

**APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE OXIDACIÓN QUÍMICA Y GRAVIMÉTRICO
EN LA DETERMINACIÓN DEL DETRITO Y EL SESTON DE LA CIÉNAGA
GRANDE DE SANTA MARTA**

STELLA PATRICIA BETANCUR TURIZO

**Proyecto de grado presentado como requisito para
optar al título de Biólogo Marino**

DIRECTOR

C.F. LUIS ALFREDO CALERO

Biólogo Marino M.Sc. en Gestión Ambiental

CODIRECTOR

GABRIEL ANTONIO PINILLA

Biólogo M.Sc. en Ecología

ASERORES

YURYI TUCHKOVENKO

Ingeniero Oceanólogo PhD

GUSTAVO TOUS HERAZO

Químico Farmacéutico

UNIVERSIDAD DE BOGOTA JORGE TADEO LOZANO

FACULTAD DE BIOLOGÍA MARINA

SANTA MARTA

2001

**APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE OXIDACIÓN QUÍMICA Y GRAVIMÉTRICO
EN LA DETERMINACIÓN DEL DETRITO Y EL SESTON DE LA CIÉNAGA
GRANDE DE SANTA MARTA**

STELLA PATRICIA BETANCUR TURIZO

**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE BIOLOGÍA MARINA
SANTA MARTA**

2001

*A la memoria de
José E. Delgado*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, quienes con su total apoyo y dedicación hicieron posible la culminación de una de las etapas más importantes de mi vida.

Mis hermanos Diana María y Ricardo Andrés, su amor y cariño son el estimulante más efectivo que existe.

A mi director, el Capitán Calero quien creyó en mí, apoyando y facilitando el desarrollo de esta investigación.

A ti Gabriel, porque tus consejos, palabras reconfortantes, sugerencias, apoyo incondicional y amistad, hicieron posible que este trabajo culminara de la mejor forma.

A Gustavo, asesor químico de esta tesis, pero sobretodo amigo incondicional, persona que con su buen humor permite que los momentos más difíciles sean mas soportables.

Al doctor Yuri Tuchkovencko, por su oportuna asesoría en la etapa de concepción y desarrollo del trabajo.

Al Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), por el apoyo logístico, indispensable para la ejecución de este trabajo.

A INVEPAR, institución vinculada al proyecto y con la cual se desarrollaron las salidas de campo.

A Jesús Garay, jefe del programa CAM del Invemar, quien apoyó el buen desarrollo de las actividades de este proyecto.

A mis amigos Hugo, Mary Luz, Jorgito, Javier, Gisela, y Jairzinho quienes estuvieron en momentos importantes de mi trabajo y su compañía siempre fue reconfortante, vitalizante e inspiradora.

A la teniente Silvia Rondón, porque gracias a ella pude vincularme al proyecto que hizo posible el desarrollo de esta tesis.

A Carlitos Carbonó, pilotó de la lancha de Invemar, quien con su destreza, perfecto sentido de orientación y maravillosa calidad humana permitió que las salidas de campo fueran más agradables.

Y a los señores Alejandro Peñaca, Cesar Solis y Norberto Canencia, conductores del CIOH, quienes me acompañaron en los desplazamientos de Cartagena a Santa Marta.

RESUMEN

Durante un periodo de tiempo entre julio y octubre de 2000, se realizó un estudio con muestreos cada quince días en una estación central de la Ciénaga Grande Santa Marta (coordenadas 10° 30' 20" latitud norte y 74° 15' 00" longitud oeste). Se tomaron muestras para análisis de nutrientes, seston, biomasa (fracciones de fitoplancton de 20 – 150 μm y menor a 20 μm y de microzooplancton de 45 – 250 μm), clorofila "a" y materia orgánica fácilmente oxidable, con el fin de aplicar dos técnicas de determinación de la concentración de detrito en un cuerpo de agua (método de oxidación química y método gravimétrico), de lo cual se encontró que el método de oxidación química es una buena alternativa en la determinación de este componente del seston orgánico.

Otros aspectos complementarios de esta investigación describen características de variables ambientales que contribuyen al conocimiento de la dinámica de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Estos aspectos son: en promedio la concentración de la materia orgánica particulada fue de 2.82 mg C/L lo cual es equivale a un 32% de la materia orgánica fácilmente oxidable determinada. En cuanto al seston se estableció que el componente orgánico representa el 44% del total, además se determinó que de este porcentaje 4.62 mg C/L son de detrito, por tanto de ambas técnicas se obtiene que, la concentración de detrito por la técnica de oxidación y por la técnica gravimétrica es igual a 2.82 mg C/L y 4.62 mg C/L respectivamente.

ABSTRACT

During the period between July and October 2000, a research study took place. Samples were collected every 15 days in a central station at the Ciénaga Grande de Santa Marta (coordinates 10° 30'20" N and 74°15'00" W). The samples were taken for the analysis of nutrients, seston, biomass (fitoplancton fractions of 20-150 μm and lower to 20 μm and of microzooplankton of 45 – 250 μm), chlorophyll "a" and organic matter easily oxidized, in order to apply to techniques for the concentration determination of detritus in a water body (chemical oxidation method and gravimetric method), of which to find that the chemical oxidation method was the best alternative in the determination of organic seston.

Other complementary aspects of this research describe the characteristics of the environmental variables that contribute to the knowledge of the dynamics of the Ciénaga Grande de Santa Marta. These aspects are: The average of the particulated organic matter concentration was 2.82 mg C/L which is equivalent to 32% of the determined organic matter easily oxidized. Regarding the seston, it was determined that from this percentage 4.62 mg C/L is detritus, so from both techniques it is said that, the concentration of detritus by the oxidation technique and by the gravimetric technique is equal to 2.82 mg C/L and 4.62 mg C/L respectively.

TABLAS

Tabla 1.	Métodos, equipos y valores límite de detección aplicados en la determinación de parámetros fisicoquímicos.....	12
Tabla 2.	Factores de conversión entre valores de oxígeno y otros parámetros Extraídos de Vinogradov & Schusquina (1987).....	17
Tabla 3.	Condiciones meteorológicas reportadas para la estación de muestreo (Centro) en la época climática seca menor o veranillo de San Juan y en la época de lluvia mayor.....	27
Tabla 4.	Condiciones hidrológicas reportadas para la estación de muestreo (Centro) en la época climática seca menor o veranillo de San Juan y en la época de lluvia mayor.....	32
Tabla 5.	Datos de seston en sus componentes total (ST), inorgánico (SI) y orgánico (SO). El (**) representa datos del seston inorgánico que se encuentran por debajo del orgánico.....	36
Tabla 6.	Clorofila “a” expresada en concentración (mg Cla /m ³) y como biomasa (mg C/L). Se comparan estos resultados con la biomasa de la fracción fitoplanctónica de 20-150 μm determinada gravimétricamente.....	38
Tabla 7.	Fracción fitoplanctónica menor a menor 20 μm, datos originales y corregidos. Los valores corregidos representan aproximadamente el 20% de los datos originales.....	39
Tabla 8.	Datos de biomasa total calculada por gravimetría expresada en unidades de mg peso seco y mg C/L, biomasa fitoplanctónica en sus fracciones < 20 μm y 20-150 μm y biomasa microzooplanctónica de 45-250 μm, igualmente expresadas en mg peso seco y mg C/L.....	40
Tabla 9.	Datos de biomasa total calculada por biovolumen expresada en unidades de mg peso seco y mg C/L, biomasa fitoplanctónica en sus fracciones < 20 μm y 20-150 μm y biomasa microzooplanctónica de 45-250 μm, igualmente expresadas en mg peso seco y mg C/L.....	41
Tabla 10.	Composición en porcentaje del plancton de la Ciénaga Grande de Santa Marta, calculado con respecto al valor total de células/ml.....	45
Tabla 11.	Concentración de detrito estimada a partir de la técnica gravimétrica de determinación de seston orgánico y biomasa total.....	49
Tabla 12.	Datos de materia orgánica en sus componentes total (MOT), disuelto (MOD) y particulado (MOP).....	53

Tabla 13. Concentración de materia orgánica muerta (MOM) o detrito determinada por el método de oxidación con KMnO_4 .	54
Tabla 14. Concentración de detrito obtenido por gravimetría y por oxidación con KMnO_4 .	56
Tabla 15. Información general del análisis de varianza de un factor aplicado a los resultados obtenidos de las técnicas de determinación de detrito.	57
Tabla 16. Análisis de varianza aplicados a los resultados obtenidos de las técnicas de determinación de detrito.	57
Tabla 17. Información general de la prueba T aplicada a los tratamientos de determinación de detrito.	59
Tabla 18. Correlación (R) de Pearson obtenida de los valores de detrito y biomasa fitoplanctónicas y microzooplanctónicas.	60
Tabla 19. Biomasa planctónica obtenida por las técnicas gravimétrica y de biovolumen.	62
Tabla 20. Información general del análisis de varianza de un factor aplicado a los resultados obtenidos de las técnicas de determinación de la biomasa planctónica.	62
Tabla 21. Análisis de varianza para las técnicas de determinación de biomasa.	63
Tabla 22. Comparación entre biomasa obtenida por gravimetría y la obtenida a partir de concentración de clorofila "a".	65
Tabla 23. Información general prueba t aplicada a tratamientos de determinación de biomasa.	66
Tabla 24. Matriz de datos biológicos, expresadas en términos de porcentaje.	67
Tabla 25. Matriz de datos abióticos. Seston orgánico (SO), detrito por gravimetría (DG), detrito por KMnO_4 (DQ), materia orgánica viva (MOV), NO_3 , S, T° , oxígeno disuelto (OD) y porcentaje de saturación de oxígeno (O_2).	67

FIGURAS

Figura 1.	Mapa de la Ciénaga Grande de Santa Marta con ubicación de estación de muestreo. Mapa cortesía del CIOH.....	8
Figura 2.	Precipitaciones correspondientes a cada fecha de muestreo reportadas en la estación meteorológica del Aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta.....	27
Figura 3.	Temperatura atmosférica correspondiente a cada fecha de muestreo reportadas en la estación del Aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta.....	28
Figura 4.	Dirección del viento correspondiente a cada fecha de muestreo en la estación meteorológica del Aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta.....	29
Figura 5.	Velocidad del viento correspondiente a cada fecha de muestreo reportada en el Aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta.....	30
Figura 6.	Variaciones quincenales de los componentes orgánico e inorgánico del seston, en una estación ubicada al centro de la Ciénaga Grande de Santa Marta.....	36
Figura 7.	Variaciones quincenales de las fracciones microzooplanctónica (45 – 250 μm) y fitoplanctónicas (20 – 150 μm y menor a 20 μm), en una estación central de la Ciénaga Grande de Santa Marta, determinadas por Gravimetría.....	42
Figura 8.	Variaciones quincenales de las fracciones microzooplanctónica (45 – 250 μm) y fitoplanctónicas de 20 – 150 μm y menor a 20 μm , en una estación ubicada al centro de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Biovolumen.....	42
Figura 9.	Contribución en porcentaje de abundancia (% N° de Ind. /ml), de los grupos planctónicos discriminados establecidos, tanto fito como microzooplanctónicos.....	44
Figura 10.	Variaciones de la proporción de detrito (técnica gravimétrica) y de la materia orgánica viva, durante el periodo de estudio julio-octubre de 2000.....	50
Figura 11.	Variaciones quincenales de porcentajes de materia orgánica disuelta y particulada.....	53
Figura 12.	Concentración de detrito obtenida por medio de la aplicación de los métodos oxidación química y gravimétrico.....	55
Figura 13.	Representación de región de aceptación o rechazo de la	

	prueba F, en la comparación de varianzas aplicada a los resultados obtenidos de las técnicas de determinación de detrito.....	58
Figura 14.	Representación de región de aceptación o rechazo de la prueba F, en la comparación de varianzas aplicado a los resultados obtenidos de las técnicas de determinación de biomasa.....	64
Figura 15.	Dendograma de las variables bióticas – agrupamiento entre muestreos.....	68
Figura 16.	Dendograma de variables bióticas – agrupamiento entre géneros.....	70
Figura 17.	Dendograma de las variables abióticas – agrupamiento entre muestreos.....	71
Figura 18.	Dendograma de variables abióticas – agrupamiento entre variables (NO3: nitratos, DQ: detrito por oxidación, DG: detrito por gravimetría, MOV: materia orgánica viva, S: salinidad, OD: oxígeno disuelto, O2: porcentaje de saturación de oxígeno, T°: temperatura, SO: seston orgánico).....	72
Figura 19.	Análisis de correspondencia entre muestreos con base en la comunidad fitoplanctónica.....	73
Figura 20.	Análisis de correspondencia entre géneros fitoplanctónicos.....	74
Figura 21.	Análisis de componentes principales entre muestreos con base en las variables abióticas.....	75
Figura 22	Análisis de componentes principales de las variables abióticas	76

INTRODUCCIÓN

En el campo de los estudios ambientales se han desarrollado investigaciones importantes en una amplia variedad de ecosistemas. La Ciénaga Grande de Santa Marta por ejemplo, es un sistema estratégico con características únicas en el país e incluso en el mundo; su condición de laguna-costera tropical y estuario la hacen un sitio de interés, tanto en el campo científico, como en el económico, social y político. Este ecosistema ha sufrido diversos impactos, unos más contundentes que otros, pero en su historia las consecuencias de estos impactos han dado como resultado el diseño y desarrollo de muchos estudios, proyectos e investigaciones (Cohen & Wiedemann, 1973; Wiedemann, 1973; Cosel 1978; Pinzon, 1978; Morales, 1976; Palacio, 1977, 1978; Arango & Rodas, 1978; Wedler, 1973; Ciardelli & Cataño, 1970; Pérez, 1977; Rivera, 1978; Wedler, 1978; Jeske, 1979; Molinares de Muelle, 1977; Ávila, 1971, 1973, 1975, 1978; Rentería de Monsalve, 1977; Carmona, 1979, 1988; Camacho, 1978; Tonel, 1983; Kucklick, 1987; Vidal, 1988; Castaño, 1990; Rondón, 1991; Vidal, 1995; Zea et al., 1998; y alrededor de 700 trabajos más desarrollados en todas las áreas); estas investigaciones han buscado ampliar el conocimiento de la dinámica del sistema, a fin de diseñar estrategias y alternativas en pro del beneficio y recuperación del área. En este transcurrir del tiempo no solo se han obtenido conocimientos sobre el ecosistema lagunar y sus comunidades biológicas, también se ha evaluado la estructura y pertinencia de las investigaciones, monitoreos, seguimientos, técnicas analíticas, procesamientos de información, empleo de nuevas fórmulas de control e integración de los componentes ambientales con los componentes antrópicos, estos últimos fundamentales en el engranaje ambiental.

Existe abundante información sobre el comportamiento espacial y temporal de variables físicas y biológicas del sistema (Santos-Martínez, 1991 En: Zea *et al.*, 1998). En estos estudios se han aplicado técnicas de determinación de biomasa planctónica, productividad primaria, clorofila a y seston; los trabajos de Hernández (1986, 1988, 1991), Zea, *et. al.* (1998), Gocke (1987), Castaño (1990), Camacho (1958), Kucklick (1987), Toncel (1983), Valdés (1994) y Vidal (1988, 1995) presentan resultados que han contribuido al esclarecimiento de la dinámica compleja que domina a la Ciénaga Grande de Santa Marta. Kucklick (1987) incursionó en el estudio de un componente importante en todo ecosistema acuático, tanto por la cantidad en que aparece, como por su función de almacenar nutrientes y energía, especialmente en estuarios en donde su concentración supera ampliamente al fitoplancton. Este componente es el detrito; su dinámica de transformación depende de la velocidad específica empleada para convertirse en materia orgánica disuelta, la cual se forma durante la respiración y mortalidad del fitoplancton y del bacterioplancton y la autólisis del detrito.

El detrito constituye una fuente primordial de información para el entendimiento de la dinámica de las comunidades presentes en el cuerpo de agua; los procesos de oxidación bioquímica con participación de bacterias heterótrofas son, por ejemplo, condicionantes de la disminución de la materia orgánica disuelta; la influencia de aportes de aguas dulces provenientes de fuentes hídricas como el Río Magdalena crean cambios en el sistema; el aumento de elementos particulados y los procesos de mezcla e intercambio de sedimentos influyen en las concentraciones de detrito en la columna de agua; todos estos eventos ocasionan una gran variedad de respuestas del ecosistema ante la diversidad de factores intrínsecos y extrínsecos de distinta naturaleza.

Los aspectos mencionados reflejan la necesidad de medir y cuantificar la materia orgánica no solo en su componente vivo sino también en su componente muerto. Para ello, en este trabajo se aplicó la técnica gravimétrica usada de forma tradicional para estimar la concentración del detrito en el sistema, pero que cuenta

con algunos inconvenientes de manejo metodológico. Los resultados de la técnica gravimétrica se compararon con los datos obtenidos mediante el método de oxidación química, que también permite determinar la concentración de detrito que hace parte del sistema en estudio. La técnica de oxidación química ha sido aplicada en los países soviéticos para determinar la concentración de materia orgánica fácilmente oxidable mediante la digestión con permanganato de potasio. Otros métodos que se han aplicado para estimar la concentración de detrito y seston orgánico y sus interacciones con otros elementos del medio natural son la determinación de la productividad primaria, las mediciones de carbono orgánico total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales.

De forma general y de acuerdo a los estándares internacionales, se han unificado los criterios en la determinación de muchas variables ambientales; sin embargo, hay metodologías que no alcanzan un dominio global y quedan restringidas a ciertas áreas muy particulares. Inconvenientes como las diferencias de idioma, por ejemplo, de alguna forma impiden la divulgación masiva de nuevos descubrimientos; tal es el caso de la oxidación química con permanganato de potasio. A diferencia de la DQO, que consiste en una oxidación química fuerte, la oxidación con permanganato de potasio caracteriza el contenido de la materia orgánica inestable en el agua, la cual puede ser fácilmente transformada por las bacterias heterótrofas en formas minerales de nitrógeno y fósforo. El método del permanganato esencialmente complementa la determinación de materia orgánica biodegradable obtenida mediante la DBO, por cuanto no incluye en ella la información sobre la actividad metabólica de la hidrobiota (Tuchkovenko, com. pers.)¹. Esta técnica de determinación de materia orgánica fácilmente oxidable o materia orgánica muerta o detrito, fue implementada por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) a partir de 1995 en la

¹ Yuriy Tuchkovenko. Ingeniero Oceanólogo PhD en Física – Ciencias Matemáticas. Investigador del Institute of Biology of Southern Seas National Academy of Sciences of Ukraine, vinculado al Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (C.I.O.H.) de la Armada Nacional

Ciénaga de la Virgen y la Bahía de Cartagena dentro del proyecto “Modelación numérica de la circulación costera y su aplicación al estudio de los procesos de transporte de sustancias y partículas contaminantes en el litoral Caribe Colombiano”.

Antes de este trabajo, las determinaciones de detrito en la CGSM se habían realizado de forma indirecta. Kucklick (1987) estimó su concentración mediante la diferencia entre la materia orgánica particulada (hace referencia al seston orgánico) y el peso seco del fitoplancton, pero de este cálculo se obtuvo un valor sobreestimado debido a que no se calculó la biomasa del zooplancton y de las bacterias. En el presente estudio la determinación de detrito se hizo de la misma forma, con la variante de incluir en la biomasa planctónica las fracciones de zooplancton y fitoplancton, de forma que el componente vivo del seston orgánico se abarcara en su totalidad y la estimación del detrito fuese lo más cercana a la realidad. Como se señaló anteriormente, los resultados obtenidos por gravimetría se compararon con los logrados mediante el método de oxidación con permanganato de potasio.

El proyecto duró cuatro meses, durante los cuales se realizaron muestreos quincenales en un punto central de la Ciénaga Grande de Santa Marta; la selección de esta estación obedeció a su condición intermedia en todo el sistema, ya que las variaciones en la dinámica de las corrientes evidencian que este punto recibe todos los cambios que inciden en el área. La información recopilada estuvo acompañada de variables ambientales que describen el estado del ecosistema. Se realizaron análisis de clasificación y ordenación para determinar los patrones de comportamiento de las variables abióticas a lo largo del periodo de estudio. En cuanto a las variables bióticas se realizó un análisis de correspondencia y se valoró la dominancia de los grupos planctónicos en la biomasa determinada.

Es importante resaltar que con la comparación de los resultados obtenidos con la técnica de oxidación de materia orgánica fácilmente oxidable en presencia de permanganato de potasio, con los resultados arrojados por la técnica gravimétrica

de determinación de seston y biomasa planctónica, se quiso establecer cuál es la metodología más apropiada para determinar la concentración de detrito presente en un sistema acuático y así propiciar que en futuros trabajos se haga uso de estas nuevas alternativas. Además, se debe saber que este trabajo hizo parte del proyecto “Aplicación de la modelación numérica a la solución de problemas ambientales en lagunas costeras del caribe colombiano. Ciénaga Grande de Santa Marta”, en el cual participaron diversas instituciones científicas y académicas como el CIOH, INVEMAR, CORPAMAG y la Universidad del Magdalena. Por otro lado, es importante resaltar que el diseño de este estudio fue una necesidad presentada como requisito para el proceso de calibración y recalibración del Modelo Numérico, debido a la carencia de información relacionada con la determinación de materia orgánica muerta o detrito, la cual es un parámetro fundamental como variable analítica, que permite ampliar el conocimiento de la dinámica que regula un sistema tan importante como la Ciénaga Grande de Santa Marta.

1 AREA DE ESTUDIO

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), es un ecosistema laguno - estuarino de gran importancia; sus 1819 Km² de área y 450 Km² de espejo de agua, la convierten en la laguna costera tropical más grande de Colombia (Cetih, 1978). Pertenece a la Ecoregión de Ciénaga Grande de Santa Marta, al igual que el Complejo de Pajarales, el santuario de Flora y Fauna y la Vía Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, los cuales están unidos entre sí por una intrincada red de caños que en conjunto forman parte del delta exterior derecho del Río Magdalena (Madera, 1996).

Esta laguna costera limita al norte con el Mar Caribe a través de la boca de la barra y es atalayada desde el oriente por la Sierra Nevada de Santa Marta, el macizo montañoso costero más alto del mundo. Recibe aportes de energía y materia de sistemas adyacentes, los cuales están condicionados por factores climáticos, hidrográficos y geomorfológicos que contribuyen al sostenimiento del metabolismo de la laguna (Hernández, 1986).

El centro de la ciénaga, con coordenadas 10° 30' 20" latitud norte y 74° 15' 00" longitud oeste (Figura 1), presenta características particulares en cuanto su dinámica por efecto de corrientes; en este punto particular se da un fenómeno de homogenización del cuerpo de agua y por su posición geográfica la estación central percibe los cambios dados en los diferentes puntos del sistema. La nubosidad es casi total en las horas de la mañana, lo que ha llevado a llamarla en

muchos casos por los pescadores como la estación de las nubes. Durante el periodo de muestreo se cubrieron dos épocas climáticas a saber:

Época seca menor (julio – agosto): caracterizada por vientos moderados, precipitaciones aisladas, salinidades bajas, variaciones moderadas de la temperatura, turbidez moderada, nutrientes inorgánicos en concentraciones muy bajas, incluso por debajo de los límites mínimos de detección del equipo, y profundidad promedio de 1.63 metros.

Época de lluvia mayor (septiembre – octubre): caracterizada por vientos moderados, lluvias elevadas, especialmente en septiembre, salinidades intermedias, temperatura constante pero moderada, con una ligera disminución en octubre debida a las precipitaciones de septiembre, turbidez variable, nutrientes inorgánicos en concentraciones inferiores a los límites de detección del equipo y profundidad media de 1.60 metros.

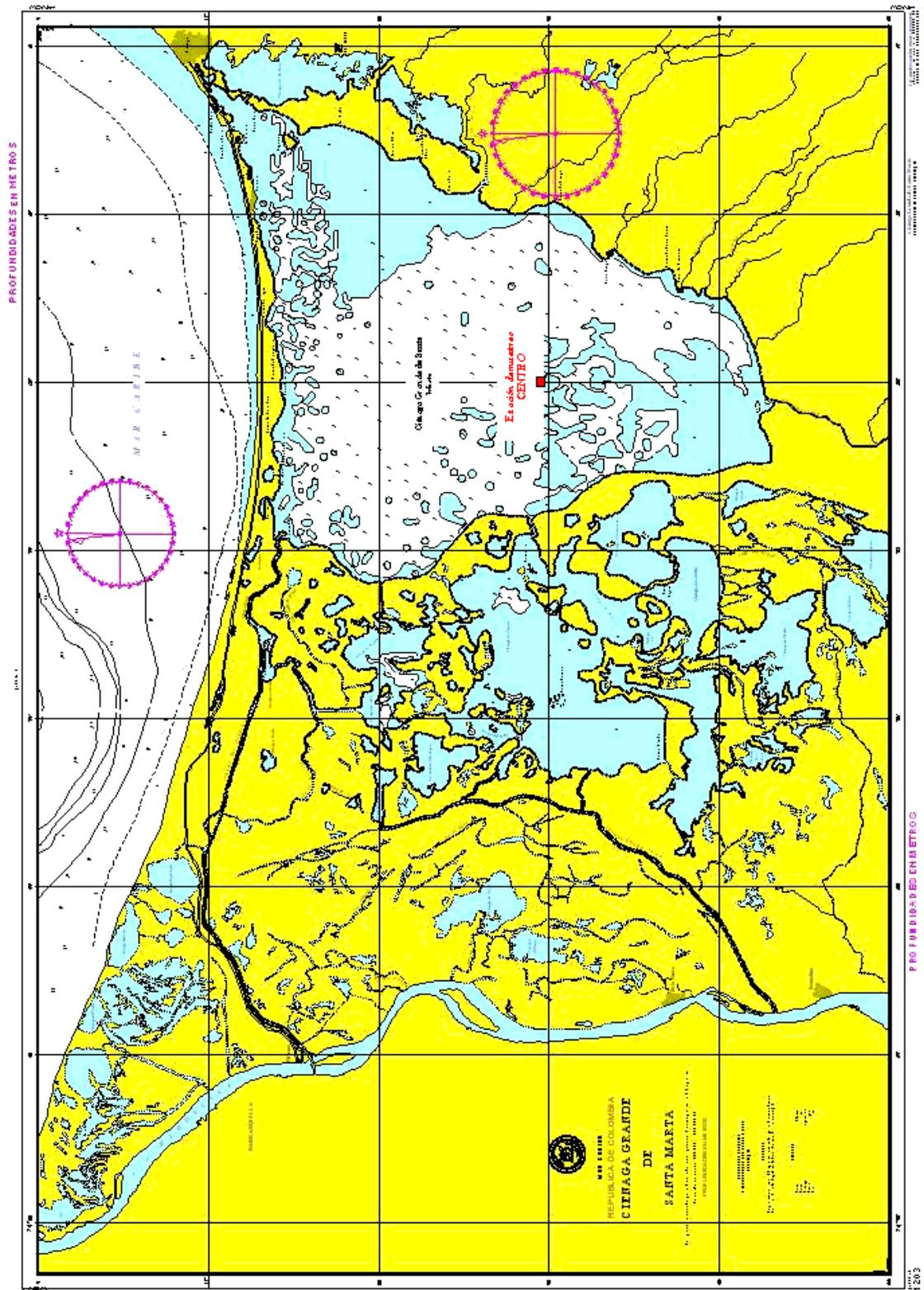
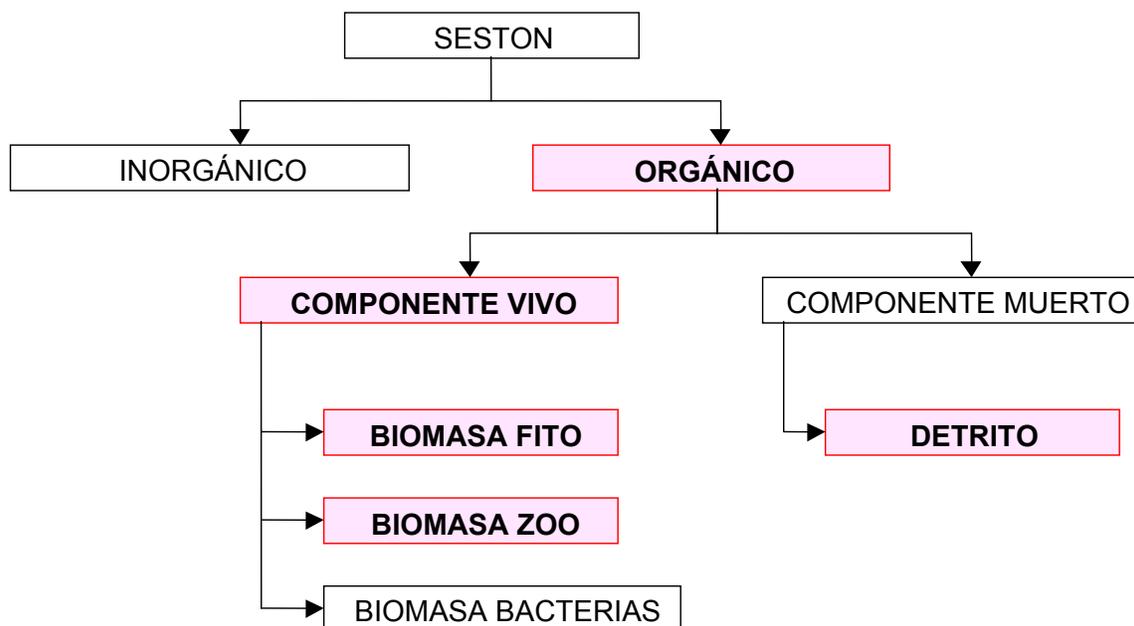


Figura 1. Mapa de la Ciénaga Grande de Santa Marta con ubicación de estación de muestreo. Mapa cortesía del CIOH

2 MATERIALES Y METODOS

La aplicación de la metodología gravimétrica, empleada para la determinación del seston y la biomasa planctónica, y la metodología de oxidación con permanganato utilizada para determinar la materia orgánica fácilmente oxidable, fue un proceso que estuvo constituido de varias fases. Los componentes más importantes de este trabajo se presentan a continuación, resaltados en color:



2.1 Prueba metodológica – etapa preliminar

Durante mayo y junio de 2000 se realizaron dos salidas de campo, una en cada mes; en ellas se probó si la botella Niskin podía aplicarse para la toma de

microzooplancton. Se calculó el tiempo empleado para tomas de muestras y desplazamiento entre el punto de muestreo (estación central de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM)) y el laboratorio (CIOH – Cartagena), esto con el fin de comprobar que el tiempo limite recomendado para el análisis de materia orgánica fácilmente oxidable (antes de seis horas) se cumpliera; también se determinó si la muestra de microzooplancton podía tomarse con botella y no con red, puesto que la red es un muestreador inapropiado para la CGSM (la poca profundidad y la remoción de sedimentos causada por el motor de la lancha taponan la red; observaciones y experiencia personal). Además, en campo y laboratorio se realizaron pruebas con patrones conocidos para determinar la eficiencia del método químico de oxidación con permanganato de potasio en medio básico.

2.2 Toma de muestras en campo

2.2.1 Muestras fisicoquímicas

Con ayuda de sensores de campo marca WTW se tomaron lecturas *in situ* de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno. También se registró la profundidad de la estación con ayuda de una vara metrada y la transparencia del agua mediante un disco Secchi. Las muestras para nutrientes se recogieron superficialmente y por duplicado, en frascos plásticos de 500 ml y se conservaron en nevera con hielo.

2.2.2 Materia orgánica muerta fácilmente oxidable

La materia orgánica muerta se tomó por duplicado, para lo cual se introdujeron frascos plásticos de 500 ml directamente en la capa superficial del cuerpo de

agua; los frascos se mantuvieron refrigerados hasta su análisis en el laboratorio. La metodología recomienda que el tiempo de preservación no supere las seis horas, después de este tiempo es preferible no hacer lecturas.

2.2.3 Seston

Al igual que la materia orgánica muerta, las muestras de seston se tomaron por duplicado en frascos plásticos de 500 ml, que se introdujeron directamente en la capa superficial del cuerpo de agua. Las muestras se preservaron en nevera con hielo.

2.2.4 Clorofila a

Las muestras de clorofila a se tomaron por duplicado en frascos plásticos de 500 ml, los cuales se almacenaron en oscuridad en neveras con hielo para su preservación.

2.2.5 Biomasa

Se tomaron muestras a nivel superficial de fitoplancton y microzooplancton (organismos zooplanctónicos con tamaños inferiores a 200 micras, Dussart, 1965 En: Schwoerbel, 1975) con una botella Niskin de cinco litros de volumen; se hicieron lances para cada comunidad por separado. En el campo, la muestra recolectada se pasó directamente a través de mallas de 20, 150 y 250 μm ; la preservación se hizo con formalina buferada (para biomasa del microzooplancton), formalina al 10% (para identificación y biovolumen del microzooplancton), formol al

10% (para biomasa del fitoplancton) y solución transeau (para identificación y biovolumen del fitoplancton).

2.3 *Análisis en laboratorio*

2.3.1 Nutrientes

Las muestras destinadas para nutrientes se filtraron tan pronto se llegó al laboratorio; este filtrado se usó en la determinación espectrofotométrica de los nutrientes (nitrito, nitrato, amonio y fosfato) (Tabla 1) de acuerdo con las metodologías estándar de la APHA-AWA-WPCF (1998), con las modificaciones propuestas por Gocke (1987) para lagunas costeras.

Tabla 1. Métodos, equipos y valores límite de detección aplicados en la determinación de parámetros fisicoquímicos.

Parámetros	Método de determinación	Equipo	Valor límite de detección del equipo
Profundidad (m)	Directo	Vara metrada	Profundidades superiores a la longitud de la vara.
Salinidad (%0)	Directo	Salinómetro	Ninguno
Transparencia (m)	Directo	Disco sechi	Ninguno
Temperatura (°C9	Directo	Termómetro	0° a 200°C
Porcentaje de O ₂ (%)	Directo	Oxímetro	Ninguno
O ₂ disuelto (mg O/L)	Directo	Oxímetro	0,02 mg
Amonio (mg N-NH ₄ /L)	Colorimétrico -Fenolato	Espectrofotómetro	0.050 mg N-NH ₄ /L
Nitrito (mg N-NO ₂ /L)	Colorimétrico– sulfanilamida	Espectrofotómetro	0.005 mg N-NO ₂ /L
Nitrato (mg N-NO ₃ /L)	Calorimétrico – reducción en columna de cadmio.	Espectrofotómetro	0.004 mg N-NO ₂ /L
Fosfato (mg P-PO ₄ /L)	Colorimétrico-tartrato	Espectrofotómetro	0.025 mg P-PO ₄ /L)

2.3.2 Materia muerta fácilmente oxidable

El método de determinación de la materia orgánica fácilmente oxidable que se detalla a continuación fue tomado de Vinogradov & Schusquina (1987).

a. Equipos y reactivos:

- 1) Equipo de filtración
- 2) Filtros: 47 mm de diámetro, 0.45 μm de diámetro de poro, filtros de fibra de vidrio.
- 3) Digestor
- 4) Titulador automático
- 5) Hidróxido de sodio 33% (NaOH 33%): diluir 50 g de NaOH en 100 ml de agua destilada.
- 6) Permanganato de potasio 0.01 N (KMnO_4 0.01N): diluir 0.32 g de permanganato de potasio químicamente puro en agua destilada y llevar a 1L.
- 7) Acido sulfúrico 1:3 (H_2SO_4 1:3): adicionar 100 ml de ácido sulfúrico concentrado en 300 ml de agua destilada.
- 8) Solución de almidón 1%: usada en caso en el que se titule sin bureta electrónica.
- 9) Yoduro de potasio 10% (KI 10%): diluir 50g de yoduro de potasio en agua destilada y llevar a 500 ml.
- 10) Acido clorhídrico 2:1 (HCl 2:1): adicionar 200 ml de ácido clorhídrico concentrado a 100 ml de agua destilada.
- 11) Tiosulfato de sodio 0.01 N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.01 N): Preparar una solución básica de tiosulfato de 0.1N o 1N, si se prepara la solución 1N, entonces se toman 10 ml de esta y se llevan a 1L.

b. Calibración:

- 1) Corrección (K): Por triplicado en beakers de 100 ml adicionar 50 ml de agua destilada, 10 ml de yoduro de potasio 10%, 15 ml de yodato de potasio 0.01N y 2 ml de ácido clorhídrico 2:1, la solución final final de color amarillo se lleva a

titular con tiosulfato de sodio 0.01N hasta cambio de amarillo a incoloro. El valor final representa el coeficiente de corrección K de la normalidad del tiosulfato, que deberá estar alrededor de 1.

- 2) Blanco (a): Aplicar el mismo tratamiento de la muestra usando en reemplazo 100 ml de agua destilada. Hacer mínimo tres réplicas.

c. Procedimiento:

Inmediatamente se llegó al laboratorio se filtró la mitad del volumen de las muestras con una bomba de vacío a través de filtros de microfibra GF/C marca Whatman de 47 mm de diámetro y 0.45 μm de tamaño de poro. Además de las lecturas directas, se realizaron diluciones del 10% y 50% para abarcar todo el rango de concentración en el que se encontraban las muestras. Las muestras filtradas se emplearon para la determinación de materia orgánica disuelta; de éstas se midió un volumen de 100 ml cuando no se diluyeron y de 10 y 50 ml cuando se diluyeron el 10% y 50%, respectivamente, en cuyo caso se llevaron a 100 con agua destilada. En las muestras no filtradas se determinó la materia orgánica total, es decir, las fracciones disuelta y particulada. Al igual que para las muestras filtradas, se hicieron análisis a muestras directas y con dilución; los volúmenes medidos fueron iguales a los mencionados en este paso.

En beakers de 250 ml se adicionaron los volúmenes medidos de muestra (100 ml), 3 ml de hidróxido de sodio al 30% (NaOH 30%) y 10 ml de permanganato de potasio 0.01 N (KMnO_4 0.01 N). Estos elementos se mezclaron bien quedando una muestra de color violeta; luego se transfirieron a balones de digestión de 500 ml de volumen que contenían perlas de ebullición. Los balones se colocaron en un digestor marca Indulab y sus bocas se acoplaron a refrigerantes de bola a una temperatura de 100 °C, durante 15 minutos, contados después de iniciado el proceso de ebullición de la muestra. Transcurrido este tiempo se apagó el digestor y se dejaron enfriar las muestras; una vez frías, se desmontaron y el contenido de los balones se pasó nuevamente a beakers de 250 ml; con ayuda de un frasco lavador se recuperó todo rastro de muestra que pudo haber quedado en los

balones. En este proceso el permanganato oxida la materia orgánica presente; la coloración final de la digestión indica si hubo o no digestión completa: un color verdoso o un violeta oscuro indican que el permanganato oxidó toda la materia orgánica presente; un color amarillo o color ocre indican que hubo exceso de materia orgánica y por tanto el permanganato no alcanzó la oxidación total; cuando esto ocurre se recomienda diluir la muestra. Para el caso de las aguas de la CGSM la dilución del 10% es la más recomendable debido a la alta concentración de materia orgánica.

Después de la oxidación de la materia orgánica, las muestras se llevaron a un proceso conocido como titulación inversa. Para esto, se adicionaron en su orden 3.6 ml de ácido sulfúrico 1:3 (H_2SO_4 1:3), 5 ml de yoduro de potasio 10% (KI 10%) y 3 ml de ácido sulfúrico 1:3, esta mezcla se homogeneizó y se tituló en titulador automático marca Metrohm 716 DMS Titrino, con tiosulfato de sodio 0.01 N ($Na_2S_2O_3$ 0.01 N). El método se basa en que el permanganato que haya quedado en la muestra se destruye con el potasio yódico y la cantidad de yodo libre, que se libera y que equivale a $KMnO_4$, se titula con una solución de tiosulfato. Así, la cantidad de permanganato (en equivalentes de oxígeno) gastado para la oxidación de las sustancias orgánicas en la muestra, se calcula por diferencia de volúmenes: el de la solución de tiosulfato usado en la titulación de todo el volumen de permanganato de potasio menos el del tiosulfato gastado en la titulación del permanganato de potasio restante después de la oxidación de la materia orgánica. Adicionalmente, se realizó un blanco con agua destilada, al cual se le aplicó el mismo tratamiento antes descrito.

El titulador automático arroja los resultados en mg O/L, producto de la siguiente ecuación:

$$Oxid. MgO/L = \frac{8 (a - b) NK * 1000}{V}$$

Donde, 8 es el peso equivalente del oxígeno; a es el volumen de la solución de tiosulfato usada para titular el blanco; b es el gasto de la solución de tiosulfato

utilizado en la titulación que quedó en la muestra después de la cocción; K es el coeficiente de corrección de la normalidad de la solución de tiosulfato; N es la normalidad de la solución de tiosulfato y V es el volumen de la muestra. Como algunas magnitudes en la fórmula son constantes, se puede simplificar:

$$8N \cdot 1000 = 8 \cdot 0.01 \cdot 1000 = 80,$$

entonces:

$$\text{oxid. MgO/L} = \frac{80 (a - b) K}{V}$$

Si para el análisis se toman 100 ml de la muestra, se puede calcular un coeficiente constante y la división toma la forma,

$$\frac{80}{V} = \frac{80}{100} = 0.8$$

Si se hace dilución de la muestra entonces el valor cambia; por ejemplo una dilución del 10% dará el siguiente factor: $80/10 \text{ ml} = 8$.

Por tanto la ecuación quedaría así:

$$\text{Oxid. MgO/L} = 8 (a - b) K$$

El coeficiente de corrección de la normalidad de la solución de tiosulfato de sodio K se calcula con exactitud hasta 0.001 por la fórmula,

$$K = \frac{(a_1 + \Delta_1)}{(b_{\text{med}} + \Delta_2)} = \frac{a}{b}$$

donde a_1 es el volumen de la pipeta con la elección exacta del volumen de la solución; Δ_1 es la corrección instrumental de la pipeta; b_{med} es la lectura media de la bureta con la titulación exacta de la solución de tiosulfato; Δ_2 es la corrección instrumental de la bureta; a es el volumen de la pipeta y b es la lectura verdadera de la bureta.

Los mg O₂/L obtenidos como unidades de la concentración de la materia orgánica pueden expresarse en mg C/L, mediante la aplicación de factores de conversión extraídos de Vinogradov & Schusquina (1987) (Tabla 2).

Este método químico de determinación de la materia orgánica fácilmente oxidable mediante oxidación con permanganato de potasio ha sido aplicado por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) en el proyecto titulado: “Modelación numérica de la circulación costera y su aplicación al estudio de los procesos de transporte de sustancias y partículas contaminantes en el litoral Caribe Colombiano. Fase III” (CIOH, 1997). El método también se empleó en los monitoreos ambientales realizados en la Ciénaga de la Virgen y Bahía de Cartagena, durante 1998 a 2000 (bases de datos del CIOH).

Tabla 2. Factores de conversión entre valores de oxígeno y otros parámetros. Extraídos de Vinogradov & Schusquina (1987).

	1 ml O ₂	1 mg C	1 mg N	1 mg P	1 mg albúmina	1 mg peso húmedo	1 mg peso seco	1 mg clorofila	Energía, 1 Cal
FITOPLANCTON									
1 ml O ₂	1,000	0,535	0,100	0,010	0,572	9,530	1,430	0,036	4,860
1 mg C	1,870	1,000	0,205	0,022	1,270	21,100	3,200,02	*** - 0,03 *	11,3 ***
1 mg N	10,00	4,9	1,000	0,110	6,250	103,600	15,600	0,400	50
1 mg P	100,0	44,6	9,1	1,0	56,7	942	142	3,6	500
1 mg albúmina	1,75	0,79	0,16	0,018	1	16,6	2,50	0,036	8,750
1 mg peso húmedo	0,105	0,047	0,01	0,001	0,06	1,0	0,150,002	- 0,0035 ***	0,6 **
1 mg peso seco	0,70	0,315	0,064	0,007	0,40	6,65	1,0	0,025	3,50
1 mg clorofila	27,830*	- 50 ***	2,54	0,28	15,8	263 - 500	39,6	1,0330 ***	- 550 ***
Energía, 1 Cal	0,20	0,107	0,02	0,002	0,115	1,91	0,286	0,007	1,0
ZOOPLANCTON									
1 ml O ₂	1,0	0,40	0,096	0,012	0,60	6,25	1,0	-	5,0
1 mg C	2,5	1,0	0,24	0,030	1,50	15,6	2,5	-	12,5
1 mg N	10,4	4,17	1,0	0,125	6,25	65,0	10,4	-	52,0
1 mg P	83,4	33,4	8,0	1,0	50,0	521,0	83,4	-	417,0
1 mg albúmina	1,68	0,67	0,16	0,02	1,0	10,4	1,7	-	8,35
1 mg peso húmedo	0,16	0,064	0,015	0,002	0,096	1,0	0,16	-	0,8 - 0,7 **
1 mg peso seco	1,0	0,4	0,096	0,012	0,6	6,25	1,0	-	5
Energía, 1 Cal	0,2	0,08	0,019	0,0024	0,12	1,25	0,2	-	1

* Phinenko, Laickaa, 1975, ** Laun Nannue, 1975, *** Hyluon, 1983

De la tabla anterior, se puede ver que para convertir mg O/L a mg C/L se multiplica por 0.375 (0.535/1.429) .

2.3.3 Seston

Para este análisis se utilizaron filtros microfibras GF/C marca Whatman de 47 mm de diámetro y 0.45 µm de tamaño de poro, los cuales se colocaron previamente en una mufla, se guardaron en papel aluminio marcado y se pesaron en una balanza analítica marca Precisa 160A. Estos filtros se colocaron en una bomba de vacío y por ellos se hizo pasar un volumen de 100 ml de muestra, después de lo cual se secaron (estufa marca Köttermann 2712 a 105°C por 72 horas), se pesaron (balanza analítica), se incineraron (mufla marca Heraeus a 450°C por 30 minutos) y nuevamente se pesaron en balanza analítica. En este último paso se determinó la cantidad de ceniza de la muestra y por diferencia de pesos se estableció la cantidad de material orgánico presente.

Por medio del proceso de secado se determinó el seston total en mg p.s. (peso seco) /L; en el proceso de incineración se determinó el seston inorgánico en mg p.s. /L; la diferencia entre ambos permitió evaluar la cantidad de seston orgánico en mg p.s./L. Las concentraciones de seston también se pueden expresar en mg C (carbono)/L mediante las conversiones presentadas en la tabla 2; de esta manera, para pasar de mg p.s./L a mg C/L se multiplicó por 0.358, valor que resulta de promediar los factores correspondientes a las conversiones de fitoplancton y zooplancton en mg p.s./L a mg C/L.

2.3.4 Clorofila a

Para el análisis de clorofila a se emplearon los mismos filtros usados en la filtración de las muestras de nutrientes (microfibras GF/C marca Whatman de 47 mm de diámetro y 0.45 µm de tamaño de poro). El volumen filtrado fue de 100 ml y

como se indicó antes, la filtración se realizó inmediatamente se llegó al laboratorio en una bomba de vacío. Los filtros con el material retenido se retiraron de la bomba con ayuda de pinzas, se llevaron a tubos de centrifuga que se encontraban forrados con papel aluminio, se les adicionó 5 ml de acetona al 90%, se taparon con tapones de corcho y se almacenaron en nevera hasta el día siguiente. Posteriormente se maceraron con una varilla de agitación, procurando una perfecta homogenización de los elementos; a este macerado se le adicionaron 5 ml más de acetona al 90% para así llevar los tubos a una centrifuga marca Fisher Scientific modelo 228, en donde se dejaron por un periodo de 15 minutos. Con ayuda de una pipeta Pauster se tomó con cuidado el sobrenadante, el cual contiene el pigmento extraído, y se realizaron lecturas en un espectrofotómetro marca Shimadzu UV-210A a diferentes longitudes de onda, de acuerdo con la metodología descrita por Gocke (1987).

En los cálculos aplicados para determinar la concentración de clorofila a se emplearon las ecuaciones recomendadas por el Standard Methods (APHA, 1992), la Scor UNESCO (1966) y los trabajos de Strickland y Pearsons (1968) y se hizo un promedio total que representó la concentración de clorofila a presente en el volumen analizado. Las ecuaciones se describen a continuación:

- **Standard Methods:** $C_a = 11.85 (OD_{645}) - 1.54 (OD_{647}) - 0.08 (OD_{630})$, donde C_a es la concentración de pigmentos en el extracto mg/L y OD la densidad óptica u optical density.
Clorofila a = $C_a * V/v$, donde V es el volumen del extracto en litros y v es el volumen de la muestra en metros cúbicos.
- **Scor UNESCO:** $C = (11.64 * E_{663}) - (2.16 * E_{645}) + (0.10 * E_{630})$, donde E es Ext. Corregida (Abs663, 645 o 630 – Abs750).

Clorofila a = $C * V/PL$ donde, C es el valor de la clorofila a, V es el volumen de acetona al 90% en ml, P es el volumen de la muestra en litros y L es el espesor de la celda.

- **Strickland y Pearsons:** $C_f = 11.6 (A_{665}) - 1.31 (A_{645}) - 0.14 (A_{630})$

Clorofila a = $C * v/V * L$ donde, L es el largo de la celda, v es el volumen del extracto en ml y V es el volumen del filtrado en litros.

Las unidades de presentación de los datos de clorofila a se expresaron en mg/m^3 ; además se utilizaron las conversiones de la tabla 2 para expresar la clorofila a en términos de biomasa fitoplanctónica ($mg C/m^3$), así:

$B_{Ph} = [mg C/m^3]$, donde B_{Ph} es biomasa fitoplanctónica expresada en $mg C/m^3$

$$B_{Ph} = [mg Cla/m^3] * \alpha [mg C/mg Cla]$$

$$\alpha = 30 - 50$$

donde $[mg Cla/m^3]$ es la concentración de clorofila a expresada en $mg Cla/m^3$ y el valor $\alpha = 30 - 50$ que presenta la tabla 2 depende del sistema; por tanto, y de acuerdo con la base de datos histórica de la CGSM, se determinó que el valor promedio de esta constante está al rededor de 10. La ecuación resultante es la siguiente:

$$B_{Ph} = [mg Cla/m^3] * 10$$

2.3.5 Biomasa

Las muestras de fitoplancton y microzooplancton filtradas, concentradas y fijadas en campo, se guardaron en nevera hasta el día siguiente, momento en el cual se sometieron a un nuevo proceso de filtración con el fin de separar las fracciones del plancton de la siguiente forma:

- Las muestras filtradas en malla de 20 μm se pasaron por filtros de 0.45 μm con el fin de separar la fracción del ultraplancton.
- Las muestras filtradas en malla de 150 μm se volvieron a filtrar en malla de 20 μm con el fin de separar la fracción del microplancton.
- Las muestras filtradas en malla de 250 μm se pasaron nuevamente a través de una malla de 45 μm con el fin de seleccionar el microzooplancton.

Las anteriores separaciones se hicieron tanto al material para determinación de biomاسas, como a las muestras que se usaron para observación al microscopio, a las cuales se les aplicó el método de biovolumen propuesto por Schwoerbel (1975).

A cada una de las muestras fraccionadas de fitoplancton y microzooplancton se les midió el volumen y se filtraron con una bomba de vacío a través de filtros de membrana Whatman GF/C de 0.45 μm previamente secados en estufa a 105 °C y pesados en balanza analítica. Los filtros con el material filtrado se llevaron a estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, después de lo cual se llevaron a desecador y posteriormente se pesaron en balanza analítica; de esta manera se determinó el peso seco del volumen filtrado en mg p.s.(peso seco)/L. (Standard Methods, 1992; Schwoerbel, 1975).

Al igual que en los pasos descritos en párrafos anteriores, las unidades mg p.s./L de la biomasa fitoplanctónica y microzooplanctónica se expresaron en mg C/L con los factores de conversión que se presentan en la tabla 2.

$$B_{Ph} \text{ (mg C/L)} = B_{Ph} \text{ (mg p.s. /L)} * 0.315,$$

donde B_{Ph} (mg C/L) es la biomasa fitoplanctónica expresada en mg C/L, B_{Ph} (mg p.s. /L) es la biomasa fitoplanctónica expresada en (mg p.s. /L) y 0.315 es el valor de conversión presentado por la tabla 2.

$$B_{\text{zoo}} (\text{mg C/L}) = B_{\text{zoo}} (\text{mg p.s. /L}) * 0.4,$$

donde B_{zoo} (mg C/L) es la biomasa microzooplanctónica expresada en mg C/L, B_{zoo} (mg p.s. /L) es la biomasa microzooplanctónica expresada en (mg p.s. /L) y 0.4 es el valor de conversión registrado en la tabla 2.

La observación detallada de los organismos se hizo con un microscopio invertido marca Zeiss 4706004 con objetivos de 10x y 40x; las mediciones en micras del material fitoplanctónico se realizaron por medio de un micrómetro. Los individuos previamente identificados (para lo cual se emplearon las claves de Yacubson, 1969, 1974; Vidal, 1988, 1995; Carmona, 1979) se contaron en una placa Sedwick-Rafter (SR), con capacidad total de 2. Las muestras se homogenizaron por agitación constante, para que todos los organismos presentes tuvieran la misma oportunidad de ser tomados en la alícuota de 2 ml. Se efectuaron cinco conteos por muestra, es decir, se observaron 10 ml del volumen colectado para cada muestra. Una vez colocada la muestra en la placa se procedió a contar el número total de organismos dentro del campo ocular micrométrico, moviendo la placa en zig zag hasta completar todo el volumen requerido para el análisis. La técnica del biovolumen recomienda que se utilicen modelos a escala para determinar su volumen por desplazamiento; otra manera es asemejar las formas de los organismos a cuerpos geométricos sencillos, fáciles de calcular el volumen. Así por ejemplo, a individuos de forma esférica se les aplicó la fórmula:

$$\frac{4}{3} * \pi * r^3$$

donde r es igual al radio.

Se puede considerar el peso específico de los organismos que flotan en el agua igual a 1; de esta manera, el volumen calculado corresponderá aproximadamente al peso fresco. Es decir, $10^6 \mu\text{m}^3 = \mu\text{g}$. El número de células de las especies se multiplica por sus volúmenes específicos; la suma de todos los valores da como

resultado el volumen total de la biomasa de las algas o, dicho de otra manera, su peso total. Esta estimación no es exacta, pero es la única disponible para las condiciones de este trabajo (Schwoerbel, 1975).

2.4 Cálculo y tratamiento de los datos obtenidos

2.4.1 Determinación de detrito por el método gravimétrico

En el procedimiento para determinar el seston se obtuvo el componente orgánico, es decir, el seston orgánico expresado en mg p.s./L y mg C/L. Igualmente, en la determinación de la biomasa fitoplanctónica y zooplanctónica que conforman en conjunto la biomasa total o materia orgánica viva, los resultados se expresaron en mg p.s./L y mg C/L. El seston orgánico está constituido por dos componentes, que son: la materia orgánica viva o biomasa planctónica y el detrito o materia orgánica muerta. Por tanto, en la determinación del detrito a partir del método gravimétrico se realizaron los siguientes cálculos:

$$\text{Seston orgánico} = \text{Biomasa planctónica} + \textit{Detrito}$$

donde, la biomasa planctónica es la suma de la biomasa de las fracciones de fitoplancton de $0.45 \mu\text{m} - 20 \mu\text{m}$ y $20 \mu\text{m} - 150 \mu\text{m}$, y del microzooplancton de $45 \mu\text{m} - 250 \mu\text{m}$. Por tanto, para obtener la concentración de detrito presente en la muestra la ecuación queda así:

$$\textit{Detrito} = \text{Seston orgánico} - \text{Biomasa planctónica}$$

Las unidades en las que se expresaron las concentraciones de detrito fueron mg p.s./L y mg C/L. Sin embargo, para requerimientos posteriores se escogió como unidad de trabajo la expresión mg C/L.

2.4.2 Determinación del detrito por el método de oxidación con permanganato de potasio

La oxidación de la materia orgánica fácilmente oxidable por medio del permanganato de potasio se basa en el principio de que el valor de la oxidación caracteriza el contenido de las sustancias que pueden oxidarse en el agua de mar. Estas sustancias corresponden a la materia orgánica muerta que, para el método aplicado, representa reintegradores o recuperadores orgánicos que están en las aguas bajo condiciones especiales y que sufren oxidación por oxidadores químicos activos. El valor de la oxidación se determina por la cantidad del oxidante gastado y se expresa por el número de miligramos de oxígeno necesarios para oxidar las sustancias en un litro de agua (mg – O/L). Uno de los oxidantes que sirve para esta determinación es la solución de permanganato de potasio (KMnO_4).

De acuerdo con lo anterior, la materia orgánica fácilmente oxidable representa el detrito o materia orgánica muerta que hace parte del seston orgánico. Este detrito se obtuvo en unidades de mg O/L y se expresó en mg C/L con el factor de conversión de la tabla 2.

Complementario a todos los procedimientos antes descritos en este trabajo, está la información meteorológica obtenida de reportes del IDEAM, la cual tuvo un proceso de selección en el cual se escogieron como variables de interés para el estudio, las lecturas de precipitación, temperatura atmosférica, dirección y velocidad del viento.

2.4.3 Tratamiento estadístico

A los resultados obtenidos de los análisis del seston por medio del método químico de oxidación con permanganato y el método gravimétrico se les aplicó un análisis de varianza a una vía y además de forma adicional se aplicó un análisis de correlación que buscó aclarar los resultados reportados por el análisis anterior; en ambos casos se empleó la hoja de cálculo Excel. Además, se realizó una clasificación de muestreos y una ordenación de los mismos con base en las variables abióticas (concentración de seston, nutrientes, salinidad, oxígeno, temperatura). El método clasificatorio se basó en la aglomeración por unión promedio sobre la matriz secundaria de distancias euclidianas, la cual se calculó de la matriz primaria de muestreos vs variables fisicoquímicas. En el caso de la ordenación se aplicó el método de componentes principales que trabaja sobre una matriz secundaria de correlaciones de Pearson entre las variables. Ambos análisis permitieron detectar patrones de organización de las variables abióticas durante el periodo de estudio. Estos análisis multivariados se realizaron con el programa BioDiversity Pro, al igual que los análisis de correspondencia y agrupamiento por distancia Euclidiana aplicados a las variables biológicas. Se realizaron además comparaciones entre la biomasa obtenida por gravimetría y la biomasa estimada por biovolumen, y la biomasa de la fracción fitoplanctónica de 20 – 150 μm con la biomasa estimada a partir de la determinación de clorofila a, para lo cual se aplicaron como pruebas estadísticas, análisis de varianza a una vía empleando para ello la hoja de cálculo de Excel.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No existe un método diseñado para determinar la concentración de detrito en un cuerpo de agua, como alternativa se ha empleado el método gravimétrico para determinación de seston y biomasa planctónica y el método de oxidación química con permanganato de potasio para determinación de materia orgánica fácilmente oxidable. Ambos fueron aplicados en el presente trabajo, sus resultados estuvieron acompañados de información hidrometeorológica y de la cuantificación de otras variables ambientales que fueron soporte para la información obtenida.

En este capítulo se establecen inicialmente algunas condiciones hidrometeorológicas que describen la estación de muestreo en ambas épocas climáticas; posteriormente se presenta la información obtenida de los análisis de laboratorio y finalmente se aplican las pruebas estadísticas y matemáticas que sustentan los resultados.

3.1 Condiciones hidrometeorológicas

Los parámetros hidrológicos y meteorológicos influyen directamente en el comportamiento de las variables analizadas (materia orgánica y plancton) y por lo tanto, la información que generan recrea el ambiente natural en el que funcionan tales variables; a su vez, las condiciones hídricas y climáticas condicionan y crean requerimientos específicos para cada técnica.

Durante el periodo de muestreo se abarcaron dos épocas climáticas, la seca menor que transcurrió en los meses de julio y agosto, y la de lluvia mayor que cubrió los meses de septiembre y octubre. En la tabla 3 se presentan los promedios mensuales de cada parámetro y la variación presentada en cada periodo climático.

Tabla 3. Condiciones meteorológicas reportadas para la estación de muestreo (Centro) en la época climática seca menor o veranillo de San Juan y en la época de lluvia mayor.

Parámetros	Seca menor		Lluvia mayor	
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Precipitación (mm)	2.3	1.1	4.9	0.1
Temperatura atmosférica (°C)	28.6	28.9	27.8	28.6
Dirección del viento (°)	177° (S)	212° (SO)	213° (SO)	250° (O)
Velocidad del viento (m/s)	72	74	73	82

En la época seca menor los reportes meteorológicos indican que los promedios de precipitación para julio y agosto de 2.3 mm y 1.1 mm respectivamente coinciden con los patrones regulares del área, así como en la época de lluvia mayor, los promedios para septiembre y octubre (4.9 mm y 0.1 mm respectivamente) son

Precipitación (mm)

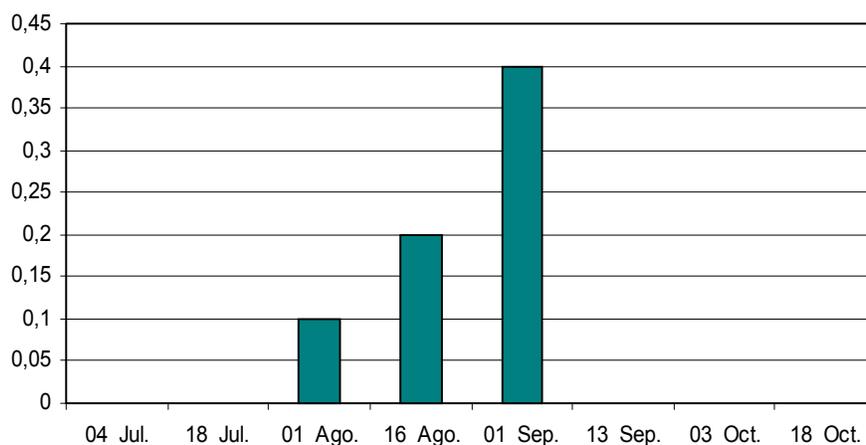


Figura 2. Precipitaciones correspondientes a cada fecha de muestreo reportadas en la estación meteorológica del Aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta. indicadores de un periodo característicamente lluvioso y húmedo. Por otro lado, los reportes de precipitación correspondientes a las fechas de muestreo se presentan en la figura 2. La semana anterior al muestreo del 4 de julio hubo fuertes precipitaciones que llegaron a 60.3 mm en un día; en los meses lluviosos de septiembre y octubre, hubo lluvias fuertes a moderadas durante casi todas las semanas, pero fueron mayores en septiembre.

El clima en el área es relativamente fresco; la temperatura atmosférica promedio para julio, agosto, septiembre y octubre fue de 28.6, 28.9, 27.8 y 28.6 °C respectivamente. Los reportes diarios correspondientes a las fechas de muestreo (Figura 3) dejan ver que la temperatura se mantuvo relativamente constante.

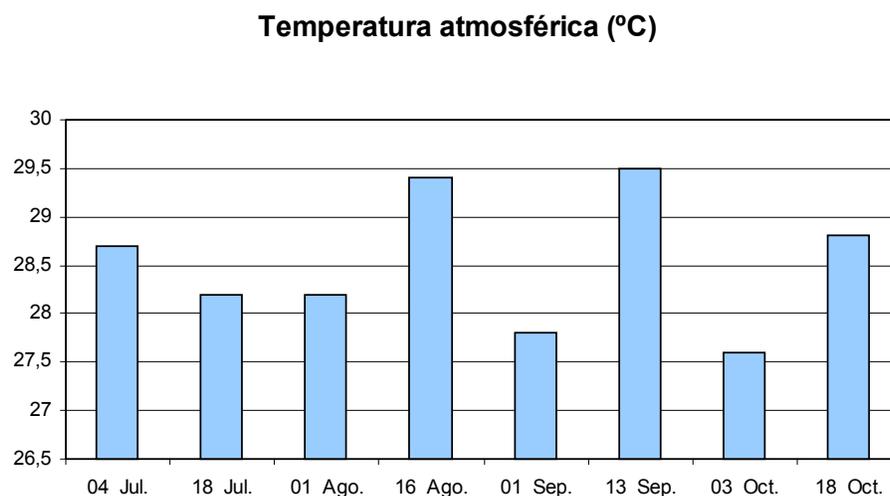


Figura 3. Temperatura atmosférica correspondiente a cada fecha de muestreo reportadas en la estación del Aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta.

La Ciénaga Grande de Santa Marta presenta un microclima muy dinámico, por la influencia que recibe de la Sierra Nevada de Santa Marta; la dinámica de las corrientes muestra que los vientos rolan; este término hace referencia al fenómeno

que indica cambios constantes en la dirección y en algunos casos también en la velocidad. Por ejemplo, vientos con dirección Norte (N) pueden variar su dirección en horas y presentarse como vientos con dirección Sur (S) o Suroeste (SO); esto hace muy difícil el definir en un momento dado cuál es la dirección promedio del viento. Sin embargo, se pueden establecer tendencias, así que en el caso de los meses de julio, agosto, septiembre y octubre el viento tuvo direcciones Sureste (SE), Sur a Noroeste (S a NO), Suroeste (SO) y Suroeste a Noroeste (SO a NO) respectivamente. En la figura 4, se observa la dirección del viento que caracterizó cada fecha de muestreo. En cuanto a la velocidad del viento, las variaciones son menos evidentes: en los tres primeros meses de muestreo el promedio fue casi constante con velocidades de 72, 74 y 73 m/s para julio, agosto y septiembre respectivamente; hacia el mes de octubre hubo un ascenso en la velocidad (el promedio reportado fue de 82 m/s) con máximos de 114 m/s que indican el ingreso de vientos fuertes provenientes del sureste y que al entrar al área influyen sobre la dinámica establecida.

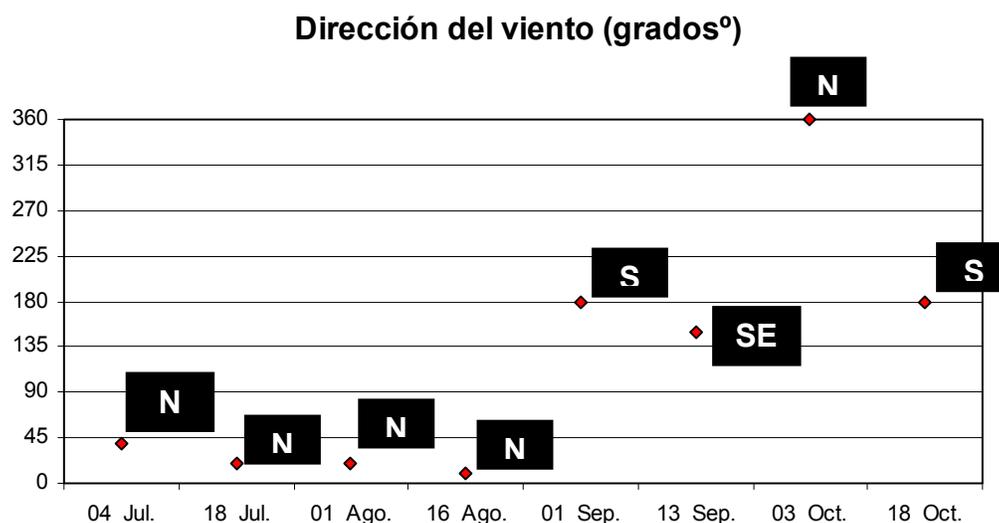


Figura 4. Dirección del viento correspondiente a cada fecha de muestreo en la estación meteorológica del Aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta.

Al igual que los otros parámetros meteorológicos descritos, los reportes de velocidad del viento correspondientes a cada fecha de muestreo se presentan gráficamente (Figura 5), con el fin de mostrar las condiciones que caracterizaron cada día en particular y observar los cambios producidos en periodos de quince días.

Las condiciones climatológicas en la CGSM tienen gran influencia sobre el comportamiento de otras variables ambientales de este cuerpo de agua; la velocidad y dirección del viento, por ejemplo, inciden sobre la dinámica de las corrientes y causan la resuspensión y mezcla de la columna de agua; de esta manera, el viento influye en los procesos fisiológicos de las especies presentes, e incluso, puede contribuir a la remineralización de la columna de agua.

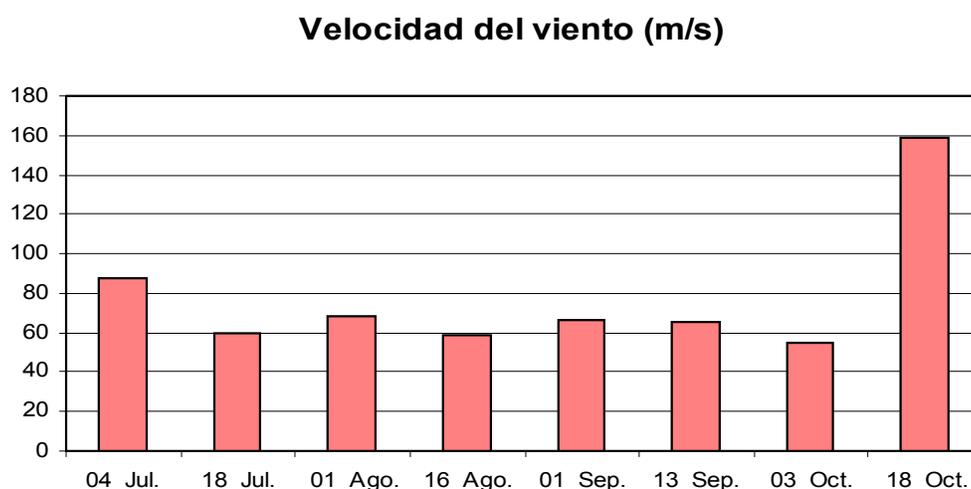


Figura 5. Velocidad del viento correspondiente a cada fecha de muestreo reportada en el Aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta.

En cuanto a las condiciones hidrológicas reportadas para el periodo de estudio, se observa en la tabla 4 que las concentraciones en especial de nutrientes (excepto el nitrato) estuvieron por debajo de los límites mínimos de detección del equipo. Dentro de las formas inorgánicas del nitrógeno el nitrato es la más estable; sin

embargo, queda el interrogante de la baja concentración de los otros elementos, en cuyo caso se podrían establecer ciertas hipótesis que habría que comprobar y que podrían ser objeto de otros estudios. Por ejemplo, las altas concentraciones de biomasa planctónica que reflejan una alta producción en el sistema, traen como consecuencia elevados consumos de elementos en el cuerpo de agua, lo cual podría ocasionar que al momento en el que se tomaron las muestras éstas sustancias estuvieran en la biomasa y no en el agua. Otra hipótesis estaría relacionada con las horas de muestreo; es muy posible que si se desarrollan lecturas nocturnas de amonio, las concentraciones estén en sus picos máximos debido a la ausencia de actividad fotosintética del fitoplancton; por lo tanto, un monitoreo de 24 horas permitiría en tal caso establecer las horas de mayor concentración de nitrito, amonio, nitrato y fosfatos. Igualmente, la distribución de los nutrientes puede variar con la profundidad, de manera que en aguas de fondo algunos de estos elementos se encuentren en mayor concentración.

La temperatura superficial del agua fue estable, con variaciones de \pm un (1) grado de magnitud y un promedio de 30.5 °C. Los valores más altos (31.5 °C y 31.0 °C) se observaron durante el mes de agosto (época seca menor) y el más bajo (29.3 °C) durante octubre (época de lluvia mayor); sin embargo, las comparaciones con los datos de otros meses muestran que no se presentaron variaciones marcadas que se relacionen con el ingreso a una nueva época climática.

En la CGSM la salinidad se caracteriza por un marcado patrón anual de distribución como resultado de su situación geográfica (área influenciada por aportes marinos y continentales) y del régimen climático (alternaciones de épocas secas y lluviosas) que la rigen (Vidal, 1995; Kucklick, 1987; Zea, et al, 1998). Por otra parte, los vientos inciden marcadamente sobre este patrón de distribución, al acelerar los procesos de mezcla, debido a su escasa profundidad, que en el caso de la estación de muestreo tuvo un promedio de 1.62 m. Según los datos tomados por el INVEMAR (Informe Técnico parcial 2000, proyecto "Monitoreo de las

condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta: un enfoque de manejo adaptativo. CAM”), durante el primer periodo del año la ciénaga presentó valores de salinidad por debajo de 3 ‰ e incluso hubo lecturas de cero en varios puntos de muestreo, esto como consecuencia de los intensos aportes de los Ríos Sevilla, Fundación, Aracataca y Magdalena, ocasionados por las fuertes lluvias de noviembre y diciembre de 1999 que azotaron el área y el centro del país. Para los meses de marzo, abril y mayo, según datos de INVEMAR, las concentraciones aumentaron gradualmente, como consecuencia de la reducción en los aportes de aguas dulces y el ingreso de agua marina al sistema. Los altos valores de salinidad de los meses de agosto y septiembre reportados por este estudio, se debieron a esta dinámica, así como en octubre las fuertes lluvias de septiembre ocasionaron descensos de la concentración de sales. El promedio general de salinidad para todo el periodo de muestreo fue de 10.4‰.

Tabla 4. Condiciones hidrológicas reportadas para la estación de muestreo (Centro) en la época climática seca menor o veranillo de San Juan y en la época de lluvia mayor.

Parámetros	Seca menor				Lluvia mayor			
	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre	
	04	18	01	16	01	13	03	18
Hora	10:00	10:15	10:00	10:20	11:20	09:57	09:30	10:00
Profundidad (m)	1.60	1.66	1.65	1.60	1.53	1.62	1.62	1.64
Salinidad (‰)	3.60	3.50	16.40	15.20	14.80	12.40	8.40	9.10
Transparencia (m)	0.45	0.44	0.40	0.35	0.13	0.25	0.42	0.54
Temperatura (°C)	30.50	30.40	31.50	31.00	30.10	30.60	29.30	30.80
Porcentaje de O ₂ (%)	ND	98	148	ND	119	123	120	138
O ₂ disuelto (mg O/L)	ND	7.20	10.90	ND	8.40	8.70	9.00	10.40
Amonio (mg N-NH ₄ /L)	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD
Nitrito (mg N-NO ₂ /L)	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD
Nitrato (mg N-NO ₃ /L)	0.823	0.026	0.032	0.030	0.066	0.027	MLD	MLD
Fosfato (mg P-PO ₄ /L)	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD	MLD

ND: No determinado. MLD: Menor al límite de detección del equipo que para el amonio, nitrito, nitrato y fosfatos es respectivamente 0.050 mg N-NH₄/L, 0.005 mg N-NO₂/L, 0.004 mg N-NO₃/L y 0.025 mg P-PO₄/L.

Los porcentajes de saturación de oxígeno indican que normalmente se presenta sobresaturación en el sistema. Las variaciones en la intensidad del viento y en la actividad fotosintética y la renovación de aguas, son factores asociados con los cambios en la concentración del oxígeno disuelto (Toncel, 1983).

La transparencia depende considerablemente del tipo de aportes que llegan a la ciénaga, pero además, está fuertemente influenciada por los procesos de mezcla, el tipo de substrato y las diferencias topográficas. El rango de variación observado fue de 0.13 a 0.54 m, con un promedio general de 0.37 m; el valor más bajo reportado correspondió al primero de septiembre, fecha en la cual se observó la menor profundidad de la estación (1.53 m), lo que seguramente favoreció el proceso de resuspensión del fondo y la mezcla de la columna de agua.

En general, las condiciones climáticas y el ambiente físico y químico de la ciénaga muestran que durante el periodo de estudio el sistema tuvo características más bien atípicas, en comparación con la generalidad establecida para el área por otros estudios; la variación del viento fue de carácter moderado, las precipitaciones aunque de alguna forma marcaron cada época climática con lluvias aisladas para julio y agosto y precipitaciones fuertes en septiembre, no tuvieron los altos valores de precipitación característicos de octubre (Reportes meteorológicos Aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta). Por consiguiente se presentaron valores intermedios en la salinidad, la cual, a su vez, por su condición de variable determinante para la presencia, variedad y distribución de la flora y fauna de un sistema estuarino (Vidal, 1995 modificado de Bulgen *et al*, 1993) puede incidir sobre los patrones de distribución y abundancia de algunos grupos del plancton. La temperatura del agua en este estudio tuvo un comportamiento casi constante, al igual que la transparencia, por lo que se podría deducir que la incidencia de factores como resuspensión de sedimentos y mezclas de la columna de agua no fueron tan marcados como en años anteriores. Los nutrientes inorgánicos estuvieron en concentraciones tan bajas que incluso no alcanzaron a ser detectados por el equipo empleado para su determinación. El oxígeno disuelto

y el porcentaje de saturación correspondientes para este estudio están directamente relacionados con la incidencia del viento, por lo cual se considera que las condiciones son óptimas para el desarrollo de las comunidades presentes.

3.2 *Seston y biomasa determinados por el método gravimétrico*

El proceso gravimétrico ha sido empleado en la determinación de parámetros ambientales como el seston y la biomasa planctónica, esta herramienta metodológica ha sido aplicada como método indirecto en la determinación del detrito, sin embargo como todo proceso indirecto y más aún cuando se están manejando variables biológicas de tan difícil cuantificación como la biomasa planctónica, el grado de incertidumbre de los resultados frente a la realidad es muy alto, además que el tiempo de análisis es un poco prolongado. En la cuantificación de la biomasa planctónica, existen metodologías menos indirectas que fueron aplicadas en este estudio para observar el grado de dificultad que se maneja en la determinación de este parámetro biológico.

3.2.1 Seston

El seston es una variable ampliamente analizada en estudios e investigaciones desarrollados en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM); las técnicas empleadas para su determinación son básicamente las mismas: un proceso gravimétrico que difiere según el caso en los tiempos de secado e incineración y en las temperaturas de la estufa y la mufla. El seston está constituido por dos componentes: uno inorgánico que representa todos aquellos elementos particulados presentes en el agua de naturaleza inorgánica y otro orgánico que incluye la materia orgánica muerta o detrito y la materia orgánica viva o biomasa total. Los trabajos de Toncel (1983) y Kucklick (1987) son los únicos que se han

realizado hasta la fecha en la CGSM para medir y establecer el comportamiento del seston; Toncel (1983) registró porcentajes de seston inorgánico y orgánico del 80 y 20% respectivamente, mientras que Kucklick (1987) halló proporciones iguales (50 y 50 %) para los componentes inorgánico y orgánico, respectivamente.

Comparar la información generada por estos estudios con los resultados presentados en este trabajo podría no ser acertado, ya que debe recordarse que las condiciones en cada época son muy diferentes. En los años 80 no se habían realizado los trabajos hidráulicos de dragado en los Caños Aguas Negras, Clarín y Renegado y por lo tanto el sistema lagunar se caracterizaba por tener altas concentraciones de salinidad, altas temperaturas, baja productividad y bajas concentraciones de materia orgánica. Las condiciones ambientales cambiaron después de la apertura de los caños hacia el año 1995, de manera que las salinidades bajaron como respuesta al ingreso de agua dulce proveniente del Río Magdalena; esto también aumentó la cantidad de materia orgánica y las concentraciones de nutrientes, por lo cual las biomasas fitoplanctónicas, bacterioplanctónicas y zooplanctónicas se vieron favorecidas con considerables aumentos. Sin embargo, y a pesar de estos cambios ambientales, las proporciones entre seston orgánico e inorgánico en este trabajo (44 y 56% respectivamente) no se alejan de los estimativos presentados por Kucklick (1987).

Generalmente, los porcentajes más altos del seston corresponden al componente inorgánico, pero pueden darse casos en los que la fracción orgánica sea la mayor, así que cuando esto ocurre, usualmente refleja la ocurrencia de “blooms” o proliferaciones masivas de microalgas. Al respecto, Kucklick (1987) menciona como género responsable de estos incrementos en la ciénaga a *Microcystis*. En el presente trabajo se observó este caso en los muestreos del 16 de agosto y el 13 de septiembre (Tabla 5); sin embargo, las diferencias en la composición del fitoplancton no permiten concluir lo expuesto por Kucklick (1987). Además, en la actualidad los porcentajes ligeramente más altos son para el seston inorgánico

(Figura 6), lo que podría significar la predominancia de aportes de material provenientes del manglar, más que la producción de “blooms” del fitoplancton.

Tabla 5. Datos de seston en sus componentes total (ST), inorgánico (SI) y orgánico (SO). El (**) representa datos del seston inorgánico que se encuentran por debajo del orgánico.

FECHA	SESTON (mg p.s. /L)			SESTON (mg C/L)*		
	ST	SI	SO	ST	SI	SO
Jul. 04/00	75.50	49.50	26.00	27.03	17.72	9.31
Jul. 18/00	68.00	43.00	25.00	24.34	15.39	8.95
Ago. 01/00	72.50	39.00	33.50	25.96	13.96	11.99
Ago. 16/00	87.50	42.00**	45.50	31.33	15.04**	16.29
Sep. 01/00	87.00	49.00	38.00	31.15	17.54	13.60
Sep. 13/00	77.00	34.50**	42.50	27.57	12.35**	15.22
Oct. 03/00	74.00	40.50	33.50	26.49	14.50	11.99
Oct. 18/00	68.00	40.00	28.00	24.34	14.32	10.02

*: (mg p.s. /L x 0.358) = mg C/L y 0.358 Factor (Promedio entre 0.315 y 0.400) Tabla 2.

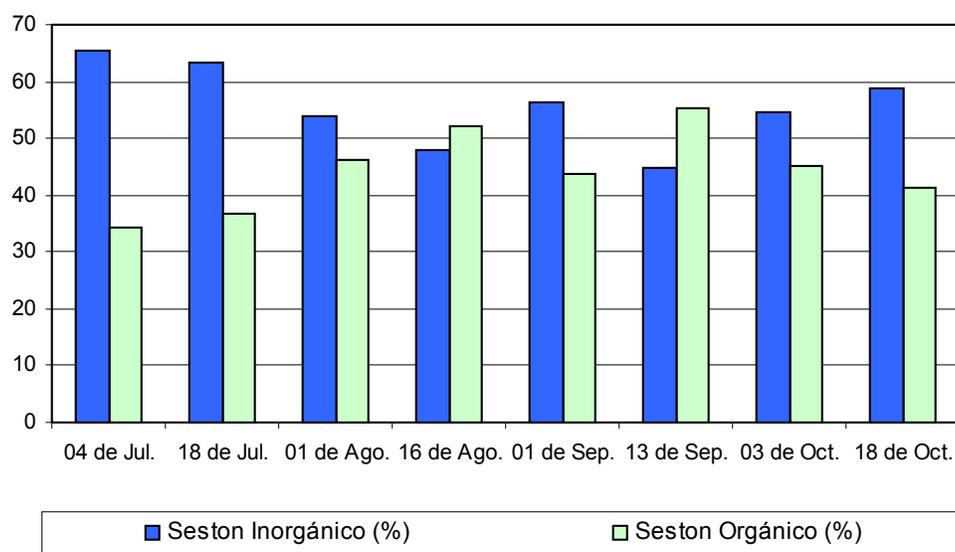


Figura 6. Variaciones quincenales de los componentes orgánico e inorgánico del seston, en una estación ubicada al centro de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Por otro lado un fenómeno de ascenso gradual del componente orgánico (Figura 6) puede estar relacionado con el ingreso en septiembre y octubre de aguas provenientes de los ríos, como producto de las precipitaciones reportadas en el área y que tuvieron su pico máximo en septiembre, mes en el que igualmente se reportan las concentraciones de biomasa total más altas y valores bajos de transparencia del agua.

3.2.2 Biomasa

La biomasa planctónica determinada en este trabajo, además de ser cuantificada por el método gravimétrico, también fue determinada por los métodos de clorofila y biovolumen.

En el caso de la determinación por el método de la clorofila “a” los resultados obtenidos, son un indicativo de la cantidad de materia viva presente en el fitoplancton, medida a través de la concentración de pigmentos fotosintéticos, lo cual en muchos casos resulta una alternativa interesante y de rápida aplicación que permite estimar de forma indirecta cómo se encuentra la comunidad de microalgas en el sistema. Los resultados obtenidos en unidades de mg C/L son una estimación muy cercana a la biomasa (mg C/L) de la fracción fitoplanctónica de 20-150 μm (tabla 6); siendo posible que los pigmentos clorofílicos predominantes estén relacionados con los individuos presentes en esta fracción del plancton.

Como se puede ver en la tabla 6, la concentración de clorofila fue alta, lo que es normal en cuerpos de agua meso a eutróficos como la CGSM. Las mayores concentraciones se presentaron en agosto e inicios de septiembre (justo antes de las lluvias), lo que indica que en estos meses la comunidad de algas planctónicas tuvo abundancias importantes. Dichas abundancias pueden ser un reflejo de

condiciones óptimas para el desarrollo del fitoplancton (mayor recirculación de nutrientes desde el fondo, mayor transparencia del agua, mayor efecto de los vientos que facilitaron el trabajo de las algas), en este punto vuelve a ser importante destacar la necesidad de información en referencia a las concentraciones de nutrientes tomados en ciclos de 24 horas, para así establecer elementos favorables para la globalidad de las condiciones ambientales en relación a la dinámica del plancton.

Tabla 6. Clorofila “a” expresada en concentración (mg Cla /m³) y como biomasa (mg C/L). Se comparan estos resultados con la biomasa de la fracción fitoplanctónica de 20-150 μm determinada gravimétricamente.

FECHA	CLOROFILA A		BIOMASA FITOPLANCTÓNICA
	(mg Cla /m ³)	(mg C/L)*	20 – 150 μm (mg C/L)
Jul. 04/00	49.73	0.50	0.52
Jul. 18/00	40.25	0.40	1.23
Ago. 01/00	134.36	1.34	1.32
Ago. 16/00	111.54	1.12	1.21
Sep. 01/00	115.45	1.15	1.80
Sep. 13/00	88.77	0.89	2.14
Oct. 03/00	86.26	0.86	2.67
Oct. 18/00	92.60	0.93	3.19

*: (mg Cla/L x 10)/1000 = mg C/L y 10 Factor conversión Tabla 2.

Por otra parte, aunque aparentemente los datos de biomasa fitoplanctónica calculados a partir de la concentración de clorofila, no difieren grandemente de la biomasa (fracción 20 – 150 μm) medida gravimétricamente, la prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales indica que estas dos técnicas no son comparables. (ver numeral 3.4.2.3)

En cuanto a los resultados obtenidos del método gravimétrico se pudieron observar variaciones en tiempo de las diferentes fracciones analizadas. Estas fracciones fitoplanctónicas y microzooplanctónica en su conjunto representan la biomasa total o materia orgánica viva que hace parte del seston orgánico. Sin embargo, en el proceso experimental se presentaron situaciones que ameritaron el diseño de alternativas de soporte y corrección de los datos; en la fracción de fitoplancton menor a 20 μm se presentó un constante taponamiento de los filtros, independiente de los volúmenes concentrados, por lo cual, como alternativa se estimó un porcentaje de sobreestimación del 80% (Pruebas realizadas en el laboratorio) (tabla 7). Se aplicó entonces como valor correspondiente a la biomasa de fitoplancton menor a 20 μm , solo el 20% del peso estimado. Para estudios futuros, una forma de evitar o reducir este problema, es la dilución de la muestra original, aunque este procedimiento podría introducir más error en los datos estimados.

Tabla 7. Fracción fitoplanctónica menor a menor 20 μm , datos originales y corregidos. Los valores corregidos representan aproximadamente el 20% de los datos originales.

FECHA	BIOMASA (mg peso seco/L)		BIOMASA (mg C/L)*	
	Fito (<20 μm)			
	Datos no corregidos	Datos corregidos	Datos no corregidos	Datos corregidos
Jul. 04/00	17.50	3.50	5.51	1.10
Jul. 18/00	20.00	4.00	6.30	1.26
Ago. 01/00	18.00	3.60	5.67	1.13
Ago. 16/00	99.00	19.80	31.19	6.24
Sep. 01/00	101.00	20.20	31.82	6.36
Sep. 13/00	98.00	19.60	30.87	6.17
Oct. 03/00	6.30	1.26	1.98	0.40
Oct. 18/00	7.60	1.52	2.39	0.48

*(mg p.s. fito /L x 0.315) = mg C/L. 0.315 Factor de conversión Tabla 2.

Por último, en la determinación de biomasa también se empleó la técnica de biovolumen, a cuyos resultados se les aplicó una serie de factores de conversión para expresar la información obtenida en un lenguaje análogo a los datos

obtenidos por el método gravimétrico. Sin embargo, como era de esperarse, la diferencia fue muy marcada (ver tablas 8 y 9); dado que las técnicas empleadas son metodológicamente hablando, poco compatibles. En el punto 3.4.2.2 se presenta la comparación estadística de los resultados obtenidos con las dos técnicas.

Trabajar con organismos vivos con una dinámica de distribución espacial muy variante y dependiente de muchos factores intrínsecos y extrínsecos es complicado, además de que su tamaño microscópico impide el manejo directo de los mismos. Sin embargo, esto no han impedido el diseño y aplicación de muchas técnicas de las que se obtienen muy buenos resultados, pero que se han desarrollado para dar respuesta a aspectos específicos de investigación.

Tabla 8. Datos de biomasa total calculada por gravimetría expresada en unidades de mg peso seco y mg C/L, biomasa fitoplanctónica en sus fracciones < 20 μm y 20-150 μm y biomasa microzooplanctónica de 45-250 μm , igualmente expresadas en mg peso seco y mg C/L.

FECHA	BIOMASA (mg peso seco/L)				BIOMASA (mg C/L)*			
	Biomasa Total	Fito (<20 μm)	Fito (20-150 μm)	Zoo (45-250 μm)	Biomasa Total	Fito (<20 μm)	Fito (20-150 μm)	Zoo (45-250 μm)
Jul. 04/00	21.02	3.50	1.64	15.88	7.07	1.10	0.52	6.35
Jul. 18/00	18.57	4.00	3.89	10.68	6.76	1.26	1.23	4.27
Ago. 01/00	9.83	3.60	4.18	2.05	3.27	1.13	1.32	0.82
Ago. 16/00	40.93	19.80	3.84	17.29	14.36	6.24	1.21	6.92
Sep. 01/00	28.74	20.20	5.70	2.84	9.29	6.36	1.80	1.14
Sep. 13/00	28.81	19.60	6.80	2.41	9.28	6.17	2.14	0.96
Oct. 03/00	13.10	1.26	8.48	3.36	4.41	0.40	2.67	1.34
Oct. 18/00	15.07	1.52	10.13	3.43	5.04	0.48	3.19	1.37

*: (mg p.s. fito /L x 0.315) = mg C/L y (mg p.s. zoo /L x 0.4) = mg C/L. **0.315 y 0.4 Factores de conversión Tabla 2.**

En las figuras 7 y 8 se observan las variaciones porcentuales de cada una de las fracciones fitoplanctónicas y microzooplanctónica; se observa además en los

resultados de biomasa determinada por biovolumen, que la fracción microzooplanctónica es la predominante. Los porcentajes de microzooplancton pertenecientes a la biomasa calculada por biovolumen constituyen casi la totalidad del plancton (el 95% en promedio) y las fracciones fitoplanctónicas menor a 20 μm y 20 – 150 μm a penas un 2 y 3% respectivamente. Para el caso de la biomasa estimada por la técnica gravimétrica el microzooplancton representa en promedio el 37%, seguido de la fracción fitoplanctónica menor a 20 μm con un promedio de 33% y por último la fracción fitoplanctónica de 20 a 150 μm , con un promedio de 30%. Con el método gravimétrico, la suma de las fracciones del fitoplancton superan al microzooplancton. Tales resultados son ecológicamente más lógicos, ya que en las pirámides de materia y energía, los productores superan normalmente a los consumidores (Odum, 1982)

Tabla 9. Datos de biomasa total calculada por biovolumen expresada en unidades de mg peso seco y mg C/L, biomasa fitoplanctónica en sus fracciones < 20 μm y 20-150 μm y biomasa microzooplanctónica de 45-250 μm , igualmente expresadas en mg peso seco y mg C/L.

FECHA	BIOMASA (mg peso seco/L)*				BIOMASA (mg C/L)**			
	Biomasa Total	Fito (<20 μm)	Fito (20-150 μm)	Zoo (45-250 μm)	Biomasa Total	Fito (<20 μm)	Fito (20-150 μm)	Zoo (45-250 μm)
Jul. 04/00	0.272	0.0454	0.0124	0.2186	0.106	0.0143	0.004	0.087
Jul. 18/00	0.445	0.0016	0.0249	0.4309	0.181	0.0005	0.008	0.172
Ago. 01/00	0.217	0.0004	0.0162	0.2059	0.088	0.0001	0.005	0.082
Ago. 16/00	0.223	0.0002	0.0058	0.2238	0.091	0.0001	0.002	0.090
Sep. 01/00	0.380	0.0004	0.0103	0.3809	0.156	0.0001	0.003	0.152
Sep. 13/00	0.464	0.0003	0.0163	0.4618	0.190	0.0001	0.005	0.185
Oct. 03/00	0.386	0.0002	0.0120	0.3849	0.158	0.0001	0.004	0.154
Oct. 18/00	0.284	0.0002	0.0041	0.2886	0.117	0.0001	0.001	0.115

*: (mg peso fresco /L x 0.15) = mg peso seco fito /L y (mg peso fresco /L x 0.16) = mg peso seco zoo /L. 0.15 y 0.16 son factores de conversión **Tabla 2.**

** : (mg peso seco fito /L x 0.315) = mg C/L y (mg peso seco zoo /L x 0.4) = mg C/L. 0.315 y 0.4 son factores de conversión **Tabla 2.**

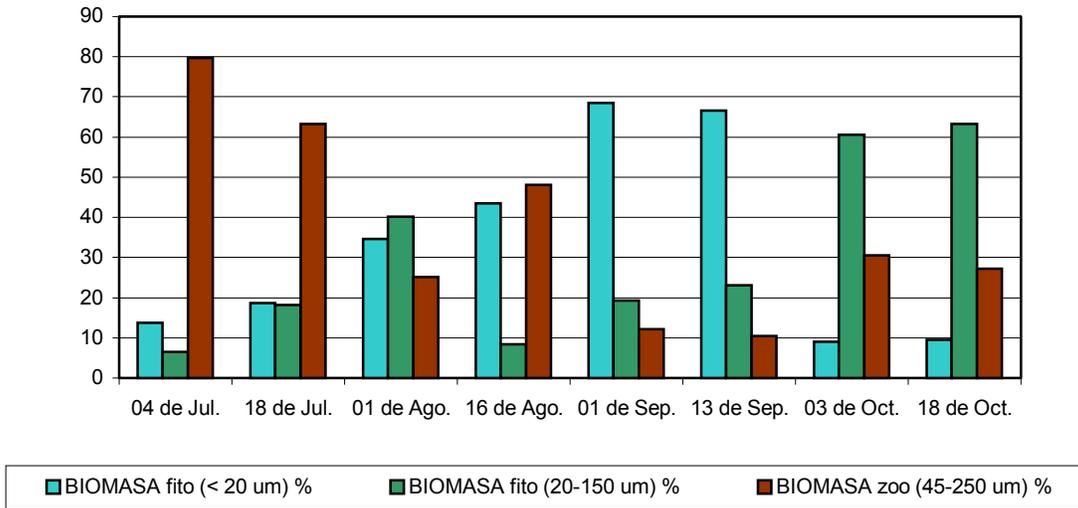


Figura 7. Variaciones quincenales de las fracciones microzooplanctónica (45 – 250 μm) y fitoplanctónicas (20 – 150 μm y menor a 20 μm), en una estación central de la Ciénaga Grande de Santa Marta, determinadas por Gravimetría.

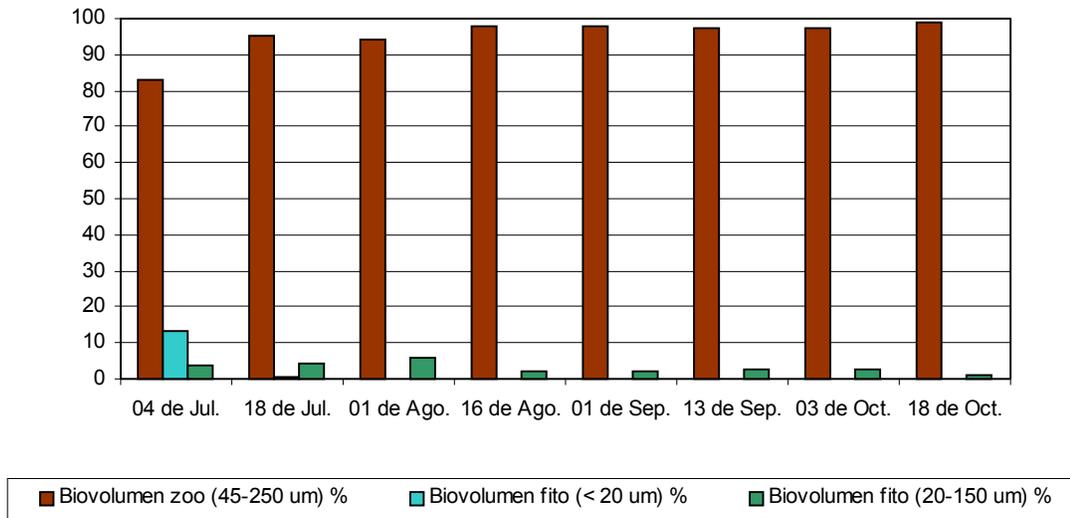


Figura 8. Variaciones quincenales de las fracciones microzooplanctónica (45 – 250 μm) y fitoplanctónicas de 20 – 150 μm y menor a 20 μm , en una estación ubicada al centro de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Biovolumen.

Las variaciones mes a mes que se observan en la figura 7 pueden deberse principalmente a los cambios en las condiciones hidrobiológicas de la CGSM durante la realización del estudio. En el caso de la fracción menor a 20 μm , su aumento gradual de julio a agosto pudo deberse al incremento en la abundancia de las algas *Chroococcus*, *Ciclotella* y *Oocystis* (Cyanophyta, Diatomeas y Chlorophytas respectivamente), de pequeño tamaño. Las variaciones de la fracción de fitoplancton de 20 – 150 μm se relacionan también con los cambios en las condiciones ambientales de la ciénaga; otro tanto ocurre con la fracción microzooplanctónica, la cual depende directamente de las fluctuaciones de la salinidad en el sistema. Por supuesto, también es posible que la técnica de filtración haya influido en los cambios registrados en la figura 8, sobre todo en el caso de la fracción menor a 20 μm .

En términos de biovolumen el microzooplancton predomina sobre el fitoplancton (Figura 8), pero la variedad de organismos, es decir el mayor número de géneros identificados, corresponde al fitoplancton. La biomasa planctónica estuvo constituida por 21 géneros, de los cuales se han discriminado grupos tanto para el fitoplancton como para el microzooplancton; dentro del fito se establecieron cinco grandes grupos: Diatomeas (5 géneros), Chlorophytas (4 géneros), Cyanophytas (3 géneros), Dinophytas (2 géneros) y Euglenophyta (1 género) y dentro de microzooplancton se establecieron tres: crustáceos, rotíferos y huevos de pez. De acuerdo con estas categorías se determinó la dominancia de los géneros pertenecientes a cada una; en la figura 9 se puede observar que las diatomeas, las Cyanophytas y las Chlorophytas fueron los grupos predominantes en todas las fechas.

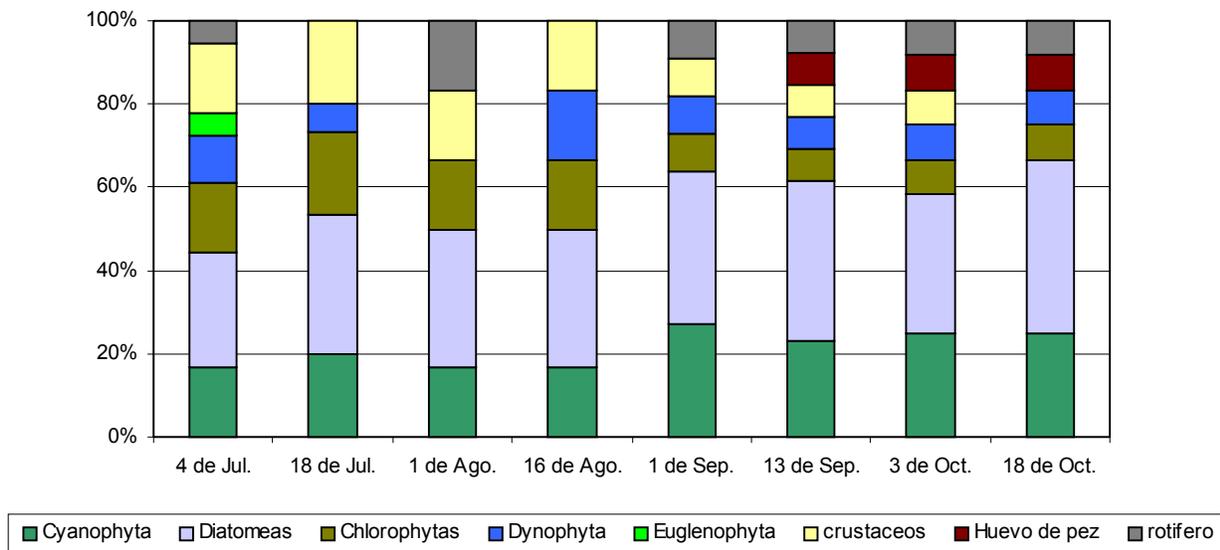


Figura 9. Contribución en porcentaje de abundancia (% N° de Ind. /ml), de los grupos planctónicos discriminados establecidos, tanto fito como microzooplanctónicos

Los géneros más abundantes y predominantes durante el periodo de muestreo fueron para el fitoplancton *Chroococcus*, *Cyclotella* y *Oocystis* y para el microzooplancton los grupos predominantes fueron Nauplios y Rotíferos (Tabla 10). Se observa igualmente que hubo organismos presentes en una fechas de muestreo y ausentes en otras por ejemplo, *Prorocentrum*, *Phacus* y *Pediastrum* aparecieron en el muestreo del 4 de julio y no se volvieron a observar más en las muestras, lo que podría ser una consecuencia de la influencia continental presentada en este periodo, en el cual la salinidad tuvo valores bajos que indican un mayor aporte de aguas dulces. Sin embargo, en este estudio las fluctuaciones del plancton en cuanto a su abundancia no permiten definir periodos climáticos particulares, ya que el nivel de especificidad en la identificación de los organismos impide que se establezcan patrones más definidos.

Tabla 10. Composición en porcentaje del plancton de la Ciénaga Grande de Santa Marta, calculado con respecto al valor total de células / ml.

Géneros	Jul. 4	Jul. 18	Ago. 1	Ago.16	Sep. 1	Sep.13	Oct. 3	Oct.18
	%	%	%	%	%	%	%	%
Chroococcus	0.2	82.3	0.2	1.6	3.4	2.8	4.8	4.6
Ababaenopsis	7.5	75.3	-	-	10.8	2.1	2.1	2.1
Anabaena	0.3	56.9	-	-	15.5	3.7	11.0	12.6
Cyclotella	47.4	19.8	-	2.0	11.8	8.8	8.3	2.0
Coscinodiscus	7.8	12.5	5.5	5.7	10.9	8.1	28.9	20.6
Navícula	10.1	63.3	-	-	6.3	1.5	12.6	6.3
Nitzschia	0.6	97.3	-	-	0.6	0.5	0.3	0.6
Plagiotropis	41.1	31.5	8.7	-	-	10.2	-	8.5
Oocystis	13.4	16.2	24.6	6.9	11.4	9.7	7.0	10.8
Volvox	5.9	94.1	-	-	-	-	-	-
Pediastrum	100	-	-	-	-	-	-	-
Staurastrum	-	100	-	-	-	-	-	-
Dinophysis	18.3	-	-	-	-	-	37.1	44.7
Protoperidinium	4.2	7.7	-	21.7	42.0	24.5	-	-
Prorocentrum	100	-	-	-	-	-	-	-
Phacus	100	-	-	-	-	-	-	-
Nauplio	62.7	6.4	2.8	2.8	5.7	10.0	9.4	-
Rotífero	8.5	-	23.9	-	23.6	18.8	17.0	8.2
Copépodo	7.6	92.4	-	-	-	-	-	-
Larva	96.0	4.0	-	-	-	-	-	-
Huevos de pez	-	-	-	-	-	21.9	21.9	56.3

Con referencia a la comunidad fitoplanctónica de la CGSM, Vidal (1995) determinó que durante 1987 hubo un estado intermedio en las condiciones ambientales que caracterizaron el sistema, es decir no hubo una marcada influencia marina (presencia de solo dos especies de *Ceratium* en poco número) y tampoco hubo una marcada influencia continental (42 especies de Cyanophytas, Chlorophytas y Euglenophytas), a diferencia de los resultados reportados por Carmona (1978) y Kucklick (1987), quienes hallaron cambios fuertes en la comunidad de acuerdo a la influencia marina y continental.

A pesar de los cambios que ha sufrido la Ciénaga Grande de Santa en lo que lleva de historia, aún se aplican ciertos aspectos en referencia a qué es condicionante o

no de la dinámica del sistema: Kucklick (1987) menciona que la magnitud, composición y secuencia del fitoplancton en la ciénaga no solamente depende del aporte alóctono (fluvial o marino), que ocasionan enriquecimiento o disminución en el contenido de nutrientes, sino también de los eventos “in-situ”, como son la tasa de remineralización y la velocidad de retorno de nutrientes mediante el material orgánico o el sedimentario. Esto permite establecer que, de alguna forma, las múltiples intervenciones que sufre un sistema por factores no medidos e indeterminados, son asimiladas y transformadas; estos cambios pueden medirse, de manera que un observador externo posicionado en diferentes puntos del tiempo, puede ver en qué medida varía la velocidad de retorno a un estado de equilibrio. Es así como en 1979 Carmona concluyó que el sistema fue predominantemente salino y que las especies que marcaron esta condición pertenecieron al género *Ceratium*; en 1987 Kucklick halló un estado contrario durante una parte de su estudio (octubre/81 a septiembre/82) y un medio con una marcada influencia dulce acuícola representada por numerosos taxones de grupos de Cyanophytas, Chlorophytas y Euglenophytas; posteriormente Vidal (1995) reportó un estado intermedio a estas condiciones. Lo anterior indica que la comunidad fitoplanctónica responde rápidamente a las condiciones intrínsecas y extrínsecas que afectan el ecosistema.

Del zooplancton no se tiene tanta información; sin embargo en los mismos estudios citados se observa que su actividad está igualmente relacionada con tasas de retorno de nutrientes, variaciones de la salinidad por aportes marinos o de aguas dulces, cambios en la temperatura, procesos de resuspensión de sedimentos, selectividad de pastoreo y en fin, una variedad de aspectos que en conjunto confirman lo expuesto por Howarth y colaboradores (1988), esto es, que en ecosistemas con masas de aguas de recambio acelerado los procesos advectivos dominan sobre los procesos biogeoquímicos. Hecky y Kilham (1988) también mencionan que en algunos sistemas dominados por procesos físicos los nutrientes, por ejemplo, se comportan de forma conservativa, lo cual sugiere que la toma biológica neta puede no ser importante. Esto evidencia procesos de

mezcla que hacen que la competencia del fitoplancton por los recursos no sea un proceso importante en muchos ambientes acuáticos. Los rotíferos, por ejemplo, se han asociado en la ciénaga con la época de lluvias; cuando la salinidad alcanza sus valores máximos estos organismos desaparecen (Carmona, 1979). Dado que para el presente estudio el sistema mantuvo rangos relativamente constantes en la salinidad y los aumentos no fueron críticos, la presencia de los rotíferos fue normal. Los nauplios y copépodos están también directamente relacionados con las épocas de lluvias y con salinidades bajas. El 18 de julio, por ejemplo, se reportó la salinidad más baja y los copépodos fueron más abundantes; julio fue, además, el único mes en el que se reportó la presencia de este grupo planctónico.

La selección de la fracción microzooplanctónica dentro del zooplancton está justificada por el hecho de que los máximos valores de fitoplancton se asocian con pequeños incrementos del microzooplancton (Castaño, 1990). Por lo general, las abundancias de microzooplancton en la CGSM son bajas los primeros meses del año y se hacen mayores a partir de mayo, con valores máximos entre agosto y septiembre (Carmona, 1979, 1988; Castaño, 1990).

3.2.3 Componentes del seston orgánico

Llegar a determinar, e incluso estimar los componentes del seston orgánico, representa una ardua tarea. Kucklick (1987) incursionó en este campo y estimó las concentraciones de detrito o materia orgánica muerta que hace parte del seston orgánico de forma muy indirecta. La autora calculó esta fracción mediante la diferencia entre la materia orgánica particulada (el seston orgánico) y el peso seco del fitoplancton, omitiendo la biomasa del zooplancton y de las bacterias, por lo cual sobrestimó los valores de detrito. El detrito representa un componente importante en todos los ecosistemas acuáticos, tanto por la cantidad en que aparece, como por su función en el almacenamiento de nutrientes y energía,

especialmente en estuarios, en donde su contenido supera ampliamente al fitoplancton (Kucklick, 1987). Además, el detrito ha sido objeto de múltiples estudios sobre su estructura y su significancia como reserva de nutrientes y alimento para los productores secundarios (Hood, 1970; Melchiorri – Santolini & Hopton, 1972).

El componente orgánico del seston (tabla 5) y la biomasa planctónica total (tabla 8) conforman los elementos básicos para la determinación del detrito o biomasa orgánica muerta. El detrito calculado por el método gravimétrico se determina mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\textit{Detrito} = \textit{Seston orgánico} - \textit{Biomasa planctónica}$$

Las concentraciones de materia orgánica muerta o detrito, determinadas en este trabajo con la anterior expresión, tuvieron en promedio un valor de 4.62 mg C/L, con un máximo de 8.72 mg C/L y un mínimo de 1.93 mg C/L. Este componente representa por lo tanto el 38% del total del seston orgánico, frente al 62% de biomasa total planctónica o materia orgánica viva. Tuchkovencko (com. pers.) describe que para los años 80 el detrito representaba un 25% de la masa total del seston orgánico en la CGSM; si se asume que la relación entre las fracciones disuelta y suspendida de la materia orgánica se ha mantenido constante, es decir, que la relación actual es igual a la de los años 80, entonces el contenido total de la materia orgánica muerta correspondería a $10 \text{ mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$. Convirtiendo este valor a mg C/L (conversiones en Tabla 2) se tendría que la materia orgánica sería igual a 3.75 mg C/L; por lo tanto, si este valor corresponde al 25% del seston orgánico, entonces la materia orgánica viva o biomasa total planctónica representaría el 75%, es decir, 11.25 mg C/L. Los cálculos obtenidos con este modelo dan una idea de lo que se podría esperar para el periodo actual, en relación a la concentración del detrito; por ello, al comparar las cifras halladas en este estudio con los valores antes descritos, se observa que se ajustan a las condiciones esperadas. En la tabla 11 se presentan las concentraciones de detrito

determinadas para cada fecha de muestreo y en la figura 10 se observan las proporciones del componente detrítico y el componente vivo del seston orgánico.

Tabla 11. Concentración de detrítico estimada a partir de la técnica gravimétrica de determinación de seston orgánico y biomasa total.

Fecha	mg p.s. (peso seco) / L			mg C (carbono)/ L		
	Seston orgánico	Biomasa total	Detrito	Seston orgánico	Biomasa total	Detrito
Jul. 4/00	26.0	21.0	5.0	9.3	8.0	1.3
Jul. 18/00	25.0	18.6	6.4	8.9	6.8	2.2
Ago. 1/00	33.5	9.8	23.7	12.0	3.3	9.0
Ago. 16/00	45.5	40.9	4.6	16.3	14.4	1.9
Sep. 1/00	38.0	28.7	9.3	13.6	9.3	4.3
Sep. 13/00	42.5	28.8	13.7	15.2	9.3	6.0
Oct. 3/00	33.5	13.1	20.4	12.0	4.4	7.6
Oct. 18/00	28.0	15.1	12.9	10.0	5.0	5.0

El aumento de la fracción detrítica con respecto a la porción viva el 1º de agosto y 3 de octubre, son el producto de la disminución de algunas de las fracciones del plancton; de esto se deriva igualmente que en cada época climática ocurre la misma tendencia, es decir, un inicio con altos porcentajes de biomasa, su disminución gradual hasta alcanzar un mínimo y un ascenso antes y después de ingresar la nueva época climática. El inicio de agosto y octubre representan el punto de cambio de la salinidad en cada época climática, así que es muy posible que estas variaciones ocasionen pequeños desequilibrios en la estructura ya conformada por la comunidad.

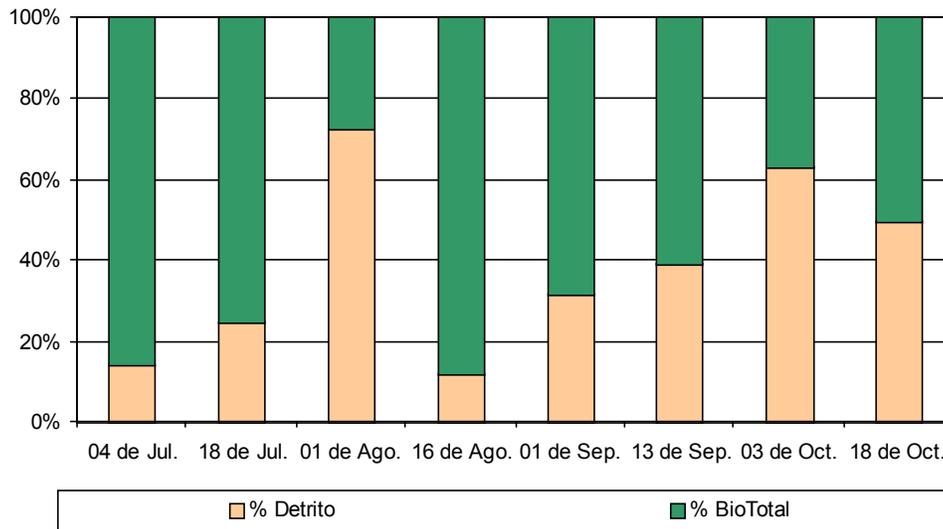


Figura 10. Variaciones de la proporción de detrito (técnica gravimétrica) y de la materia orgánica viva, durante el periodo de estudio julio-octubre de 2000.

3.3 *Materia orgánica fácilmente oxidable determinada por el método de oxidación química con permanganato de potasio*

El método químico de determinación de la materia orgánica fácilmente oxidable por oxidación con permanganato de potasio fue implementado en Colombia por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) a partir de 1997 con excelentes resultados; sin embargo, aún su aplicación no ha sido difundida a otros laboratorios, así que con los resultados de este trabajo se presenta una alternativa metodológica que puede aplicarse en el diseño de estudios y monitoreos ambientales; su implementación permitirá disponer de una herramienta que está al mismo nivel de procedimientos como la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), el Carbono orgánico total y la DQO (Demanda Química de Oxígeno), desarrollados también para determinar la materia orgánica en el agua. Los resultados obtenidos de la aplicación de este método en los monitoreos ambientales realizados por el CIOH en la Ciénaga de la Virgen y en la Bahía de Cartagena indican que, en el primer sistema la concentración de materia orgánica

total varia de 40 mg O/L a 60 mg O/L, de este total entre el 60% al 80% equivalen al componente particulado. En la Bahía de Cartagena la concentración de materia orgánica total varió de 17mg O/L a 25 mg O/L de donde un 20% a 25% representó el contenido de materia orgánica particulada. En ambos sistemas los resultados estuvieron relacionados con las variaciones de las condiciones climáticas que regulan cada área en particular.

La DBO es una técnica química que indica la presencia de materia orgánica biodegradable, aceites y grasas extractables de una muestra por un solvente no polar; dicho en otras palabras, la DBO es una prueba usada para determinar la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias en el proceso de estabilización o de degradación bioquímica de la materia orgánica en aguas residuales domésticas, industriales y municipales.

Según el Standard Methods (APHA, 1992), los análisis que determinan materia orgánica en aguas se pueden clasificar dentro de dos tipos generales: los que miden la cantidad de materia orgánica presente constituida por componentes orgánicos con características comunes y aquellos que cuantifican de manera individual los compuestos orgánicos. Para ello se establecen cuatro categorías de medición: sustancias que demandan oxígeno, elementos comprometidos orgánicamente, clases de componentes y formaciones potenciales. Los métodos de carbono orgánico total y DBO se usan para valorar la cantidad total de formas orgánicas presentes; la DQO se utiliza como una medición del oxígeno equivalente a la materia orgánica contenida en una muestra, que es susceptible a oxidación por una fuerte acción química. Cada una de estas metodologías viene acompañada de pruebas experimentales avaladas estadísticamente que proporcionan el grado de precisión y exactitud de la técnica; por ejemplo un estándar de glucosa y ácido glutámico en proporción 1:1 sirve para determinar la precisión y exactitud de la DBO. En la técnica de oxidación con permanganato de potasio el grado de precisión y exactitud de la metodología también se corrobora con el mismo patrón de glucosa y ácido glutámico. En este trabajo se generaron

varias diluciones de este estándar que se analizaron de forma directa. Los resultados obtenidos muestran que 1.5 mg/L de materia orgánica es la concentración mínima detectable por el método y que en concentraciones superiores a 20 mg/L se recomienda aplicar una dilución del 10%, ya que por encima de esta concentración se pierde sensibilidad en el método.

Patrones de glucosa y ácido glutámico de concentraciones: 1.5 mg/L, 3.75 mg/L y 7.5 mg/L. analizados con un total de 14 réplicas cada uno, dieron concentraciones promedios de 0.8492 mg/L, 2.4834 mg/L y 6.333 mg/L, respectivamente y desviaciones estándar de 0.1629, 0.1489 y 0.825, respectivamente. Este método aunque no fue diseñado con el fin de determinar detritos, su fundamento químico permite cuantificar directamente su concentración en un cuerpo de agua determinado.

3.3.1 Detrito o materia orgánica muerta

En la determinación de detritos el método de oxidación química calcula la materia orgánica fácilmente oxidable total y disuelta de los cuales se calcula el componente particulado que representa la materia orgánica muerta o detrito. Los resultados muestran aspectos de la dinámica de los componentes particulado y disuelto, en concordancia con los cambios en los factores hidrodinámicos y meteorológicos. Las lecturas quincenales (tabla 12) indican variaciones en los resultados que podrían deberse a una alta velocidad en los procesos de degradación y producción de la materia orgánica.

En promedio la concentración de la materia orgánica total, disuelta y particulada fue de 8.93 mg C/L, 6.11 mg C/L y 2.82 mg C/L respectivamente. De este promedio la materia orgánica particulada representó un 32% del total; sin embargo, se aprecian variaciones considerables de quincena en quincena que fluctúan entre el 3 y el 65% (Figura 11).

Tabla 12. Datos de materia orgánica en sus componentes total (MOT), disuelto (MOD) y particulado (MOP).

Fecha	Materia orgánica fácilmente oxidable (mg O/L)			Materia orgánica fácilmente oxidable (mg C/L)*		
	MOT	MOD	MOP	MOT	MOD	MOP
Jul. 04/00	14.12	8.86	5.25	5.29	3.32	1.97
Jul. 18/00	27.30	26.45	0.85	10.24	9.92	0.32
Ago. 01/00	22.59	13.17	9.42	8.47	4.94	3.53
Ago. 16/00	30.95	22.41	8.54	11.61	8.40	3.20
Sep. 01/00	30.71	10.62	20.10	11.52	3.98	7.64
Sep. 13/00	23.63	12.27	11.36	8.86	4.60	4.26
Oct. 03/00	17.09	13.3	3.76	6.41	5.00	1.41
Oct. 18/00	24.12	23.25	0.87	9.04	8.72	0.32

*: (mg O/L x 0.375) = mg C/L y 0.375 Factor (0.535/1.429) Tabla 2.

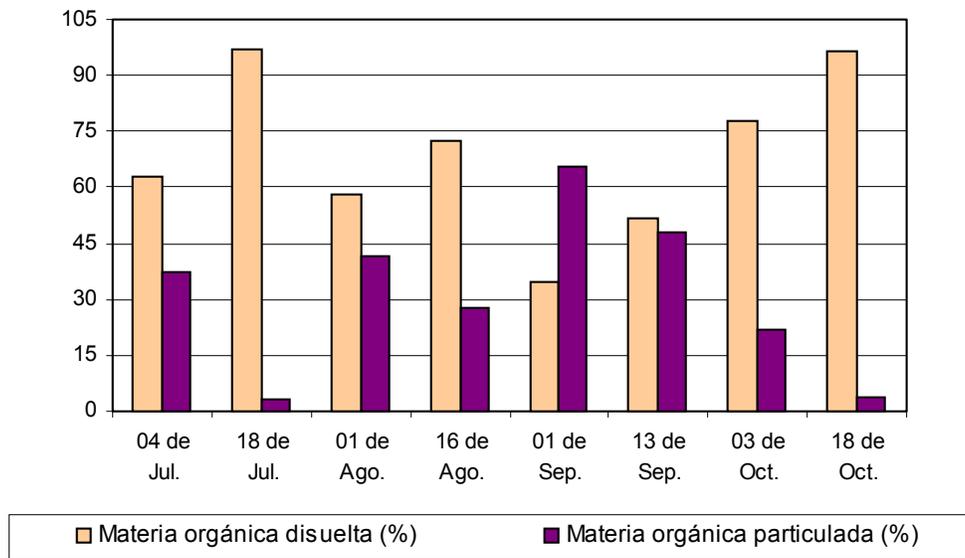


Figura 11. Variaciones quincenales de porcentajes de materia orgánica disuelta y particulada.

Como se ve en la figura 11, la fracción de materia orgánica disuelta tiene porcentajes mayores en casi todos los muestreos; esta fracción está generalmente asociada a las tasas de respiración del fitoplancton, la mortalidad de microalgas y bacterias y la autólisis del detrito; por su parte, la materia orgánica particulada está generalmente relacionada con aportes de los ríos (especialmente del Río

Magdalena), aportes por parte del manglar y procesos biogeoquímicos en el sistema. Las condiciones ambientales descritas en el capítulo 3.1 muestran un sistema en estado de relativa homogeneidad, de manera que las influencias físicas que determinarían aumentos en la materia orgánica particulada no son muy marcadas; por lo tanto, el componente disuelto se ve favorecido (Kucklick, 1987; Toncel, 1979).

Como se describió en párrafos anteriores la porción no filtrada o particulada de la materia orgánica fácilmente oxidable total es el mismo detrito o materia orgánica muerta. Su relación con otros componentes del medio es lo que permitirá determinar su aplicabilidad técnica. El promedio encontrado para el periodo analizado (muestreos quincenales), mostró variaciones significativas en la concentración que indican asociaciones interesantes con las variables ambientales medidas. Los resultados obtenidos por el método de oxidación con permanganato (Tabla 13) se dan en términos de mg O/L; mediante los factores de conversión descritos en la tabla 2, los datos se pueden transformar a mg C/L o mg C/m³, de acuerdo con la relación que se quiera establecer. En promedio, la concentración de detrito obtenida por este medio es equivalente a 2.82 mg C/L, con un valor máximo de 7.54 mg C/L y un mínimo de 0.32 mg C/L.

Tabla 13. Concentración de materia orgánica muerta (MOM) o detrito determinada por el método de oxidación con KMnO₄.

Fecha	Detrito o MOM mg O/L	Detrito o MOM mg C/L
Julio 4/00	5.2	1.97
Julio 18/00	0.8	0.32
Agosto 1/00	9.4	3.53
Agosto 16/00	8.5	3.20
Septiembre 1/00	20.1	7.54
Septiembre 13/00	11.4	4.26
Octubre 3/00	3.8	1.41
Octubre 18/00	0.9	0.33

3.4 Detrito determinado por los método gravimétrico y oxidación química

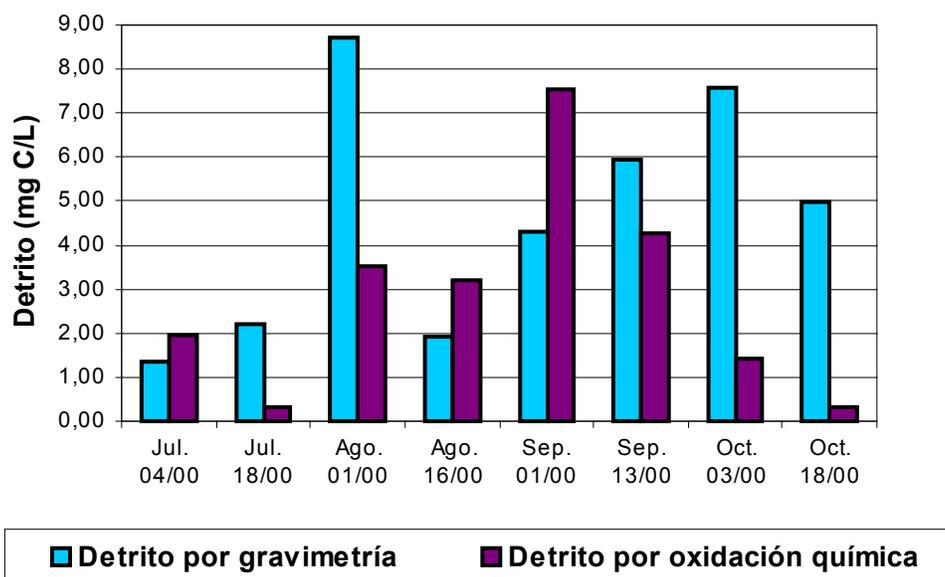


Figura 12. Concentración de detrito obtenida por medio de la aplicación de los métodos oxidación química y gravimétrico.

En el desarrollo y aplicación de las técnicas analíticas empleadas, se tuvieron en cuenta todos los cuidados metodológicos necesarios para garantizar que no hubo errores en los procedimientos empleados, para ello la supervisión por parte de personal calificado fue un aspecto fundamental. En este caso de la aplicación de patrones conocidos descrita en capítulos anteriores, el método químico muestra que la técnica arroja resultados confiables, mientras que para el método gravimétrico no se emplean patrones conocidos, además en la determinación del componente planctónico existen algunos aspectos (sobrestimación o subestimación) que podrían incidir sobre el valor final de concentración del detrito. En el comportamiento observado en la figura 12, existen aspectos que podrían explicar las variaciones de los resultados de uno u otro método en relación con los

parámetros ambientales descritos para el área. Por ejemplo, para el caso de la técnica de oxidación química las variaciones del detrito pueden estar relacionadas con el componente fitoplanctónico del plancton, mientras que el método gravimétrico aunque no se ajusta muy bien a los cambios medioambientales del área, su comportamiento si podría estar relacionado con el componente microzooplanctónico del plancton.

3.5 Resultados estadísticos

3.5.1 Resultados obtenidos por el método gravimétrico y método de oxidación química

Estas dos técnicas de determinación, como se describió antes, son en si mismas muy diferentes; sin embargo cada una bajo sus propios principios y fundamentos metodológicos permitió la valoración del detrito presente en las muestras analizadas. Así que, para comprobar si existen diferencias entre los resultados obtenidos de estas dos técnicas, se aplicaron varias pruebas estadísticas, no solo a estas variables, sino también a todas las variables ambientales relacionadas con la investigación.

3.5.1.1 Análisis estadístico de comparación de promedios.

3.5.1.1.1 Detrito por gravimetría vs detrito por oxidación con permanganato de potasio.

Los datos obtenidos de cada técnica se agrupan en la siguiente tabla:

Tabla 14. Concentración de detrito obtenido por gravimetría y por oxidación con KMnO_4

FECHA	Técnica gravimétrica (mg C/L)	Técnica de oxidación con KMnO_4 (mg C/L)
Jul. 04/00	1.34	1.97
Jul. 18/00	2.19	0.32
Ago. 01/00	8.72	3.53
Ago. 16/00	1.93	3.20
Sep. 01/00	4.31	7.54
Sep. 13/00	5.93	4.26
Oct. 03/00	7.58	1.41
Oct. 18/00	4.99	0.33

3.5.1.1.1 Análisis de varianza de un factor.

Tabla 15. Información general del análisis de varianza de un factor obtenida de las técnicas de determinación de detrito

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Técnica gravimétrica	8	36.99	4.62375	7.3457125
Técnica KMnO_4	8	22.56	2.82	5.7373142

Tabla 16. Análisis de varianza aplicado a los resultados obtenidos de las técnicas de determinación de detrito.

Origen de las varianzas	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	13.014056	1	13.014056	1.9894564	0.1802290	4.6001105
Dentro de los grupos	91.581187	14	6.5415133			
Total	104.59524	15				

La hipótesis nula, H_0 : “Los promedios entre los resultados obtenidos de las técnicas de determinación del detrito son iguales”, de acuerdo a los valores F calculado (1.989) y el F crítico (4.6), podría aceptarse, dado que el F calculado es

menor que el F crítico, sin embargo, el valor de probabilidad (0.18) rechaza la hipótesis nula.

3.5.1.1.2 Prueba F para comparación de varianzas

Ho: detrito oxidación química = detrito método gravimétrico

Ha: detrito oxidación química ≠ detrito método gravimétrico

Método gravimétrico:	$X_1 = 4.62$	$S_1 = 2.71$	$S_1^2 = 7.35$
Oxidación química:	$\bar{X}_2 = 2.82$	$S_2 = 2.40$	$S_2^2 = 5.74$

$$F = S_1^2 / S_2^2 = 7.35 / 5.74$$

$$F = 1.28 \approx f(n_1 - 1; n_2 - 1)$$



$$\text{Si } S_1^2 > S_2^2$$

El F de tabla con (7 g.l. numerador; 7 g.l. denominador) y un $\alpha = 0.05$, es igual a 3.79.

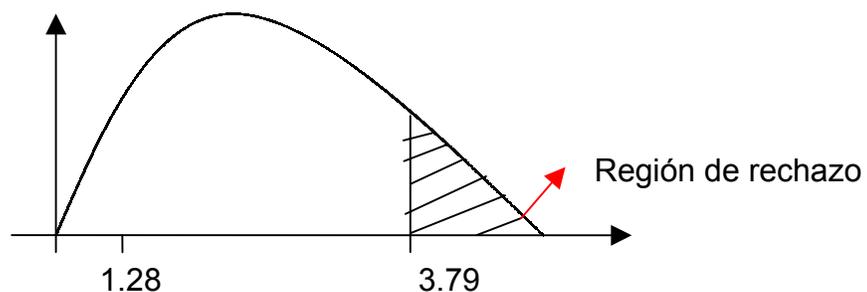


Figura 13. Representación de región de aceptación o rechazo de la prueba F, en la comparación de varianzas para los resultados obtenidos por las técnicas de determinación de detrito.

De acuerdo con los anteriores resultados, no hay evidencia concluyente para rechazar la hipótesis de que los resultados de las técnicas de determinación de

detrito por gravimetría y por oxidación no presentan diferencias estadísticas. Es decir ambas técnicas arrojan resultados con poca variabilidad entre sí; sin embargo vuelve a presentarse lo descrito anteriormente: la probabilidad (0.37) rechaza la hipótesis nula.

3.5.1.1.3 Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

Los resultados obtenidos con la prueba de comparación de promedios mediante la T de student se presentan a continuación:

Tabla 17. Información general de la prueba T aplicada a los tratamientos de determinación de detrito

	Técnica gravimétrica	Técnica KMnO ₄
Media	4.62375	2.82
Varianza	7.3457125	5.737314286
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	6.5415133	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	1.41048094	
P(T≤t) una cola	0.0901145	
Valor crítico de t (una cola)	1.76	

Nuevamente se observa que la t calculada (1.41) es menor que el valor crítico (1.76), pero la probabilidad (0.09) rechaza la hipótesis nula.

Para los tres análisis presentados se establece que, los promedios obtenidos son iguales, pero el valor de probabilidad rechaza la hipótesis nula, por tanto, se establece que los resultados obtenidos de la aplicación de las técnicas gravimétrica y la técnica de oxidación química son diferentes. El método gravimétrico, por ejemplo, depende de la determinación de biomasa total, de

manera que resultados subestimados o sobrestimados de este componente darán como resultante errores en la concentración del detrito; este es el inconveniente de las técnicas indirectas. En el caso de la técnica de oxidación con KMnO_4 los errores dependen del manejo de la técnica en si misma; por ser una análisis químico, permite evaluar periódicamente la eficiencia de los resultados mediante la preparación de estándares de concentraciones conocidas, esta técnica además es directa y el tiempo de análisis es menor, como en toda metodología se deben seguir ciertos lineamientos que garanticen la calidad de los resultados, por ejemplo, fallas en la preparación de reactivos, mal manejo de estándares, mala calidad del agua o errores en la toma y preservación de las muestras, arrojaran resultados equivocados o poco confiables.

3.5.1.2 Valores de detrito correlacionados con variables bióticas

Como complemento a los anteriores análisis aplicados a los resultados obtenidos con los métodos de oxidación química y gravimétrico, se efectuó la correlación de Pearson; el detrito obtenido con estas dos metodologías se correlacionó con los valores de biomasa fitoplanctónica y microzooplanctónica obtenidas por la técnica gravimétrica. Con un número de datos de ocho y un 95% de confiabilidad se tiene que el valor R de correlación de los datos analizados debe estar por encima de 0.707 para que haya significancia estadística. En la siguiente tabla se presentan los valores R obtenidos para los datos analizados:

Tabla 18. Correlación (R) de Pearson obtenida de los valores de detrito y biomasa fitoplanctónicas y microzooplanctónicas

Métodos de determinación del detrito	Biomasa fitoplanctónica	Biomasa Microzooplanctónica
Gravimétrico	0.0053	-0.847
Oxidación Química	0.6966	-0.265

Los resultados de la tabla 18 muestran que el detrito se correlaciona positivamente con la biomasa fitoplanctónica y negativamente con la del microzooplancton. Además, el detrito obtenido por oxidación química, presenta una mayor correlación con el fitoplancton que aquel obtenido por el método gravimétrico; para el caso de la biomasa microzooplanctónica, por el contrario, es el método gravimétrico el que muestra mayor correlación, aunque negativa. De lo anterior se podría establecer que los resultados de detrito por la técnica química se relacionan mejor con el comportamiento de la biomasa del fitoplancton, mientras que los resultados de detrito por la técnica gravimétrica se relacionan mejor con el comportamiento del microzooplancton. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que para este ejercicio de correlación entre más datos hallan los resultados podrían optimizarse logrando así correlaciones con mayor significancia.

3.5.1.3 Biomasa determinada por gravimetría vs biomasa determinada por biovolumen.

Existe gran variedad de metodologías que permiten determinar la biomasa planctónica de un sistema en particular. Para conocer, por ejemplo, la cantidad de biomasa del fitoplancton, se requiere saber el peso de las diferentes poblaciones de algas, lo cual no es una tarea fácil; debido a que nunca se pueden tomar grandes cantidades de una sola especie, siempre se cogerá una mezcla de organismos planctónicos y entre un sistema y otro las variaciones en tamaño pueden ser muy marcadas. Las técnicas de valoración de esta biomasa se resumen en:

- Biovolumen (método de Lohmann, 1908 En: Schowoerbel, 1975)
- Método de clorofila (Schowoerbel, 1975; APHA, 1992; Scor UNESCO , 1966; Strickland y Pearsons, 1968)
- Gravimetría: método de la determinación del peso seco (Schowoerbel, 1975; APHA, 1992)
- Método del nitrógeno (Schowoerbel, 1975; APHA, 1992)

Las determinaciones directas de esta biomasa son las técnicas ideales, pero no siempre es posible aplicarlas, ya sea por carencia de tiempo o poca disponibilidad de equipos y recursos que faciliten un buen diseño experimental. Las más usadas en el campo ambiental para determinar la biomasa son la técnica gravimétrica y la técnica de biovolumen, aunque en el diseño de monitoreos ambientales se recurre a la aplicación del método de clorofila a.

En el caso del zooplancton es relativamente más sencillo averiguar el peso seco y fresco de varios miembros de un especie. Los métodos empleados a continuación son:

- Método volumétrico (Boltovskoy, 1981; Schowoerbel, 1975; APHA, 1992)
- Métodos gravimétricos (Boltovskoy, 1981; Schowoerbel, 1975; APHA, 1992)
- Método químico y de contenido calórico (Boltovskoy, 1981).

Tanto para el fitoplancton como para el zooplancton (microzooplancton) se aplicaron las técnicas de determinación por gravimetría (peso seco) y la técnica de biovolumen; los resultados obtenidos se valoraron mediante la aplicación de análisis estadísticos de comparación de promedios.

Tabla 19. Biomasa planctónica obtenida por las técnicas gravimétrica y de biovolumen.

FECHA	Biomasa gravimetría (mg C/L)	Biovolumen (mg C/L)
Jul. 04/00	7.07	0.106
Jul. 18/00	6.76	0.181
Ago. 01/00	3.27	0.088
Ago. 16/00	14.36	0.091
Sep. 01/00	9.29	0.156
Sep. 13/00	9.28	0.190
Oct. 03/00	4.41	0.158
Oct. 18/00	5.04	0.117

3.5.1.3.1 Análisis de varianza de un factor.

Tabla 20. Información general del análisis de varianza de un factor para las técnicas de determinación de la biomasa planctónica

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Gravimetría	8	59.48	7.435	12.517628
Biovolumen	8	1.087	0.135875	0.0016307

Tabla 21. Análisis de varianza para las técnicas de determinación de biomasa.

Origen de las varianzas	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	213.108903	1	213.10890	34.04497	4.332E-05	4.6001105
Dentro de los grupos	87.6348149	14	6.2596296			
Total	300.743718	15				

La hipótesis nula, H_0 : “Los promedios entre los resultados obtenidos de las técnicas de determinación del biomasa son iguales”, se rechaza, puesto que el F calculado es mayor que el F crítico ($34.045 > 4.6$) y la probabilidad del azar es muy baja (0.000043). Por lo tanto, se puede afirmar con toda seguridad estadística que los resultados obtenidos con cada método son completamente diferentes. En otras palabras, la determinación de la biomasa planctónica mediante las dos metodologías empleadas no es comparable.

3.5.1.3.2 Prueba F para comparación de varianzas

H_0 : biomasa gravimetría = biovolumen

H_a : biomasa gravimetría \neq biovolumen

Biomasa gravimetría:	$\bar{X}_1 = 7.43$	$S_1 = 3.54$	$S^2_1 = 12.52$
Biovolumen:	$\bar{X}_2 = 0.136$	$S_2 = 0.04$	$S^2_2 = 0.002$

$$F = S^2_1 / S^2_2 = 12.518 / 0.002$$

$$F = 7676.247 \approx f(n_1 - 1; n_2 - 1)$$

Si $S^2_1 \gg S^2_2$

El F de tabla con (7 g.l. numerador; 7 g.l. denominador) y un $\alpha = 0.05$, es igual a 3.79.

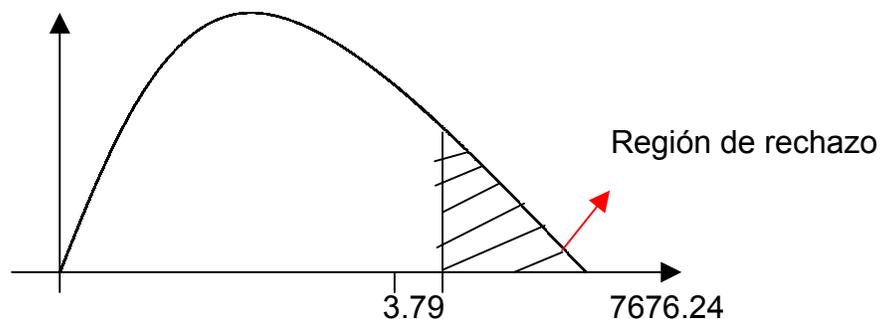


Figura 14. Representación de región de aceptación o rechazo de la prueba F, en la comparación de varianzas de los resultados obtenidos de las técnicas de determinación de biomasa.

Se observa claramente que la H_0 es falsa; además, la probabilidad de que esto sea producto del azar es totalmente remota. Es claro que los resultados de estas dos técnicas son totalmente diferentes y nada comparables. En párrafos anteriores se plantearon los aspectos positivos y negativos de ambas técnicas, vale la pena recordar aquí estos aspectos: la biomasa determinada por biovolumen exige gran rigor y tiempo para su desarrollo; es preferible realizar pruebas en bioensayos que permitan establecer rangos dimensionales en cada una de los organismos; además, se requiere una identificación taxonómica hasta un nivel más específico. Esta técnica puede ser confiable en la medida en la que el investigador adquiera destreza en la observación y manipulación de los individuos en el campo visual, sobre todo en las fracciones de menor micraje.

En cuanto a la técnica gravimétrica, siempre existe el interrogante de si se está estimando solo la biomasa o si hay dentro de la muestra otros elementos acompañantes que de cierto modo podrían causar sobreestimaciones de la información. La determinación del volumen a filtrar no solo depende del tipo de cuerpo de agua, sino también de la capacidad del equipo de filtración con el que se cuente; si se desconoce esta capacidad, se puede recurrir a la aplicación de diluciones a las muestras o el diseño previo de pruebas que midan el grado de sobresaturación que podrían tener los filtros por efecto de incapacidad de la bomba de vacío empleada para la filtración.

A pesar de las diferencias vistas entre los dos métodos, las biomásas obtenidas con cada uno se ajustan al comportamiento de algunas condiciones ambientales; en ambos casos, por ejemplo, el valor más bajo se observa en el muestreo del 1º de agosto, fecha en la que hubo un aumento de la salinidad que pudo causar la disminución de la comunidad planctónica.

3.5.1.4 Biomasa por gravimetría vs biomasa por clorofila a

Tabla 22. Comparación entre biomasa obtenida por gravimetría y la obtenida a partir de concentración de clorofila “a”

Gravimétrica (mg C/L)	Clorofila “a” (mg C/L)
0.50	0.52
0.40	1.23
1.34	1.32
1.12	1.21
1.15	1.80
0.89	2.14
0.86	2.67
0.93	3.19

3.5.1.4.1 Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

Los resultados obtenidos de esta prueba de comparación de promedios con la T de Student se presentan a continuación:

Tabla 23. Información general de la prueba t aplicada a la determinación de biomasa por gravimetría y clorofila a.

	Técnica gravimétrica	Técnica de la clorofila
Media	1.76	0.90
Varianza	0.76	0.10
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0.4338	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	2.61024802	
P(T≤t) una cola	0.00103	
Valor crítico de t (una cola)	1.761310	

Se observa que la t calculada (2.64) es mayor que el valor crítico (1.76), y la probabilidad del azar es baja (0.001), por tanto se rechaza la hipótesis que supone igualdad en los promedios. Esto significa, como era de esperarse, que ambas técnicas dan resultados que no son comparables.

3.5.2 Comportamiento de las variables biológicas.

Las técnicas multivariadas permitieron integrar las diferentes variables ambientales y biológicas consideradas en este estudio; cada componente hallado mediante las ordenaciones representa un estado de cambio del sistema; por lo tanto, los análisis multivariados permiten observar patrones de comportamiento dentro de las variables y entre las fechas de muestreo. Se realizaron análisis de clasificación tanto de las variables bióticas como de las abióticas, análisis de correlación de las

variables bióticas y análisis de ordenación a las variables abióticas. Para ello se diseñó una matriz de datos biológicos (tabla 24) y una matriz de datos abióticos (tabla 25), en las cuales las variables se encuentran en las filas y las fechas de muestreo en las columnas. Además, se tuvo en cuenta que las filas no superaran el número de columnas, para mantener la robustez estadística de este tipo de pruebas multivariadas.

Tabla 24. Matriz de datos biológicos, expresadas en términos de porcentaje

Organismos	Jul. 4/00	Jul. 18/00	Ago. 1/00	Ago. 16/00	Sep. 1/00	Sep. 13/00	Oct. 3/00	Oct. 18/00
Chroococcus	7	17	11	41	25	27	6	40
Ciclotella	21	1	0.01	0.01	0.06	2	1	0.005
Oocystis	24	4	18	25	14	14	9	10
Navicula	0.03	0.002	0.004	0.004	0.0004	0.00005	0.0002	0.0001
Coscinodiscus	0.1	26	10	9	18	16	21	23
Plagiotropsis	5	16	14	4	4	0.0004	4	0.0006
Anabaenopsis	0.6	0.03	0.008	0.1	0.008	0.0001	0.0001	0.0002
Anabaena	0.02	0.01	0.005	2	8	0.0001	5	7

Tabla 25. Matriz de datos abióticos. Seston orgánico (SO), detrito por gravimetría (DG), detrito por KMnO_4 (DQ), materia orgánica viva (MOV), NO_3 , S, T° , oxígeno disuelto (OD) y porcentaje de saturación de oxígeno (O_2).

Variables	Jul. 4/00	Jul. 18/00	Ago. 1/00	Ago. 16/00	Sep. 1/00	Sep. 13/00	Oct. 3/00	Oct. 18/00
SO (mgC/L)	9.31	8.95	11.99	16.29	13.60	15.22	11.99	10.02
DG (mgC/L)	1.34	2.19	8.72	1.93	4.31	5.93	7.58	4.99
DQ (mgC/L)	1.97	0.32	3.53	3.20	7.54	4.26	1.41	0.33
MOV (mgC/L)	7.97	6.76	3.27	14.36	9.29	9.28	4.41	5.04
NO_3 (mgN- NO_3 /L)	0.823	0.026	0.032	0.030	0.066	0.027	0.002	0.002
S (‰)	3.6	3.5	16.4	15.2	14.8	12.4	8.4	9.1
T ($^\circ\text{C}$)	30.5	30.4	31.5	31.0	30.1	30.6	29.3	30.8
OD (mg O/L)	9.1	7.2	10.9	9.1	8.4	8.7	9	10.4
O_2 (%)	124	98	148	124	119	123	120	138

3.5.2.1 Agrupamiento de variables bióticas y abióticas

La distancia natural entre dos puntos cualesquiera en el espacio hace referencia a la Distancia Euclidiana (Clásica o geometría Euclidiana). En el contexto de un matriz de abundancia de especies, la distancia Euclidiana entre muestras j y k está definida algebraicamente como:

$$d_{jk} = \sqrt{[\sum (y_{ij} - y_{ik})^2]}$$

Este análisis de clasificación aplica índices de similaridad tanto entre muestreos como entre variables, con el objeto de precisar cuales de ellas manifiestan estructuras o respuestas similares. La representación gráfica se hace mediante dendogramas elaborados usualmente mediante agrupación simple o agrupación promedio entre cada atributo y el grupo previamente asociado (Ramírez y Viña, 1998) .

3.5.2.1.1 Agrupamiento de especies

La agrupación de este conjunto de variables se hizo considerando el agrupamiento entre muestreos (Figura 15) y el agrupamiento entre organismos (Figura 16). Las consideraciones a tomar para el análisis del dendograma se basan en los puntos de agrupamiento de los atributos considerados; agrupamientos cercanos a 100% representan un grado de similaridad alto.

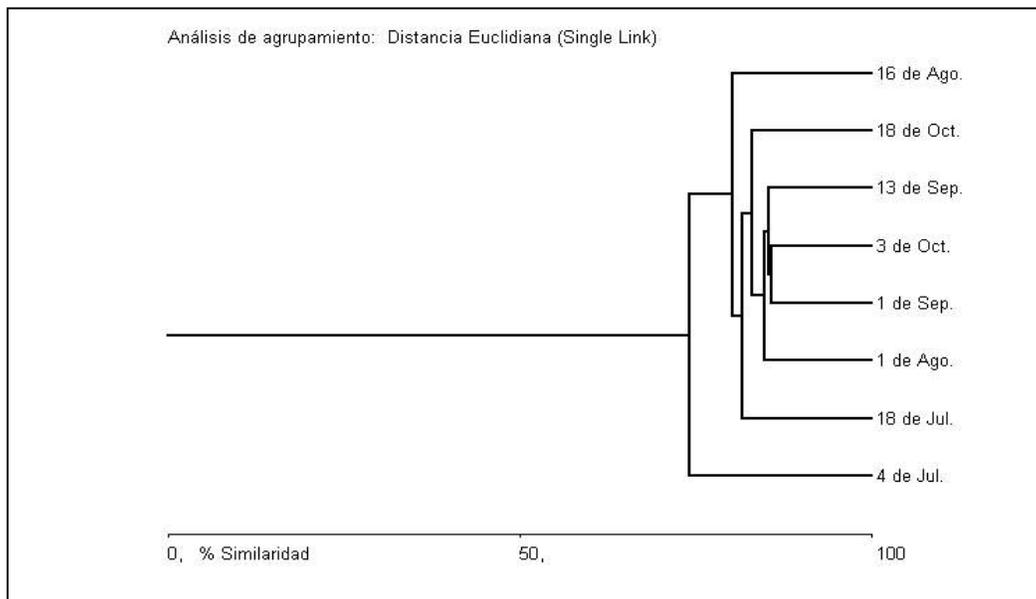


Figura 15. Dendrograma de las variables bióticas – agrupamiento entre muestreos

El dendrograma de la figura 15 manifiesta un patrón de agrupamiento en los muestreos de carácter homogéneo (la composición y abundancia de las especies del fitoplacton mes a mes es muy similar), excepto para julio 4, fecha que se separa del resto, muy posiblemente debido a que, a diferencia de agosto, las características medioambientales de este mes lo convierten en el más representativo de la época seca. En Julio 4 se destaca la mayor abundancia relativa de las diatomeas *Cyclotella* y *Navicula*, las cuales tuvieron menor representación en los demás muestreos. Hay que recordar que las diatomeas se ven favorecidas por una mayor acción del viento que causa turbulencia y las mantiene en la columna de agua (Roldán 1992).

Los agrupamientos de los géneros fitoplanctónicos en la figura 16 muestran una marcada asociación entre *Anabaenopsis*, *Anabaena*, *Navícula* y *Cyclotella*; estas microalgas pertenecen a dos grupos importantes en el sistema (Cyanophytas y Diatomeas). Los estudios realizados en la Ciénaga Grande de Santa Marta indican que generalmente no es común que ambos grupos estén asociados; sin embargo,

parece que hay condiciones medioambientales que permiten su agrupación en el área de estudio. Los reportes de las variables ambientales dados en este estudio se consideran relativamente atípicos, en comparación con otros años de estudio; julio, por ejemplo, es el mes típico de la época seca menor, pero durante este trabajo tuvo las salinidades más bajas, aunque sea claramente el mes en el cual se inicia el ascenso de la salinidad. Asociaciones anteriores de estos dos grupos (Kucklick, 1987) se han relacionado con aumentos de los silicatos aportados por los caudales de los ríos; estos ingresos son capturados por las diatomeas de forma rápida; los pequeños remanentes de fósforo y de hierro no utilizados por las cyanophyceas cumplirían con las condiciones exigidas para la floración de las diatomeas. Por otro lado, las concentraciones de silicatos y de cobre pueden actuar como reguladores de las poblaciones de las cyanophyceas; simultáneamente, el fósforo y el hierro actuarían como reguladores de *Anabaenopsis*. De esta manera se crea un ambiente de equilibrio dinámico entre el fósforo y el sílice, el hierro y el cobre que permiten establecer coincidencias en la composición y abundancia de las poblaciones fitoplanctónicas.

También se ha establecido que las cyanophyceas filamentosas, sobre todo del género *Oscillatoria*, permanecen de forma predominante ante aumentos de la salinidad, y en estos casos la flora acompañante son las diatomeas euryhalinas típicas de aguas salobres de estuarios (Kucklick, 1987). En conclusión, el hecho de que estos dos grupos en términos generales tan de condiciones opuestas, se hayan presentado de forma asociada en el dendograma, puede ser el resultado de las condiciones algo atípicas, que de alguna forma caracterizaron la totalidad del muestreo.

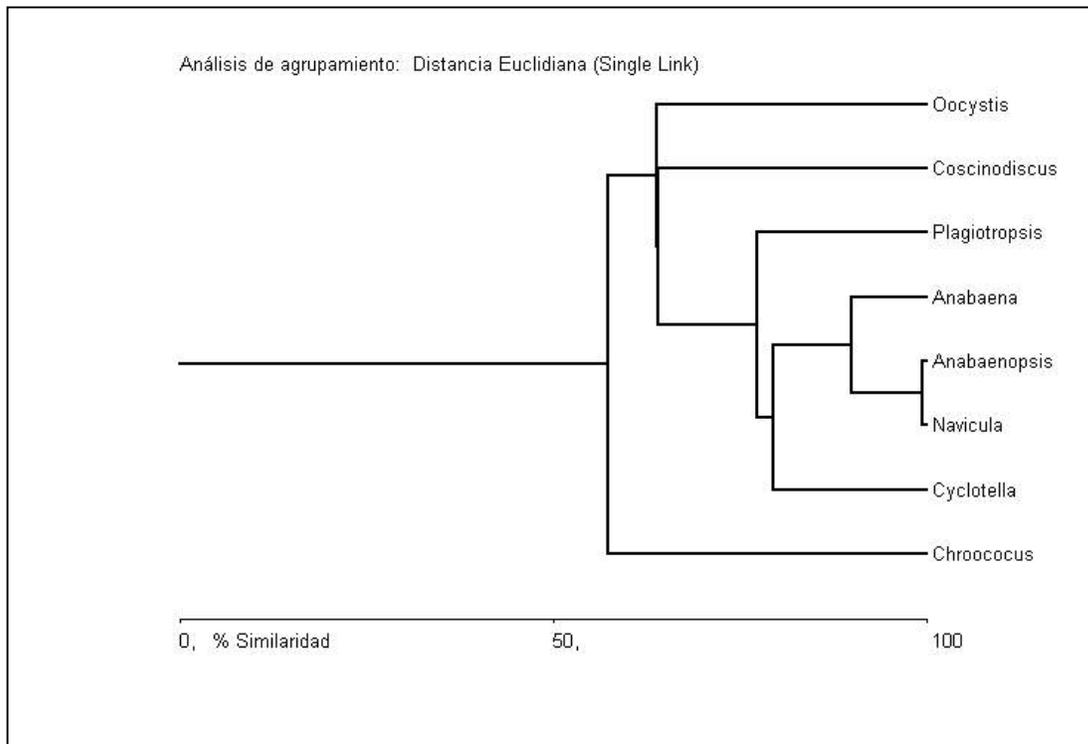


Figura 16. Dendrograma de variables bióticas – agrupamiento entre géneros

3.5.2.1.2 Agrupamiento de variables abióticas

Las variables ambientales en su patrón de agrupamiento entre muestreos es coincidente con el análisis de reportado para el dendrograma de las variables bióticas; al igual que éstas, las variables abióticas establecen una separación del 4 de julio (Figura 17). Esto demuestra la estrecha relación que existe entre el fitoplancton y el ambiente físico y químico de la ciénaga.

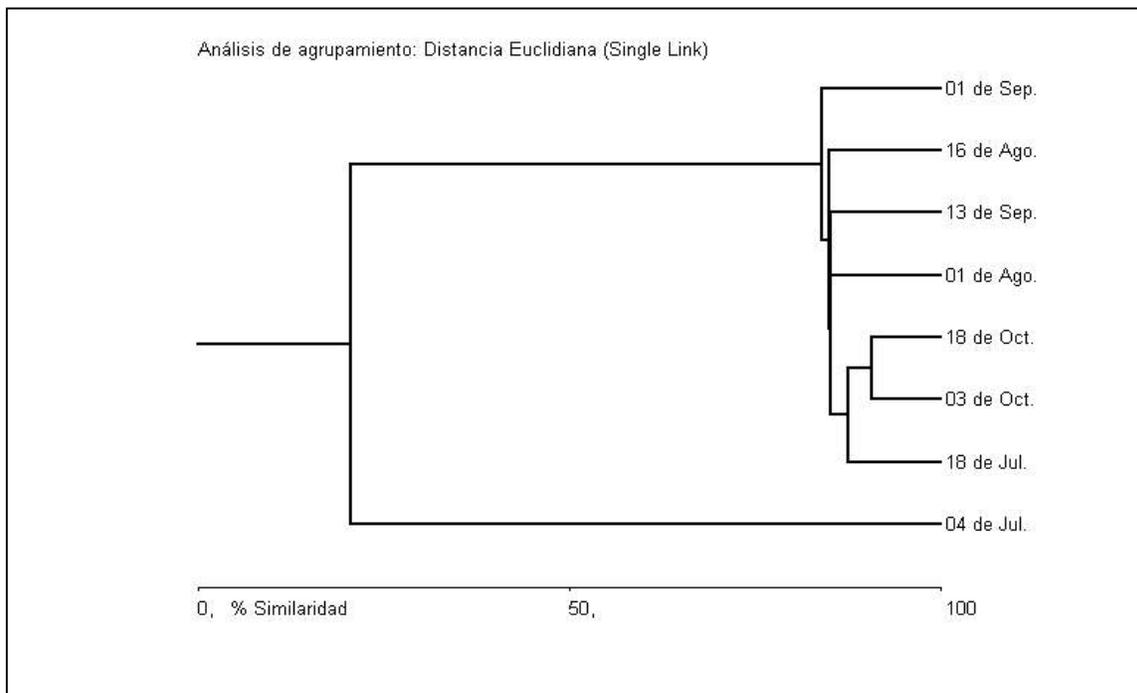


Figura 17. Dendrograma de las variables abióticas – agrupamiento entre muestreos.

Los nitratos no presentan el patrón de agrupamiento de las demás variables (Figura 18) porque su disponibilidad en el sistema es bastante baja (del tipo traza), razón por la cual el análisis aplicado deja ver un bajo porcentaje de similitud de esta variable; esto puede deberse a las oscilaciones constantes de las poblaciones fitoplanctónicas que propician fluctuaciones de este elemento (Camacho, 1978). Aparte de esta diferenciación en los nitratos, el dendrograma de la figura 18 muestra una gran asociación, por lo demás muy lógica, entre el oxígeno y la temperatura. Las diferentes fracciones del seston también se asocian en forma notoria.

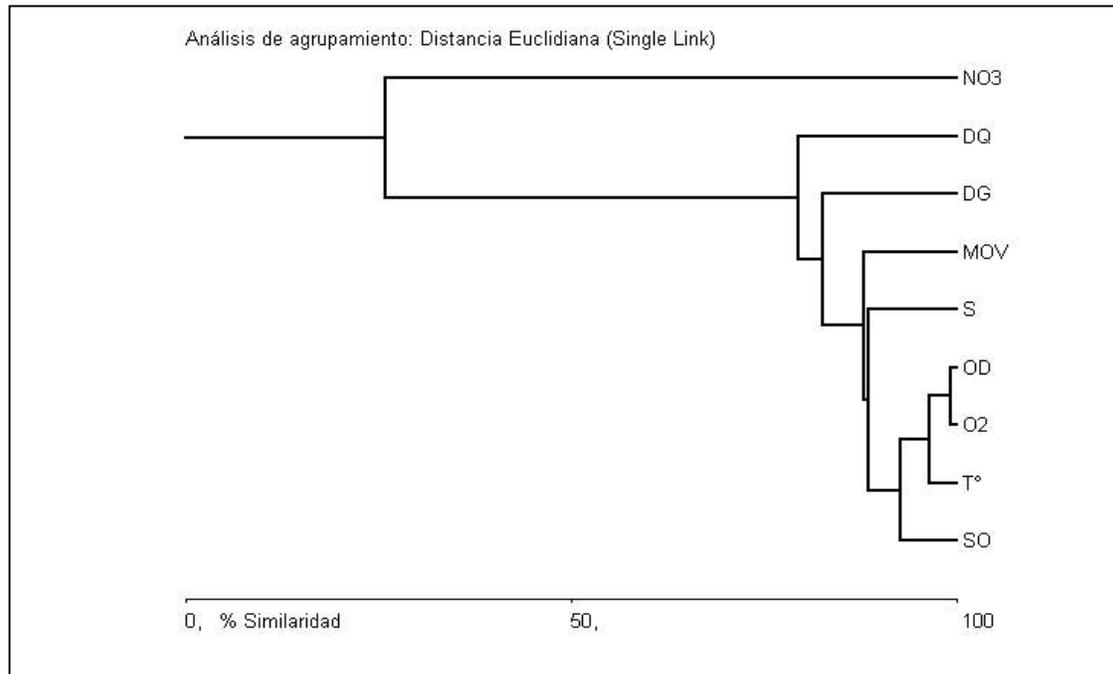


Figura 18. Dendrograma de variables abióticas – agrupamiento entre variables (NO3: nitratos, DQ: detrito por oxidación, DG: detrito por gravimetría, MOV: materia orgánica viva, S: salinidad, OD: oxígeno disuelto, O2: porcentaje de saturación de oxígeno, T°: temperatura, SO: seston orgánico)

3.5.2.2 Ordenación de variables bióticas

La ordenación hace referencia a diferentes técnicas estadísticas, como el análisis de componentes principales, el análisis de factores, el análisis de coordenadas principales, el análisis de correspondencia, el escalamiento multidimensional no métricas (NMDS) y el ordenamiento polar, entre otros. Al igual que la clasificación, la ordenación tienen como objeto agrupar conjuntos de variables o atributos con características similares, las cuales se grafican sobre ejes que contienen una cantidad variable de información. Con estos procedimientos se pueden correlacionar las variables ambientales abióticas con los ejes de ordenación, lo que equivale a identificar y cuantificar las variables ambientales que en mayor forma moldean la estructura de la comunidad (Ramírez y Viña, 1998).

3.5.2.2.1 Variables bióticas correlacionadas a través de la aplicación de un análisis de correspondencia

El análisis de correspondencia se aplicó a las variables bióticas, tanto entre muestreos como entre géneros. En la figura 19, el patrón de distribución de las fechas de muestreo nuevamente indica que el 4 de julio fue totalmente atípico en relación con el resto de fechas, lo cual es una confirmación del análisis de clasificación de distancia Euclidiana presentado atrás.

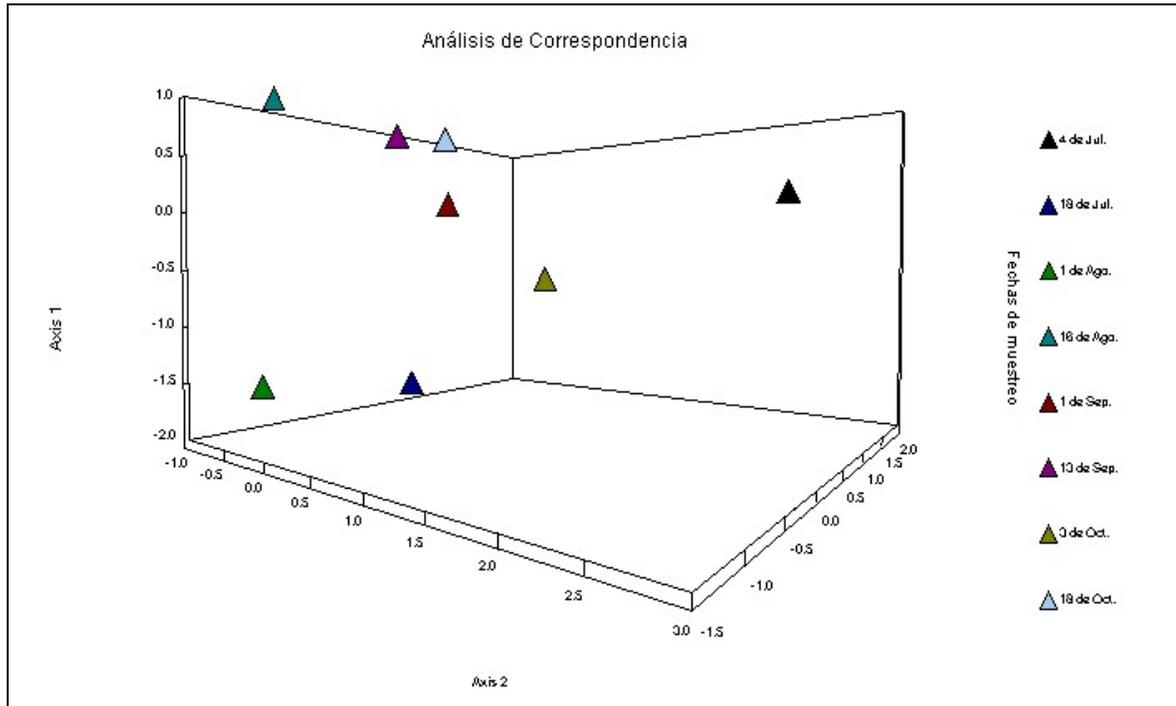


Figura 19. Análisis de correspondencia entre muestreos con base en la comunidad fitoplanctónica.

Al análisis de correspondencia entre géneros (Figura 20), se le aplica lo observado en el dendograma de las variables bióticas: las agrupaciones de las microalgas *Cyclotella*, *Navicula* y *Anabaenopsis* (Cyanophytas y diatomeas) en el extremo negativo del eje 2 y positivo del eje 1, se deben a las condiciones medioambientales y a los factores fisicoquímicos que regulan la distribución y

abundancia de las poblaciones. Como se vio anteriormente, estos géneros fueron especialmente importantes en el muestreo de julio 4, típico de la época seca.

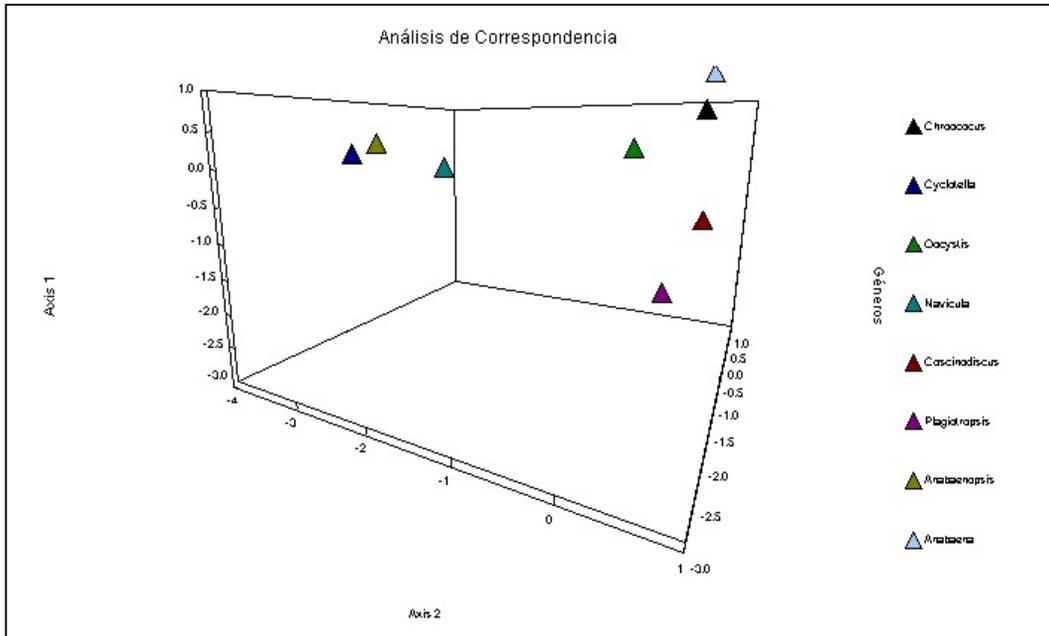


Figura 20. Análisis de correspondencia entre géneros fitoplanctónicos

3.5.2.2 Variables bióticas correlacionadas a través de un análisis de componentes principales (PCA)

En el análisis de componentes principales (PCA) aplicado entre muestreos (Figura 21) se observa la conformación de un solo grupo principal, de lo que se deduce que la homogeneidad en las condiciones medioambientales fue la característica. Solo los muestreos del primero de agosto y el 18 de octubre tienden a separarse; estas fechas tienen en común un alto porcentaje de saturación de oxígeno (Tabla 25).

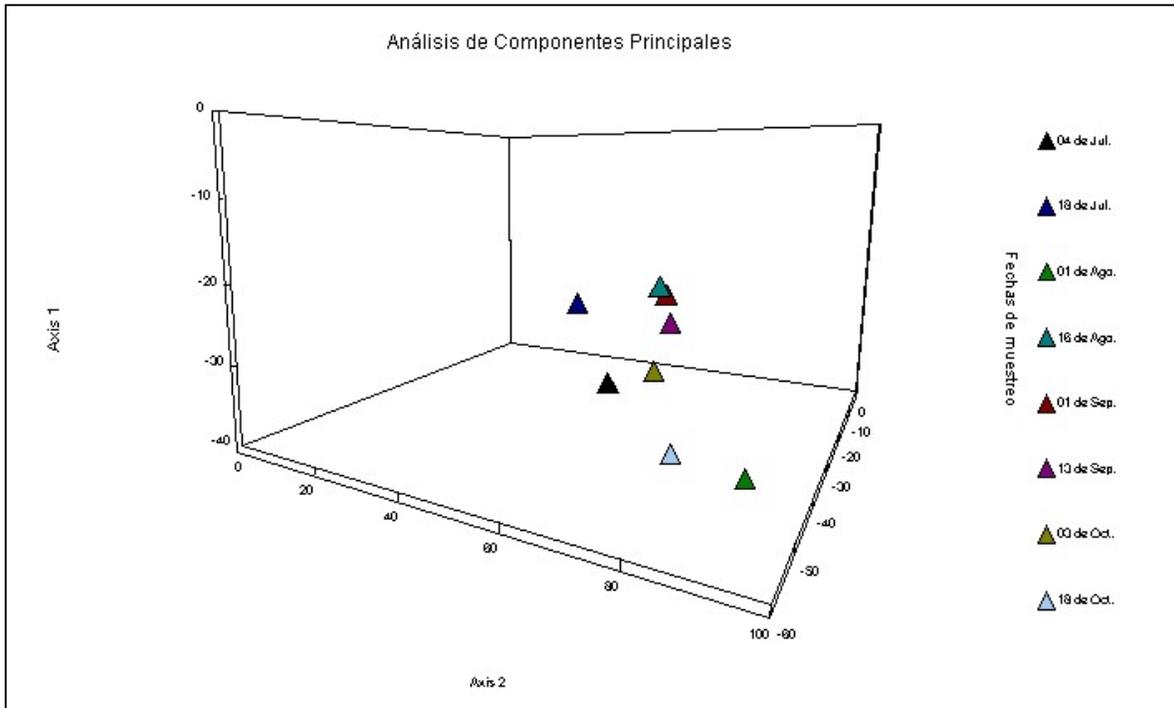


Figura 21. Análisis de componentes principales entre muestreos con base en las variables abióticas.

El PCA de la figura 22 muestra que las variables se agrupan principalmente en la región negativa del eje 2 y positiva del eje 1; solo el porcentaje oxígeno se separa claramente. Este comportamiento es diferente a la separación observada en el dendograma de la figura 18 por parte del nitrato. Un análisis combinado de las dos figuras (22 y 18) deja ver las variables más determinantes en cada caso: el oxígeno en agosto 1 y octubre 18 (meses finales de las épocas seca menor y lluviosa mayor, respectivamente) y el nitrato en julio 4 (inicio del periodo seco menor). Los resultados también señalan que cada técnica estadística (clasificación y ordenación) muestra aspectos diferentes de los patrones de comportamiento de las variables analizadas. Por otra parte, las condiciones ambientales no presentaron variabilidades muy marcadas, ya que no hubo cambios muy drásticos en las condiciones del sistema; este hecho se refleja en las figuras 18 y 22, en las cuales el agrupamiento de la mayoría de las variables mostró una gran homogeneidad ambiental a lo largo del tiempo. La relativa constancia en los valores de muchos de los parámetros considerados, como salinidad y

temperatura, los cuales son los más influyentes sobre la dinámica del sistema, es un factor que provoca uniformidad en las demás variables.

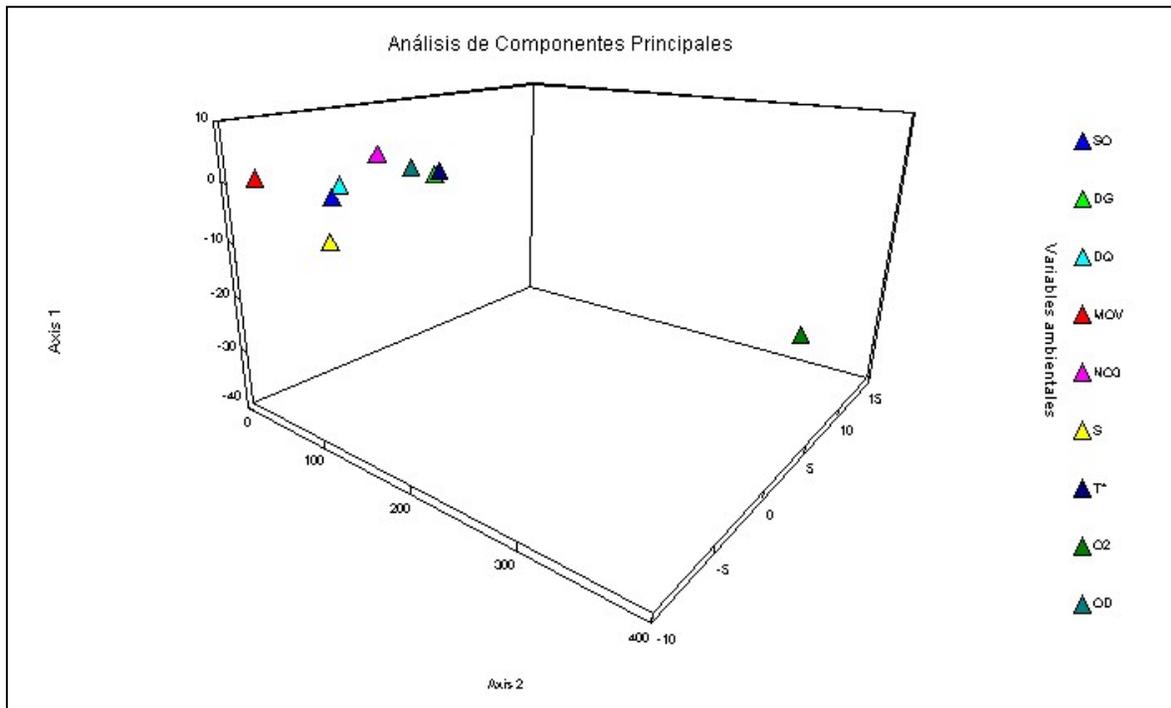


Figura 22. Análisis de componentes principales de las variables abióticas

3.6 Síntesis de los resultados de detrito en relación con las demás variables estudiadas.

Durante el periodo analizado las condiciones ambientales descritas indican características más bien atípicas, en comparación con años anteriores, en donde la Ciénaga ha presentado variaciones importantes debidas a cambios climáticos y a intervenciones antropogénicas que han buscado mejorar las condiciones del sistema. En este periodo aunque las variaciones reportadas por las variables meteorológicas no son muy marcadas, hay parámetros tales como la velocidad del viento y las precipitación que se relacionan con el ingreso o finalización de un

periodo climático, el viento por ejemplo influye considerablemente sobre la distribución de las comunidades, así que el carácter moderado de este durante ambos periodos climáticos podría relacionarse con la poca variabilidad del plancton. Las altas precipitaciones de septiembre por otro lado, podrían explicar los aumentos del componente orgánico del seston, lo cual además se relaciona con disminuciones en la biomasa total planctónica y valores bajos de transparencia, mientras que en aquellas fechas en las que hubo pocas incidencias de lluvia (agosto e inicios de septiembre), la comunidad de algas tuvo sus mayores abundancias y además se reportaron los valores más altos de clorofila a, esto puede ser el reflejo de condiciones óptimas para el desarrollo del plancton debido a una posible mayor recirculación de nutrientes desde el fondo, mayor transparencia del agua y mayor efecto de los vientos facilitando el trabajo de las algas. De todos estos aspectos, se deduce además que los componentes del seston orgánico dependen enormemente de las condiciones hidrometeorológicas que estén dominando el área, por ejemplo los aumentos del detrito obtenido por gravimetría durante el 1° de agosto y el 3 de octubre, son el producto de la disminución de algunas de las fracciones del plancton, y estas fracciones a su vez podrían relacionarse con los cambios reportados en estas fechas de la salinidad, y que podrían ocasionar desequilibrios de la estructura ya conformada por la comunidad.

El detrito es una variable dependiente de ciertas condiciones tales como, aportes de los ríos, aportes por parte del manglar, procesos biogeoquímicos, mortalidad del plancton, en fin una serie de aspectos que determinan aumentos o disminuciones de su concentración, en la determinación de este componente mediante la aplicación de los métodos gravimétrico y químico se observan asociaciones de los resultados con otras variables ambientales medidas, por ejemplo, los resultados del método químico indican que la relativa homogeneidad de los parámetros hidrometeorológicos traen como consecuencia influencias físicas no muy marcadas que en un caso contrario podrían determinar aumentos

del detrito. Sin embargo esta condición favorece la concentración de materia orgánica disuelta.

Algunos aspectos del método químico, considerados antes del desarrollo de esta investigación, tales como el manejo de patrones conocidos, el fundamento químico del método (determinación de materia orgánica fácilmente oxidable), su condición de técnica directa, tiempo de análisis menor y esfuerzo analítico menor, llevaban a considerar que esta técnica es mucho mejor que la técnica gravimétrica, por tanto, la aplicación de los análisis estadísticos empleados buscaban corroborar lo anterior, sin embargo, de acuerdo con estos resultados obtenidos tanto de forma analítica como estadística, se podría decir que los métodos empleados para determinar la concentración de detrito presente en un sistema, son igualmente satisfactorios.

4 CONCLUSIONES

Esta investigación en su desarrollo aporta información valiosa de las condiciones ambientales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, las variables analizadas son un aporte importante para el conocimiento de la dinámica del sistema en cuanto a la determinación de las concentraciones de los componentes del seston. Por tanto, a continuación se describen los aspectos más relevantes obtenidos de este trabajo de investigación:

- En la determinación de la materia orgánica fácilmente oxidable por medio del método de digestión con permanganato de potasio, la proporción del componente particulado o detrito frente al componente disuelto es equivalente a un 32% del total (2.82 mg C/L), lo cual indica que las influencias físicas que determinan aumentos del detrito no son muy marcadas propiciando el favorecimiento del componente disuelto.
- La concentración promedio del seston orgánico en la CGSM fue igual a 12.17 mg C/L lo cual representa el 44% del seston total. De este componente el 62% corresponde al componente vivo o biomasa planctónica y el 38% corresponde al componente muerto o detrito.
- En el seston orgánico el componente vivo es más abundante que el detrito en un 62% frente al 38%. Por lo tanto, durante el periodo analizado no se presenta proceso de sapronificación.

- De la biomasa planctónica total determinada en la CGSM, el 63% de la biomasa total corresponde al componente fitoplanctónico, el cual representa el porcentaje real de este total que está actuando sobre la materia orgánica presente en el sistema.
- En la determinación de la biomasa planctónica (determinación por biovolumen) se vio cómo el carácter homogéneo y de cierta forma atípico de la CGSM durante el periodo de estudio, influyó sobre los grupos de microalgas; esto se notó en la asociación de Cyanophytas y Diatomeas que indica estados de transición en las condiciones, puesto que cada uno de estos grupos son característicos de épocas climáticas diferentes. Algunos muestreos tuvieron disminuciones en la concentración del fitoplancton (determinada por gravimetría), lo cual fue coincidente con momentos en que la salinidad tuvo sus variaciones más marcadas.

Los resultados estadísticos reportados en este trabajo han demostrado que la aplicación de las dos técnicas de análisis (gravimetría y oxidación química) empleadas para determinar la concentración de detrito, son igualmente satisfactorias, sin embargo, algunos aspectos relacionados con el fundamento químico del método (determina la materia orgánica fácilmente oxidable) y la buena asociación de los resultados con relación al comportamiento de las variables ambientales, llevan a destacar esta alternativa metodológica como la mejor opción de cuantificación del detrito presente en un cuerpo de agua.

5 RECOMENDACIONES

Adoptar el método de oxidación química para la determinación del detrito en el desarrollo de futuros estudios, es una buena alternativa debido a:

- El ser una metodología de análisis directo en comparación con el método gravimétrico representa una ventaja evidente sobre esta última.
- Los análisis químicos tienen ciertas ventajas en comparación con otro tipo de determinaciones. El examen de la materia orgánica fácilmente oxidable mediante el permanganato de potasio, se fundamenta en principios químicos importantes que podrían convertir a esta técnica en una excelente alternativa de análisis; las pruebas realizadas experimentalmente indican que en rangos de concentración de 1.5 a 20 mg C/L se puede determinar de forma directa (sin diluciones); por encima de los 20 mg C/L es aconsejable realizar diluciones de la muestra. Como no en todos los casos se conoce el rango de concentración de la variable, es conveniente realizar lecturas de la muestra de forma directa y con diluciones del 50%, el 25% y el 10%, cada una por duplicado.

A futuro se tiene diseñado el proceso de estandarización y calibración del método que incluye todos los requisitos analíticos requeridos para este fin.

En el análisis de comparación de promedios aplicado para comparar los resultados obtenidos del método gravimétrico y el método de oxidación química se recomienda ampliar el estudio, utilizando un mayor número de unidades muestrales, con el fin de obtener un valor de probabilidad menor a 0.05.

BIBLIOGRAFÍA

APHA-AWA-WPCF.- 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. New York. 4-96, 4-104.

Arango, M.L., y Rodas E.- 1978. Fecundidad, maduración y ciclo de los oocitos de la mojarra rayada *Eugerres plumieri* L. 1830 en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis Bio. Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.65p

Avila, G.- 1971. Variación de grupos planctónicos presentes en la Ciénaga Grande de Santa Marta durante el periodo comprendido entre diciembre de 1969 a mayo de 1971. Bol. Inf. I(6):31-65.

----- 1973. Variación y frecuencia de algunas especies de rotíferos provenientes de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia). Mitt. Inst. Colombo-Alemán. Cient. 7: 15-29.

----- 1975. Ictioplancton y características de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia). Mem. I. Simp. Lat. Amer. Oceanogra. Biol., México, 25 – 19 de noviembre: 3-18.

----- 1978. Variación de grupos planctónicos presentes en la Ciénaga Grande de Santa Marta (junio 1971 – mayo 1972). Divulgación pesquera – Inderena, 1972, 12(5):17p.

Boltovskoy, D.- 1981. Atlas de zooplancton del atlántico sudoccidental y métodos del trabajo con el zooplancton marino Ed. INIDEP, Mar del Plata (Argentina), pp. 133 – 141.

Boynton, W. R.; W. M. Kemp and C. G. Osborne.- 1980. Nutrient fluxes across the sediment water interface in the turbid zone of a coastal plain estuary. In: V. S. Kennedy, Estuarine Perspectives, Academic Press Inc., New York. 93-109.

Bronz D. A. y P. M. Glibert.- 1993. Contrasting patterns of dissolved organic nitrogen release by two size fractions of estuarine plankton during a period of rapid NH₄ consumption and NO₂ production. Mar. Ecol. Prog. (Ser. 96): 291-299.

Camacho, G. 1978. Características hidrográficas y zooplanctónicas de la Ciénaga Grande de Santa Marta. INDERENA. Cartagena. 28p

Carmona, G. E. 1979. Contribuciones al conocimiento de la ecología de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis Universidad de Antioquia. Medellín. 74p

_____. 1988.- Dinámica del zooplancton en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe INVEMAR. Santa Marta. 90p

Carpenter, S.R., J.J. Cole, J.F. Kitchell, and M.L. Pace.- 1998. Impact of dissolved organic carbon, phosphorus, and grazing on phytoplankton biomass and production in experimental lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 43(1): 73-80.

Castaño, J.D. 1990.- Estudio de la composición y abundancia del zooplancton en el complejo de ciénagas de Pajalal, delta exterior del Río Magdalena. Tesis Bio. Mar., Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 169p.

CETIH. 1978. Diagnóstico sobre el comportamiento hídrico de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe final, Centro de Estudios Técnicos e Investigaciones Hidráulicas - CETIH, Fac. Ing., Univ. de los Andes, Bogotá, 54p.

Ciardelli, A. y J. Cataño.- 1970. Estudio preliminar de las ostras de la Ciénaga Grande de Santa Marta y bases para mejorar su producción. Inderena – Cent. Invest. Mar. Inf. Técnico. 60p

CIOH.- 1998. Diseño preliminar del modelo numérico 2D – 3D de calidad para el Canal del Dique y sistemas lagunares. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena.

_____. 1997. Modelación numérica de la circulación costera y su aplicación al estudio de los procesos de transporte de sustancias y partículas contaminantes en el litoral Caribe Colombiano. Fase III. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena.

Cohen, A.D., and Wiedemann H.U.- 1973. Distribution and depositional history of some pre-lagoonal holocene sediments in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Mitt. Inst Colombo-Alemán Invest. Cient.* 7: 139-154.

Cortés, F.- 1999. La abundancia de comunidades fitoplanctónicas en la laguna de Guatavita (Cundinamarca, Colombia), Bogotá: *Geotrópica* (4): 28-38.

Cosel, R.V., 1978. Die Mollusken der Ciénaga Grande de Santa Marta und ihre Lebensgemeinschaften im Wechsel der Jahreszeiten. *Diss. Uni. Gießen*, 348p.

Coveney, M.F., and R.G. Wetzel.- 1995. Biomass, production, and specific growth rate of bacterioplankton and coupling to phytoplankton in an oligotrophic lake. *Limnol. Oceanogr.*, 40(7): 1187-1200.

Dean, J.A.- 1989. *Lange manual de química*, ed. MacGraw – Hill / Interamericana de México S.A. de C.V., México, Tomo II, pp. 11-179.

De Angelis D. L.; P. J. Mulholland; A. V. Palumbo; A. D. Steinman; M. A. Huston and J. M. Elwood. 1992. Nutrient dynamics and food web stability. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 20: 71-95.

Fabiano, M., P. Povedo, R. Danovaro and C. Misic. – 1999. Particulate organic matter composition in a semiclosed Periantarctic system: the Straits of Magellan. *Scientia Marina, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*, 3 (Suppl. 1): 89-98.

Gocke, K.- 1987. *Manual para determinar los procesos de producción y degradación en los biotopos marinos especialmente en lagunas costeras y manglares*. Mimeógrafo en la biblioteca del INVEMAR. 56p.

Gómez, D. I.- 1998. Flujos de nutrientes y seston entre un banco de ostras y el medio pelágico en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano, Tesis M.Sc. Biól. Mar., Univ. Nacional de Colombia. 100 p.

Hecky, R.E. and P. Kilham.- 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in fresh water and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.*, 33(4, part 2): 796-822.

Hernández, C. A.- 1986. Producción primaria y dinámica del fitoplancton en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, Tesis M.Sc. Biól. Mar., Univ. Nacional de Colombia. 177p

Hernández, C. A. 1988. Observaciones de algunos dinoflagelados (Dinophyceae) del Pacífico Mexicano con microscopio fotónico y electrónico de barrido. *Inv. Pesq.* 52(4): 517-531.

_____ y G. E. Márquez.- 1991. Producción primaria en el ecosistema Ciénaga Grande de Santa Marta, laguna costera del Caribe colombiano. *Trianea*, 4: 385-407.

Herrera, Y. 1998. Tasas de desnitrificación en una laguna costera tropical, la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis M.Sc. Biól. Mar., Univ. Nacional de Colombia. 44 p.

Hood, D.W.- 1970. *Symposium on Organic Matter in Natural Water*. Alaska. Univ. de Alaska. 35p.

Hopkinson C. S.- 1987. Nutrient regeneration in shallow-water sediments of estuarine plume region of the nearshore Georgia Bight, USA. *Mar. Biol.*, 94: 127-142.

Howart, R. W. 1988.- Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Ann. Rev. Ecol.* 19: 89-110.

Howarth, R.W., R. Marino, J. Lane, and J.J. Cole.- 1988. Nitrogen fixation in fresh water, estuarine and marine ecosystems. 2. Biogeochemical controls. *Limnol. Oceanogr.*, 33: 688-701.

IDEAM,- 1999. Prevalidación fósforo soluble: montaje, verificación y optimización de las condiciones y parámetros instrumentales, Santafe de Bogotá, 18p

INDERENA.- 1972. Proyecto desarrollo Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente.38p

Instituto Agustín Codazzi. 1988. Recuperación de la Ciénaga Grande de Santa Marta y zonas aledañas. Plan de emergencia.22p

Jeske, R.- 1976. estudios bacteriológicos en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient.* 8: 17-31.

Kaufmann, R. y F. Hevert.- 1975. Régimen fluviométrico del río Magdalena y su importancia para la Ciénaga Grande de Santa Marta. En: *Mitt. Ins. Colombo-Alemán Invest. Cient. Santa Marta: INVEMAR N° 7*; pp. 121-127.

Kucklick, M.,- 1987, Biomasa del fitoplancton y contenido de seston en un estuario de manglar, Ciénaga Grande de Santa Marta, tesis de diploma Universidad Austral de Chile, Valdivia.262p

Lehman, P.W.- 2000. The influence of climate on phytoplankton community biomass in San Francisco Bay Estuary. *Limnol. Oceanogr.*, 45(3): 580-590.

Madera E. R.- 1996. Análisis del comportamiento temporal del ortofosfato en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis de grado Univ. Nacional de Colombia. Santa Marta.42 p.

Margalef, R.- 1983. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona. 1010p.

Márquez, G.- 1982. Estudios ecológicos en la producción primaria de algas y comunidades bénticas vegetales de la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis de grado Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 60 p.

_____1996. Ecosistemas estratégicos. Fondo FEN, Santa Fe de Bogotá D.C., Colombia. Pp 183-194

Melchiorri-Santolini, U., and J.W. Hopton.- 1972. Detritus and its role in aquatic ecosystems. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., (Suppl. 29) Proc. Of an IBP-UNESCO Symposium; pp 80-85.

Ministerio de Obras Públicas.- 1970. Entrada de agua de mar a la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Laboratorio de ensayos hidráulicos, del Ministerio de Obras Públicas.60p

Molinares de Muelle, A.M.- 1977. estudio sobre la polución bacteriológica de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Divulgación pesquera – Inderena 10(5):41p.

Montiel R. 1992. Identificación de proyectos de minicentrales hidroeléctricas: instrumentos de medición de velocidad, caudal y caída. Taller de trabajo PESENCA-CORELCA. Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica (PESENCA).20p

Morales, J. 1976. Estudio biológico pesquero del Róbalo *Centropomus undecimalis* Bloch en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis Bio. Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 81p.

Navas G.- 1999. Flujos de nitrógeno y fósforo en la interfase agua -sedimento en una laguna costera tropical, Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis M.Sc. Biól. Mar., Univ. Nacional de Colombia. 91 p.

Odum, E.P.- 1982. Ecología. Ed. Interamericana, tercera edición., méxico.

Palacio, J. 1977. Invertebrados del área estuarica de la Ciénaga Grande de Santa Marta con énfasis en la fauna acompañante de la ostra *Crassostrea rhizophorae*. Tesis fac. Biología, Univ. de Antioquia.150p

Perez, L.- 1977. Observaciones ecológicas y ensayos de cultivo de la ostra de mangle *Crassostrea rhizophorae* Guildin, en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis fac. Biología. Univ. de Antioquia.62p

Pinilla, G.A. y G. Guillot.- 1999. Patrones de distribución de fitoplancton en reservorios de aguas lluvias en un altiplano de los Andes colombianos, Bogotá: Geotrópica (4): 39-49.

Pinzon, E.- 1978. Estudios morfológicos, biológicos y taxonómicos de la ostra *Crassostrea rhizophorae* Guldin, en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis Biología, Univ. Javeriana, Bogotá.87p

Ramírez A. Y G. Viña.- 1998. Limnología colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Editada por BP Exploration Company (Colombia) LTDA. 293p.

Rivera, L.F.- 1978. Experiencias en el cultivo de la ostra *Crassostrea rhizophorae* Guildin, 1828, en la Ciénaga Grande de Santa Marta y estudio preliminar dinámica de su población. Tesis Bio. Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 95p.

Roldán, G.- 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín. 529p.

Rondón, E.H. 1991. Estimación de la productividad fitoplanctónica en ciénagas del complejo de Pajarales, Caribe colombiano. Tesis de grado Universidad Javeriana. Bogotá.80 p.

Shishkina, L.A.- 1974. Hidroquímica. Ed. Hidrometeoizdat. Leningrado, p.168 – 175. (en Rusia).

Schwoerbel, J.- 1975. Métodos de hidrobiología. Ed. H. Blume. Madrid, 262 p.

Sosa-Avalos', R., R. Millán-Núñez, y E. Santamaría-del Angel.- 1997. Productividad primaria del fitoplancton estimada con los métodos de oxígeno y carbono catorce en una estación del estero de Punta Banda, México. Ciencias Marina 23(3): 361-375.

Strickland, J.D. and T.R. Parsons.- 1968. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Can.: 167-311p

Teague, k. g.; C. J. Madden y J. M. Day.- 1988. Sediment-water oxygen and nutrient fluxes in a river-dominate estuary. Estuaries. 11(1): 1-9.

Toncel, M.A.- 1983, Sedimentación y composición del seston en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Tesis de grado Universidad Nacional, Bogotá.169 p.

UNESCO.- 1966. determination of photosynthetic pigments in sea water. Report of Scor – UNESCO Working group 17 (parís). Monographs on oceanographic methodology 1: 1-18.

United States Environmental Protection Agency.- 1983. Methods for chemical analysis of water and wastes Cincinnati. 235p.

Valdés, D. y E. Real.- 1994. Flujos de amonio, nitrito, nitrato y fosfato a través de la interfase sedimento-agua en una laguna costera tropical. Ciencias Marinas, 20(1): 65-80.

Vidal, L. A.- 1988. Dinámica de la estructura de la comunidad del fitoplancton en un sistema laguna – estuario tropical (CGSM), año 1987. Informe INVEMAR. Santa Marta.64 p.

_____ 1995. Estudio del fitoplancton en el sistema lagunar estuarino tropical Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, durante el año 1987. Informe INVEMAR. Santa Marta. 270 p.

Vinogradov & Schusquina.- 1987. Funcionalidad de los grupos planctónicos de la epipelagial del océano. Uckrania. pp 325 (en Rusia).

Wedler, E.- 1973. Die Hydroiden der Ciénaga Grande de Santa Marta (Kolumbien) und einiges zu inner ökologie. Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient. 7: 31-39.

Wedler, E.- 1978. Cultivo de la ostra *Crassostrea rhizophorae* en la Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia). II. Reuní. Lat. Amer. De Acuicultura. México, D.F., nov. 13-17.

Wiedemann, H.U., 1973. reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: physical parameters and geological history. Mitt. Inst. Colombo-Alemán. Invest. Cient. 7: 85-119

Yacubson, S.- 1969. Algas de ambientes acuáticos continentales, nuevas para Venezuela. Boletín de Investigaciones Biológicas. (3): 87p.

Yacubson, S.- 1974. Catalogo e iconografía de las Chlorophytas de Venezuela. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas. (11): 143p.

Zea, S.; R. Giraldo; J. E. Mancera y J. Martínez.- 1998. Relaciones contemporáneas y rezagadas entre variables fisicoquímicas y biológicas en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Santa Marta. Bol. Invest. Mar. Cost. 27: 67-85.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1	AREA DE ESTUDIO	6
2	MATERIALES Y METODOS	9
2.1	<i>PRUEBA METODOLÓGICA – ETAPA PRELIMINAR.....</i>	<i>9</i>
2.2	TOMA DE MUESTRAS EN CAMPO.....	10
2.2.1	Muestras fisicoquímicas	10
2.2.2	Materia orgánica muerta fácilmente oxidable	10
2.2.3	Seston	11
2.2.4	Clorofila a	11
2.2.5	Biomasa	11
2.3	ANÁLISIS EN LABORATORIO	12
2.3.1	Nutrientes	12
2.3.2	Materia muerta fácilmente oxidable.....	13
2.3.3	Seston	18
2.3.4	Clorofila a	18
2.3.5	Biomasa	20
2.4	CÁLCULO Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	23
2.4.1	Determinación de detrito por el método gravimétrico	23
2.4.2	Determinación del detrito por el método de oxidación con permanganato de potasio.....	24
2.4.3	Tratamiento estadístico	25
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
3.1	<i>CONDICIONES HIDROMETEOROLÓGICAS</i>	<i>26</i>
3.2	<i>SESTON Y BIOMASA DETERMINADOS POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO</i>	<i>34</i>
3.2.1	Seston	34
3.2.2	Biomasa	37
3.2.3	Componentes del seston orgánico	47
3.3	<i>MATERIA ORGÁNICA FÁCILMENTE OXIDABLE DETERMINADA POR EL MÉTODO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON PERMANGANATO DE POTASIO.....</i>	<i>50</i>
3.3.1	Detrito o materia orgánica muerta	52
3.4	<i>DETRITO DETERMINADO POR LOS MÉTODOS GRAVIMÉTRICO Y OXIDACIÓN QUÍMICA.....</i>	<i>55</i>
3.5	<i>RESULTADOS ESTADÍSTICOS</i>	<i>56</i>

3.5.1	Resultados obtenidos por el método gravimétrico y método de oxidación química	56
3.5.1.1	Análisis estadístico de comparación de promedios.	56
3.5.1.1.1	Detrito por gravimetría <u>vs</u> detrito por oxidación con permanganato de potasio.	56
3.5.1.1.1.1	Análisis de varianza de un factor.	57
3.5.1.1.2	Prueba F para comparación de varianzas.....	58
3.5.1.1.3	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales. ...	59
3.5.1.2	Valores de detrito correlacionados con variables bióticas	60
3.5.1.3	Biomasa determinada por gravimetría <u>vs</u> biomasa determinada por biovolumen.	61
3.5.1.3.1	Análisis de varianza de un factor.	63
3.5.1.3.2	Prueba F para comparación de varianzas.....	63
3.5.1.4	Biomasa por gravimetría <u>vs</u> biomasa por clorofila a	65
3.5.1.4.1	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales. ...	66
3.5.2	Comportamiento de las variables biológicas.	66
3.5.2.1	Agrupamiento de variables bióticas y abióticas	68
3.5.2.1.1	Agrupamiento de especies.....	68
3.5.2.1.2	Agrupamiento de variables abióticas	71
3.5.2.2	Ordenación de variables bióticas.....	73
3.5.2.2.1	Variables bióticas correlacionadas a través de la aplicación de un análisis de correspondencia.....	74
3.5.2.2.2	Variables bióticas correlacionadas a través de un análisis de componentes principales (PCA).....	75
3.6	<i>SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS DE DETRITO EN RELACIÓN CON LAS DEMÁS VARIABLES ESTUDIADAS.</i>	77
4	CONCLUSIONES	80
5	RECOMENDACIONES	82
	BIBLIOGRAFÍA	