal changes in phytoplankton productivity due to artificial enrichment of nutrients. A situ experiment. Journal of Environmental Biology. 18(3): 249-255.

BARNES, R. S. Y K. H, MAN, 1991. Fundamentals of aquatic ecology. Second edition. Blackwell science Ltd. Editorial. 326 p.

BEATY, M. H. y B. C. PARKER, 1996. Response of phytoplankton primary productivity to nutrient enrichment at Mountain Lake, Virginia. J.-FRESHWAT.-ECOL. 11(4): 421-431.

BERNAL, G. y J. BETANCUR, 1995. Características geomorfológicas y sedimentológicas como indicadoras de procesos físicos en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, plano deltaico del río Magdalena, Colombia. COLCIENCIAS. INVEMAR. Universidad EAFIT. 52 p.

BERNHARD, A. E. y E. R. PEELE, 1997. Nitrogen limitation of phytoplankton in a shallow embayment in northern Puget Sound. Estuaries 20(4): 759-769.

BONEY, A. D., 1975. Phytoplankton. The institute of biology's. Studies in biology N_0 52. Edward Arnola (Publishers) Limited. 116 p.

CABECADAS, G., M. J. BROGUEIRA y C. ROCHA, 1994. Nutrients in the control of primary productivity of the Sado Estuary. Seminar on the Fishery Resources, Environment, Aquaculture and Quality of Fishery Products of the Setubal Peninsula, Setubal (Portugal), 26-27 Apr 1991. PUBL.-AVULS.-IPIMAR. 1: 61-70.

CASTAÑO, J. D., 1990. Estudio de la composición y abundancia del zooplancton en el Complejo de ciénagas y caños de Pajaral, Delta Exterior del Río Magdalena. Tesis Biólogo Marino. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 169 p.

CIOH, 2000. Carta batimétrica del complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta, Mar Caribe, República de Colombia. Según levantamientos hidrográficos efectuados por la dirección general de la Armada, 2000. Compilación efectuada por el Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas en coloaboración con el INVEMAR, CORPAMAG, COLCIENCIAS Y GTZ.

CORPAMAG, 1993. Plan de recuperación y manejo del complejo deltaico – estuarino del río Magdalena. Santa Marta.

CUSHING, D. H. y J. W. HORWOOD, 1998. Experiments on nutrient limitations in bottles. Journal-of-Plankton-Research. 20(8): 1527-1538.

DORTCH, Q. et al. 1982. Response of marine phytoplankton to nitrogen deficiency: decreased nitrate uptake vs enhanced ammonium uptake. Marine Biology. 70: 13-19.

DUQUE, S., 1995. Euglenofitas pigmentadas de la Amazonía Colombiana. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19(75): 651-659.

ESCARAVAGE, V., T. C. PRINS, A. C. SMAAL y J. C. PEETERS, 1996. The response of the phytoplankton communities to phosphorus input reduction in mesocosm experiments. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 198: 55-79.

ESCOBAR, A., 1990. Clorofila a, materia en suspensión, DBO, nutrientes e hidrografía del complejo de ciénagas de Pajaral, Caribe Colombiano. Memorias VII Seminario Nacional de la Ciencias del Mar. Cali. 1990. p 67-83.

ESTUDIOS Y ASESORIAS., 1989. Experimentos numéricos para el estudio del comportamiento hídrico reciente de las ciénagas de Pajaral y la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe final. Bogotá. 83p.

FISTZGERALD, G. P., 1971. The Biotic Relationships Within Water-Blooms. Selected papers in Phycology. Dep. Bot. Univ. of Nebraska: 26-32.

GAARDEN y GRAN. 1927. Investigation of the production of the plankton in the Oslo Fjork. Cons. Int. Explor. Mer. 42: 1-48.

GAXIOLA, G. C. y S. B. ÁLVAREZ, 1978. Sistema del bióxido de carbono en el golfo de California. Cienc. Mar. 5(2): 25-40.

GOCKE, K., 1986. Manual para determinar los procesos de producción y degradación en biotopos marinos, especialmente en laguanas costeras y manglares (mimeógrafo), Biblioteca INVEMAR, Santa Marta, Colombia. 86 p.

GONZÁLEZ, E. J. y M. ORTAZ, 1998. Efectos del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad del fitoplancton en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa, Venezuela). Rev-Biol-Trop. 46(1): 27-34.

GONZALEZ DE INFANTE, A., 1988. El plancton de las aguas continentales. Serie Biología. Monografía 33. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C. 125 p.

HECKY, R. E. y P. KILHAM, 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. Limnol. Oceanogr., 33(4, part 2): 796-822.

HERNÁNDEZ, J., P. V. HILDEBRAND Y R. ALVAREZ-LEON, 1980. Problemática del manejo de manglares con especial referencia al sector occidental de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena, Colombia. Memorias del seminario sobre estudio científico e impacto humano en el ecosistema de manglares. UNESCO, Cali, Colombia. 363-386.

HERNANDÉZ, C. A., 1988. Características físicas, químicas y biológicas de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Informe segunda parte. INVEMAR – COLCIENCIAS. Santa Marta. 73 p.

HERNANDEZ, C. A. y K. GOCKE, 1990. Productividad primaria en el ecosistema Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín 19-20:101-119.

HERNÁNDEZ, C. A. y G. E. MARQUEZ, 1991. Producción primaria en el ecosistema Ciénaga Grande de Santa Marta, laguna costera del Caribe Colombiano. Trianea, 4: 385-407.

HERANANDEZ, C. A., D. VEGA, A. BAEZ, M. CORREA, C. MARTINEZ, I. STEBA, 2001. Monitoreo de los procesos indicadores de recuperación del ecosistema en El Delta Exterior Derecho del Río Magdalena. Informe final. Poyecto financiado por COLCIENCIAS y cofinanciado por la Universidad del Magdalena, CORPAMAG, GTZ y UAESPNN Código: 1117-09-040-98. 95 p.

HOLDRIDGE, L., W. C. GRANKE, W. J. HATHAWAY, T. LIANG y J. A. TOSI. 1971. Forest environments in tropical life zones; a pilot study. Pergamon press, New York. 747p.

IDEAM. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), 2002. Condiciones ambientales en Colombia. Informe N^0 71. 49 p.

IGAC., 1969. Atlas general de Colombia, Bogotá.

IGAC., 1973. Monografía del departamento del Magdalena. Min. Hacienda y Crédito Público. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Bogotá. 146 p.

INDERENA., 1987. Estudios y diseños complementarios para la construcción de las obras de recuperación de la región deltáico estuarina del Río Magdalena en especial del área del Parque Nacional Natural Isla Salamanca. Informe final. SODEIC Ltda. Ingenieros consultores e interventores.

INVEMAR., 2000. Informe anual sobre el estado de los recursos marinos y costeros: Programa SINAM- unidad coordinadora de información.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

KOMAREK, J. y K. ANAGNOSTIDIS, 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 2-Chroococcales. Arch. Hidrobiol. Suppl. 73, 2 (Algological Studies 43). Stuttgart. 157-226.

KOMAREK, J. y K. ANAGNOSTIDIS, 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4-Nostocales. Arch. Hidrobiol. Suppl. 82, 3 (Algological Studies 56). Stuttgart. 247-345.

LEVINE.S. N., A. D. SHAMBAUGH, S. E. POMEROY y M. BRANER, 1997. Phosphorus, nitrogen, and silica as controls on phytoplankton biomass and species composition in Lake Champlain (USA-Canada). Journal of Great Lakes Research. 23(2): 131-148.

LORENZEN, C. J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: Spectronic equations: Limnol. Oceanogr. 12: 343-346.

MANN, K., 1982. Ecology of coastal waters. Estudies in ecology. University of California. Press. Berkeley. V.8, 322 p.

MARGALEF, R., 1983. Limnología. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 1010 p.

MOGOLLÓN, M., 1996. Estructura de la comunidad fitoplanctónica en el Complejo de Pajarales, Costa Caribe colombiana. Tesis de grado, Biólogo Marino. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 74 p.

MOZETIC, P., V. TURK, A. MALEJ, S. TERZIC, M. AHEL y G. CAUWET, 1997. Coastal plankton response to nutrient enrichment: An experimental system. Water Pollution Iv. Modelling, Measuring And Prediction. Rajar, R.; Brebbia, C.A. eds. Computational Mechanics Publications. 349 p.

NAVAS, G., 1999. Flujos de nitrógeno y fósforo en la interfase agua – sedimento en una Laguna Costera Tropical (Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano). Tesis de grado, Magister Scientiae. Universidad Nacional de Colombia. 91 p.

O'DONOHUE, M. J. y W. C. DENNISON, 1997. Phytoplankton productivity response to nutrient concentrations, light availability and temperature along an Australian estuarine gradient. Estuaries. 20(3): 521-533.

PARRA, O., M. GONZALES, V. DELLAROSA, P. RIVERA y M. ORELLANA, 1982. Manual taxonómico de fitoplancton de aguas continentales. Con especial referencia al fitoplancton de Chile. I – Cyanophyceas. Universidad de Concepción. Chile. 70 p.

PROCIENAGA, 1994. Estudio de impacto ambiental. Proyecto: Reapertura de canales en el Delta Exterior Derecho del Río Magdalena. Informe final. Santa Marta. 382 p.

RAMIREZ, J. J., F. L. GUTIERREZ y A. VARGAS, 2002. Respuesta de la comunidad fitoplanctónica a experimentos de eutroficación artificial realizados en la represa la Fe, el Retiro, Antioquia, Colombia. V seminario colombiano de limnología y I reunión internacional de limnología del alto amazonas. Leticia (amazonas) - Colombia, mayo 20 al 24 de 2002. Resumen. p 7.

RHEE, G -Y., 1986. Effects of environmental factors and their interactions on phytoplankton growth. En: PAERL H. W. Factors Limiting Productivity of Freshwater Ecosystem: 33-74.

ROJAS, P., 2000. Caracterización fisicoquímica de la Ciénaga de Pajaral, Caribe colombiano, por medio de la aplicación de técnicas geoestadisticas. Tesis Biólogo Marino. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 132 p.

ROLDAN, G., 1989. Fundamentos de Limnología tropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. 239 p.

RONDON, E., 1991. Estimación de la productividad fitoplanctónica en las Ciénagas del Complejo Pajarales, Caribe colombiano. Tesis, Biólogo. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 80 p.

RUIZ, D. M., 1999. Valoración cualitativa y cuantitativa del fitoplancton en ciénagas del delta exterior derecho del río Magdalena y su relación con la reapertura del Caño Clarín. Tesis, Biólogo Marino. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 183 p.

SÁNCHEZ, G. E., L. A. VIDAL, G. GUILLOT Y E. MORALES, 2001. Evaluación Del Crecimiento De La Diatomea *Actinocyclus Normanii* Hustedt, Procedente De La Ciénaga Grande De Santa Marta (CGSM), En Condiciones De Laboratorio. COLACMAR 2001 Resumen.

SANCHEZ, R. y S. ZEA, 2000. Metabolismo de nitrógeno y fósforo inorgánicos disueltos en la columna de agua en una Laguna Costera Tropical (Caribe Colombiano). Caribbean Journal of Science. Vol 36 (1-2): 127-140.

SCHLÜTER, L.., 1998. The influence of nutrient addition on growth rates of phytoplankton groups, and microzooplankton grazing rates in a mesocosm experiment. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 228: 53-71.

SCOR-UNESCO., 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea water. Monographs on oceanographic methodology. Unesco. Paris. 1: 11-18.

SHILO, M, 1980. Factores implicados en la dinámica de las proliferaciones de algas en la naturaleza. Conceptos unificados de ecología. Ed. Blume:160-167 p.

STREBLE, H. y D. KRAUTER, 1987. Atlas de las Microorganismos de Agua Dulce: La vida en una gota de agua. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 336 p.

STRICKLAND, J. y T. PARSONS. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Canada Bull:167-311.

SUZUKI, K., N. HANDA, T. NISHIDA y C. S. WONG, 1997. Estimation of phytoplankton succession in a fertilized mesocosm during summer using high-performance liquid chromatographic analysis of pigments. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 214(1-2): 1-17.

TORO, B., 1995. Factibilidad ecológica de desarrollar bancos de ostras en la ciénaga de Pajaral. Tesis Biólogo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Biología. Universidad de Antioquia. Medellín. 54 p.

TUNDISI, J. G. y R. HENRY, 1986. Effects of enrichment on the summer surface phytoplanktonic community in a stratified tropical lake (Lake Don Helvécio - parque forestal do rio Doce Minas Gerais). Rev. Brazil. Biol. 46: 231-237.

VIDAL, L. A., 1995. Estudio del fitoplancton en el sistema lagunar estuarino tropical Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, durante el año de 1987. Tesis de grado, Magíster Scientiae. Universidad Nacional de Colombia. Bogota. 208 p.

WIEDEMANN, H., 1973. Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: Physical parameters and geological history. Mitt. Inst. Colombo Alemán Invest. Cient. 7: 85-119.

WINKLER, L. W. 1888. Die bestimmung des in wasser gelosten saverstoffen. Chem. Ber. 21: 2843-2855.

YACUBSON, S., 1969. Algas de ambientes acuáticos continentales para Venezuela. Bol. Centro Inv. Biol. 3: 7-87.

YACUBSON, S., 1972. Catalogo e iconografías de las Cyanophyta de Venezuela. Bol. Centro Inv. Biol. 5: 7-78.

YACUBSON, S., 1974a. Catalogo e iconografías de las Clorophyta de Venezuela. Bol. Centro Inv. Biol. 11: 7-143.

YACUBSON, S., 1974b. El fitoplancton de la Laguna de San Javier Del Valle (Estado Merida), Venezuela. Revue Algologique. 1-2: 91-131.

YACUBSON, S., 1980. Algas del Río Limón y ambientes acuáticos cercanos (Estado Zulia, Venezuela). Bol. Centro Inv. Biol. 14: 1-81.

YACUBSON, S., 1984. Algas del Río Tucuco y ambientes acuáticos de sus alrededores (Estado Zulia, Venezuela). Bol. Centro Inv. Biol. 17: 19-95.

YACUBSON, S. y C. R. BRAVO, 1982. Especies de **Trachelomonas** (Euglenophyta) de algunos cuerpos de agua de los distritos Urdaneta y Perijá (Estado Zulia, Venezuela). Bol. Centro Inv. Biol. 15: 17-47.

YACUBSON, S. y C. R. BRAVO, 1986. Especies de **Phacus** (Euglenophyta) de diversos ambientes acuáticos del Estado Zulia, Venezuela. Bol. Centro Inv. Biol. 17: 47-77.

DEL MAGDALENA
TECA CENTRAL

ANEXOS

Tabla 7. Variables fisicoquímicas de la columna de agua, tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del Río Magdalena.

Mes	Conductividad µS/cm		Salinidad		Temperatura (^{0}C)		Visibilidad (m)	
	C Paj	R Fund	C Paj	R Fund	C Paj	R Fund	C Paj	R Fund
Ago-99	1393	529	0.00	0.00	28.5	27.7	0.19	0.40
Sep-99	1405	571	0.00	0.00	29.5	27.2	0.26	0.53
Oct-99	1882	318	0.00	0.00	28.5	28.0	0.28	0.55
Nov-99	296	sin dato	0.00	sin dato	29.5	sin dato	0.42	sin dato
Dic-99	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
Ene-00	505	sin dato	0.00	sin dato	27.0	sin dato	0.27	sin dato
Feb-00	1181	639	0.00	0.00	28.0	28.0	0.24	0.99
Mar-00	5500	sin dato	1.10	sin dato	27.0	sin dato	0.21	sin dato
Abr-00	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
May-00	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato
Jun-00	30100	sin dato	17.90	sin dato	29.0	sin dato	0.31	sin dato
Jul-00	26500	244	15.70	0.00	30.0	28.5	0.15	0.98
Ago-00	4660	1311	0.80	0.00	29.8	28.5	0.25	1.00
Sep-00	13010	189	7.50	0.00	31.0	27.0	0.27	0.94
Oct-00	5180	190	1.00	0.00	29.0	27.0	0.33	0.84
Max	30100	1311	17.90	0.00	31.0	28.5	0.42	1.00
Min	296	189	0.00	0.00	27.0	27.0	0.15	0.40
Prom	7634.33	498.91	3.67	0.00	28.9	27.74	0.27	0.78
Dv	10296.14	373.06	6.50	0.00	1.19	0.62	0.07	0.25
Cv	1.35	0.75	1.77	0.00	0.04	0.02	0.26	0.32

Tabla 8. Concentración de nutrientes (mg/l) de la columna de agua, tomados del proyecto Monitoreo de los Procesos Indicadores de Recuperación de Ecosistemas en el Delta Exterior Derecho del Río Magdalena.

Mes	Amonio(NH_4^+)		Nitrito(NO_2^-)		Nitrato($NO_3^=$)		NIT*		Ortofosfato(PO_4^{-3})	
	C Paj	R Fund	C Paj	R Fund	C Paj	R Fund	C Paj	R Fund	C Paj	R Fund
Ago-99	0.24	0.01	0.24	0.22	0.03	0.03	0.51	0.26	0.32	0.08
Sep-99	0.23	0.01	0.14	0.22	0.01	0.02	0.38	0.25	0.02	0.27
Oct-99	0.25	0.01	0.15	0.14	0.30	1.00	0.70	1.15	1.10	0.80
Nov-99	0.14	sin dato	0.06	Sin dato	0.02	sin dato	0.22	sin dato	0.09	Sin dato
Dic-99	sin dato	sin dato	sin dato	Sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	Sin dato
Ene-00	0.21	sin dato	0.19	Sin dato	8.60	sin dato	9.00	sin dato	0.50	Sin dato
Feb-00	0.21	0.03	0.36	0.17	2.30	0.38	2.87	0.58	0.8	0.40
Mar-00	0.21	sin dato	0.50	Sin dato	0.50	sin dato	1.21	sin dato	0.36	Sin dato
Abr-00	sin dato	sin dato	sin dato	Sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	Sin dato
May-00	sin dato	sin dato	sin dato	Sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	Sin dato
Jun-00	0.16	sin dato	0.58	Sin dato	3.00	sin dato	3.74	sin dato	1.20	Sin dato
Jul-00	0.3	0.00	0.43	0.14	0.015	0.48	0.88	0.62	0.19	0.6
Ago-00	0.13	0.03	0.56	0.04	0.11	0.04	0.80	0.11	9.50	3.7
Sep-00	0.13	0.02	0.13	0.36	0.01	0.30	0.27	0.68	6.70	2.1
Oct-00	0.11	0.03	0.10	0.03	0.02	0.01	0.23	0.07	5.00	2.3
Max	0.30	0.03	0.58	0.36	8.60	1.00	9.00	1.15	9.50	3.70
Min	0.11	0.00	0.06	0.03	0.01	0.01	0.22	0.07	0.02	0.08
Prom	0.19	0.02	0.29	0.17	1.24	0.28	1.73	0.47	2.15	1.28
Dv	0.06	0.01	0.19	0.11	2.52	0.34	2.54	0.36	3.14	1.28
Cv	0.30	0.65	0.66	0.64	2.03	1.22	1.47	0.78	1.46	1.00

* Nitrógeno inorgánico total (NH_4+NO_2+NO_3)

Tabla 9. Análisis de Varianza: efecto de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa fotosintética calculada en el primer bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla anova de Tasa Fotosintética

Fuente	SS^2	Df	Media S^2	F	P
Entre tratamientos	0.188757	5	0.0377514	44.81	0.0000
Dentro de tratamientos	0.009266	11	0.0008424		
Total corregido	0.19802416				

Tabla 10. Prueba de comparación múltiple para la tasa fotosintética por tratamientos en el primer bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral (Metodo: LSD 95% de confianza).

Tratamientos	Cantidad	Media	Grupos homogéneos
N0P2	3	1.41	X
N2P1	3	1.44	X
N2P0	3	1.45	X
N1P0	3	1.55	X
N0P1	3	1.62	X
N0P0	3	1.73	X

Tabla 11. Análisis de Varianza: efecto de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa respiratoria calculada en el primer bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla anova Tasa respiratoria

Fuente	SS^2	Df	Media S^2	F	P
Entre tratamientos	0.0506667	5	0.0101333	11.69	0.0047
Dentro de tratamientos	0.0052	6	0.0008666		
Total corregido	0.0558667	11			

Tabla 12. Prueba de comparación múltiple para la tasa respiratoria por tratamientos en el primer bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral (Metodo: LSD 95% de confianza).

Tratamientos	Cantidad	Media	Grupos homogéneos		
N1P0	2	1.34	X		
N0P2	2	1.38	X	X	
N2P1	2	1.42		X	
N0P0	2	1.42		X	
N2P0	2	1.43		X	
N0P1	2	1.55			X

Tabla 13. Análisis de Varianza: efecto de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa fotosintética calculada en el segundo bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla anova Tasa Fotosintética

Fuente	SS^2	Df	Media S^2	F	P
Entre tratamientos	9.4746	5	1.89492	167.85	0.0000
Dentro de tratamientos	0.124183	11	0.01128		
Total corregido	9.59879	16			

Tabla14. Prueba de comparación múltiple para la tasa fotosintética por tratamientos en el segundo bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral (Metodo: LSD 95% de confianza).

Tratamientos	Cantidad	Media	Grupos homogéneos		
N2P1	3	9.87	X		
N0P0	3	11.21		X	
N2P0	3	11.23		X	
N0P2	3	11.40		X	
N1P0	3	12.06			X
N0P1	3	12.13			X

Tabla 15. Análisis de Varianza: efecto de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa respiratoria calculada en el segundo bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral.

Tabla anova Tasa Respiratoria

Fuente	SS^2	Df	Media S^2	F	P
Entre tratamientos	0.8989	5	0.17978	6.92	0.0177
Dentro de tratamientos	0.1558	6	0.02596		
Total corregido	1.0547 11				

Tabla 16. Prueba de comparación múltiple para la tasa respiratoria por tratamientos en el segundo bioensayo realizado en la Ciénaga de Pajaral Metodo: LSD 95% de confianza).

Tratamientos	Cantidad	Media	Grupos homogéneos
N2P1	2	0.26	X
N0P2	2	0.33	X
N0P1	2	0.46	X
N1P0	2	0.53	X
N2P0	2	0.56	X
N0P0	2	1.11	X

Tabla 17. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa fotosintética calculada en el primer bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla anova Tasa Fotosintética

Fuente	SS^2	Df	Media S^2	F	P
Entre tratamientos	0.107844	5	0.0215688	9.40	0.0011
Dentro de tratamientos	0.02525	11	0.0022954		
Total corregido	0.133094	16			

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA BIBLIOTECA CENTRAL

Tabla 18. Prueba de comparación múltiple para la tasa fotosintética por tratamientos en el primer bioensayo realizado en el Río Fundación (Metodo: LSD 95% de confianza).

Tratamientos	Cantidad	Media	Grupos homogéneos
N0P2	3	-0.32	X
N2P0	3	-0.20	X
N1P0	3	-0.20	X
N2P1	3	-0.13	X X
N0P1	3	-0.10	X
N0P0	3	-0.08	X

Tabla 19. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobres la tasa respiratoria calculada en el primer bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla anova Tasa Respiratoria

Fuente	SS^2	Df	Media S^2	F	P
Entre tratamientos	0.0574	5	0.01148	3.83	0.0665
Dentro de tratamientos	0.018	6	0.003		
Total corregido	0.0754	11			

Tabla 20. Prueba de comparación múltiple para la tasa respiratoria por tratamientos en el primer bioensayo realizado en el Río Fundación (Metodo: LSD 95% de confianza).

Tratamientos	Cantidad	Media	Grupos homogéneos
N2P1	2	-0.07	X
N2P0	2	0.01	X X
N1P0	2	0.05	X X X
N0P1	2	0.07	X X
N0P0	2	0.09	X X
N0P2	2	0.14	X

Tabla 21. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobre la tasa fotosintética calculada en el segundo bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla anova Tasa Fotosintética

Fuente	SS^2	Df	Media S^2	F	P
Entre tratamientos	0.730272	5	0.146054	36.58	0.0000
Dentro de tratamientos	0.0439167	11	0.003992		
Total corregido	0.774188	16			

Tabla 22. Prueba de comparación múltiple para la tasa fotosintética por tratamientos en el segundo bioensayo realizado en el Río Fundación (Metodo: LSD 95% de confianza).

Tratamientos	Cantidad	Media	Grupos homogéneos			
N0P2	3	-0.16	X			
N0P0	3	-0.03		X		
N2P1	3	-0.003		X		
N1P0	3	0.15			X	
N2P0	3	0.30				X
N0P1	3	0.43				X

Tabla 23. Análisis de Varianza: Efectos de la adición de nitrógeno y fósforo sobres la tasa respiratoria calculada en el segundo bioensayo realizado en el Río Fundación.

Tabla anova Tasa Respiratoria

Fuente	SS^2	Df	Media S^2	F	P
Entre tratamientos	0.0873417	5	0.0174683	1.29	0.3762
Dentro de tratamientos	0.08095	6	0.0134917		
Total corregido	0.0754 11				

Tabla 24. Prueba de comparación múltiple para la tasa respiratoria por tratamientos en el segundo bioensayo realizado en el Río Fundación (Metodo: LSD 95% de confianza).

Tratamientos	Cantidad	Media	Grupos homogéneos
N2P1	2	0.14	X
N2P0	2	0.21	X
N1P0	2	0.24	X
N0P1	2	0.26	X
N0P0	2	0.30	X
N0P2	2	0.42	X

Tabla 25. Abundancia fitoplanctónica obtenidas en cada uno de los bioensayos.

	Ciénaga Pajaral		Río Fundación	
Lista de taxones	Bioensayo 1	Bioensayo 2	Bioensayo 1	Bioensayo 2
CYANOPHYTA				
Anacystis dimidiata	18000	4000	0	0
Merismopedia sp1	14000	46000	0	0
Merismopedia sp2	0	0	2000	1500
Merismopedia sp3	0	0	250	0
Merismopedia sp4	0	1000	0	0
Microcystis robusta	0	0	250	0
Chroococcus limneticus	21000	8000	0	0
Chroococcus turgidus	2000	0	0	0
Spirulina cf princeps	0	2000	0	0
Oscillatoria sp1	21544000	3305000	2000	36250
Oscillatoria sp2	0	0	1000	250
Lyngbya lutea	21168000	0	1011500	1000
Anabaena sp1	0	0	500	0
Anabaena sp2	0	0	250	250
Anabaenopsis sp	27910000	6621000	2000	5500
Cianofita 1	19000	16000	0	0
Cianofita 2	0	43000	500	750
Cianofita 3	0	0	0	1000
DIATOMEAS				
Coscinodiscus sp	0	0	0	250
Acthinocyclus sp	95000	221000	0	250
Paralia sulcata	0	2000	0	0
Entomoneis alata	0	9000	0	0
Gomphonema sp	0	1000	0	0
Gyrosigma macrum	0	0	500	0

Continuación tabla 25

Gyrosigma sp	0	3000	1000	0
Navicula Transitans	39000	2034000	24250	0
Navicula sp1	27000	80000	250	0
Navicula sp2	2000	73000	500	1500
Fallacia sp	2730000	3774000	500	500
Pinnularia sp	0	0	250	750
Pleurosigma sp	0	0	750	0
Nitzschia closterium	1000	96000	500	0
Nitzschia constricta	0	3000	0	0
Nitzschia cf navicularis	0	198000	0	0
Nitzschia sp1	12000	29000	0	0
Nitzschia sp2	0	424000	2750	1000
Nitzschia sp3	0	0	3000	250
Nitzschia sp4	0	0	250	0
Nitzschia sp5	0	0	0	250
Nitzschia sp6	0	0	0	750
Diatomea pennada 1	0	0	500	500
Diatomea pennada 2	0	0	500	1500
EUGLENOPHYTA				
Euglena sp	4000	0	0	0
Phacus sp	0	4000	0	0
Trachelomona armata	54000	17000	0	0
CLOROPHYTA				
Pleodorina sp	0	13000	0	0
Oocystis sp	16000	9000	250	0
Crucigenia sp	0	1000	0	0
Scenedesmus ecornis	0	4000	0	250
Scenedesmus nanus	0	1000	0	0
Scenedesmus quadricauda	0	1000	0	0
Scenedesmus sp	9000	25000	0	0
Selenastrum gracile	2000	0	250	250
Clorofita1	0	0	2000	250
OTROS GRUPOS				
Flagelado 1	65000	3000	1000	0
cf Chrysochromulina sp	0	0	2345750	4606000
Flagelado 2	0	0	0	1000
Sin identificar	0	0	0	750

Tabla 26. Ubicación taxonómica del fitoplancton encontrado en las muestras de agua utilizadas para la realización de los bioensayos

PROCARIOTAS

División: CYANOPHYTA

Clase: Cyanophyceae Sachs, 1874

Orden: Chroococcales Wettstein, 1924

Familia: Microcystaceae Elenk, 1933

Subfamilia: Aphanothecoidae Kom. et Anagn, 1986

Genero: *Anacystis* Menegh, 1837

Anacystis dimidiata

Subfamilia: Merismopedioidae (Elenk) Kom. y Anagn, 1986

Genero: *Merismopedia* Meyen, 1839

Merismopedia sp1

Merismopedia sp2

Merismopedia sp3

Merismopedia sp4

Subfamilia: Microcystoidae Kom. y Anagn 1986

Genero: *Microcystis* Kütz y Lemm 1907

Microcystis robusta (Clark) Nygaard

Familia: Chroococcaceae Nägeli,1849

Genero: *Chroococcus* Nág, 1849

Chroococcus turgidus (Kütz) Näg

Chroococcus limneticus Lemmermam

Orden: Oscillatoriales Elenk, 1934

Familia: Phormideacea Anag, y Kom., 1988

Subfamilia: Spirulinoideae Forti, 1907

Genero: *Spirulina* Turp. y Gom., 1982

Spirulina cf princeps

Familia: Oscillatoriaceae (S.F. Gray) Harv. y Kirchn., 1898

Subfamilia: Oscillatorioidae Gom., 1892

Genero: *Oscillatoria* Vauch. y Gom., 1892

Oscillatoria sp1

Oscillatoria sp2

Genero: *Lyngbya* G. AG. ex Gom., 1892

Lyngbya lutea

Orden. Nostocales (Boris, 1914) Geiti, 1925

Familia: NostocaceaeDumort, 1829

Subfamilia: Anabaenoidae (Bom. y Flah.) Kirchn 1900

Genero: *Anabaena* Bory ex Bom y Flah, 1886

Anabaena sp1

Anabaena sp2

Genero: Anabaenopsis (Wolosz) V. Mill., 1923

Anabaenopsis sp

EUCARIOTAS

División: HETEROKONTOPHYTA

Clase: Diatomophyceae Rabenhorst, 1864

Orden: Centrales Schütt, 1986

Suborden: Coscinodiscineae

Familia: Coscinodiscaceae Küzting, 1844

Genero: *Coscinodiscus* Ehrenberg emend. Rattray, 1980

Coscinodiscus sp

Familia: Hemidiscaceae Hendey emend. Simonsen, 1975

Genero: *Actinocyclus* Ehrenberg, 1837

Actinocyclus sp

Familia: Melosiraceae Kützing, 1844

Genero: *Paralia* Heiberg, 1863

Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve

Orden: Pennales Schütt, 1896

Suborden: Raphidineae

Familia: Entomoneidaceae Reimer in Patrick & Reiner

Genero: *Entomoneis* Ehrenberg, 1840

Entomoneis alata Ehrenberg

Familia: Naviculaceae Kützing, 1844

Genero: *Gomphonema* Ehrenberg, 1831

Gomphonema sp

Genero: *Gyrosigma* Hassall, 1845

Gyrosigma macrum (Wm.S.m.) Griffith & Henfrey

Gyrosigma sp

Genero: *Navicula* J.B.M. Bory emend. Cox, 1979

Navicula Transitans Heimdal 1970

Navicula sp1

Navicula sp2

Genero: *Fallacia*

Fallacia sp

Genero: *Pinnularia* Ehrenberg, 1841

Pinnularia sp

Genero: *Pleurosigma* W.M. Smith, 1852

Pleurosigma sp

Familia: Niztchiaceae Grunow, 1860

Genero: *Niztchia* Hassall, 1845

Niztchia closterium (Ehrenberg) Wm. Smith

Niztchia constricta (Grég.) Gronuw

Niztchia cf navicularis

Niztchia sp1

Niztchia sp2

Niztchia sp3

Niztchia sp4

Niztchia sp5

Niztchia sp6

División: EUGLENOPHYTA

Clase: Euglenophyceae Schoenichen, 1925

Orden: Euglenales Leedale, 1967

Familia: EuglenaceaeDujardin, 1841

Genero: *Euglena* Ehrenberg, 1830

Euglena sp

Genero: *Phacus* Dujardin, 1841

Phacus sp

Genero: *Trachelomonas* Ehren., 1833 emend. Deflandre, 1926

Trachelomonas armata

División: CHLOROPHYTA

Clase: Chlorophyceae Wille sensu Silva, 1982

Orden: Volvocales

Familia: Vovacaceae

Genero: *Pleodorina* Shaw, 1894

Pleodorina sp

Familia: Oocystaceae

Genero: *Oocystis* Nägeli, 1855

Oocystis sp

Genero: *Selenastrum* Reinsch, 1867

Selenastrum gracile Reinsch

Familia: Scenedesmaceae

Genero: *Crucigenia* Morren, 1830

Crucigenia sp

Genero: *Scenedesmus* Meyen, 1829

Scenedesmus ecornis (Ralfs) Chod.

Scenedesmus nanus Chod.

Scenedesmus quadricauda (Turp) Bréb

Scenedesmus sp