

ARTÍCULO



Caracterización fisicoquímica del Golfo de Morrosquillo y tanques de lastre de buques de tráfico internacional

Physicochemical characterization of the Gulf of Morrosquillo and ballast tanks of international traffic vessels.

Fecha recepción: 2010-04-27 / Fecha aceptación: 2010-11-03

Mary Luz Cañón Páez, Maryluz.Canon@dimar.mil.co
Diana M. Quintana S., D.Quintana@dimar.mil.co
Rossana M. López O., rlopez@dimar.mil.co
Gustavo Tous H., Gustavo.Tous@dimar.mil.co
Hugo Llamas C., HugoLlamas@dimar.mil.co

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe CIOH

RESUMEN

Con el objetivo de establecer la variabilidad estacional de los parámetros fisicoquímicos en el Golfo de Morrosquillo, el cual es considerado como un puerto importador de agua de lastre, e identificar la influencia del agua de lastre, la Dirección General Marítima a través del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) centró su atención en obtener información fisicoquímica, biológica y microbiológica durante un periodo estacional completo (marzo a noviembre). Por lo anterior, fue necesario establecer una red de estaciones de muestreo distribuidas a lo largo de todo el Golfo, para caracterizar en las capas superficial, media y de fondo, los parámetros ambientales y con base en estos establecer si las descargas de agua de lastre y su contenido se constituyen en fuentes adicionales de contaminación y de introducción de especies.

Las metodologías implementadas, correspondieron a las establecidas dentro del sistema de gestión de calidad de los laboratorios del CIOH, tanto para el área evaluada como para los tanques de lastre.

Después de tomadas, procesadas y analizadas las muestras fue posible establecer que el área responde a la estacionalidad descrita para el Mar Caribe, observándose asociaciones fisicoquímicas, de acuerdo con el periodo climático evaluado. En cuanto a los criterios de calidad y las normas ambientales, el oxígeno, pH, temperatura y salinidad registraron concentraciones y valores dentro de las normas establecidas para la preservación de flora y fauna. Por el contrario, los nutrientes en la época de lluvias principalmente, superaron los límites establecidos por referentes internacionales (norma para aguas de uso pesquero, preservación de flora y fauna asiática) e incluso el promedio de la RedCAM para el departamento de Sucre. Se evidenció que el agua de lastre de algunos buques, se constituye en fuente adicional de contaminación al Golfo, debido a que sobrepasan los límites de nutrientes específicamente nitratos y ortofosfatos, para la preservación de la flora y la fauna.

Palabras claves: Golfo de Morrosquillo, caribe colombiano, caracterización fisicoquímica, agua de lastre.

ABSTRACT

The Maritime General Directorate, through the Center for Oceanographic and Hydrographic Research of the Caribbean Basin (CIOH – from its original Spanish Language initials Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe) focused on obtaining physicochemical, biological and microbiological information during

INTRODUCTION

About 80% of the world's cargo is mobilized through maritime shipping, 12 billion tons of ballast water are taken for this purpose in different places and unloaded in other places, thus allowing transfer of thousands of bacteria, viruses, algae, dinoflagellates and a variety of macro fauna and different larval stages or cysts [1] from one place to another. Hence, due to this activity a large number of bio-invasions and marine pollution in different coastal and inland regions worldwide have been currently identified.

Colombia too makes part of this problem and becomes an importer of ballast water because of their gross exports. For this reason, and considering the country's commitments as a leader in the Globallast Partnerships project, DIMAR has promoted the development of research since 2002, in relation to the characterization of physical, chemical, biological and microbiological areas with large numbers of ship arrivals ([2] [3] [4] [5] [6] [7]).

Within this framework, it was decided that the work carried out in Cartagena and Puerto Bolivar would be

extended to the Gulf of Morrosquillo, which has been considered to be an area of ballast water importing of the Colombian Caribbean [8]. Consequently, this article provides information on the seasonal variation of the physicochemical conditions in the Gulf of Morrosquillo and the quality of the water of some ballast tanks of international traffic ships which arrived at the Gulf.

Following the methodology previously established in the Cartagena Bay and Puerto Bolivar ([8], [2], [5]), field trips were scheduled at different times of year (March - "dry season", July - "transition period" September, November - "rainy season") for water sampling in a network of 10 stations distributed around the Gulf of Morrosquillo (figure 1). It is thus sought to get to know the variation of environmental conditions in the Gulf, in accordance with the periods of study ("dry" from December to April, "transition" from May to August or "rainy", from September to November).

It is worth mentioning that the Gulf of Morrosquillo is located in the Caribbean Sea between 9°25' and 9°43' north latitude and between 75°35' and 75°60' west longitude of Greenwich, this is part of a mosaic of conti-

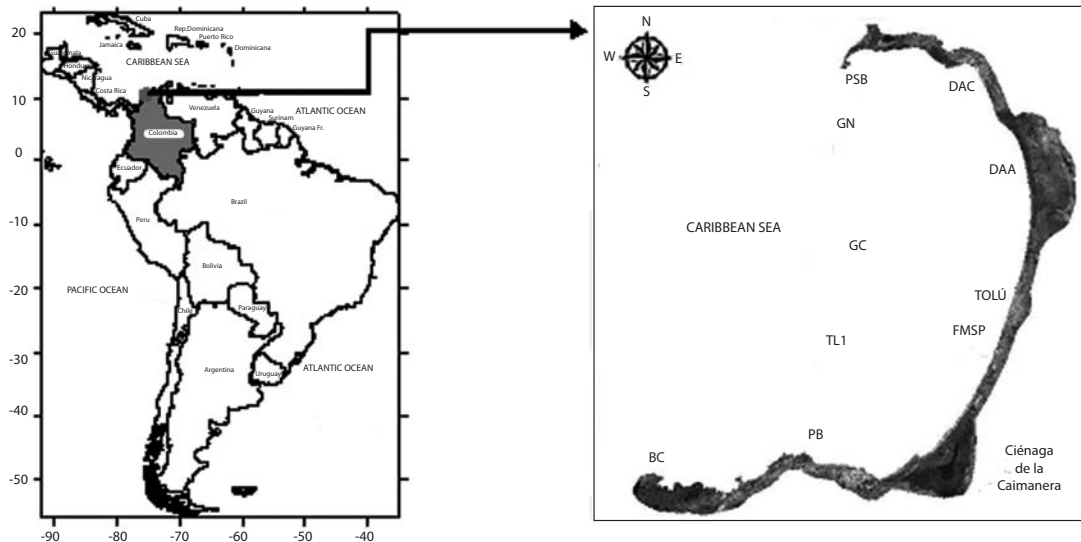


Figure 1. Location of the sampling stations in the Gulf of Morrosquillo.

ental, coastal island and marine ecosystems located in the intertropical zone of the world, with a coastline extending approximately 142 km southwest - northeast from Boca de Corea (Sinu River), to Punta San Bernar-

do (Sucre) [9]. In total, the area reaches 2429 km², of which an area of approximately 390 km² corresponds to mainland and 2039 km² to the sea. The Gulf's Coastal Plain consists of Pleistocene fluvial deposits of the

a full season (March to November) in order to establish the seasonal variability of physicochemical parameters in the Gulf of Morrosquillo and identify the influence of ballast water. The Gulf of Morrosquillo is considered to be a ballast - water importing port; therefore, it was necessary to establish a network of sampling stations with stations distributed throughout the Gulf, so as to characterize the surface, middle and bottom layers, as well as the environmental parameters, and based on these to establish whether ballast water discharges and their contents are additional sources of pollution and introduction of species.

The methodologies implemented corresponded to the methodologies established within the framework of the CIOH laboratories' quality management system, both for the assessment area and for the ballast tanks.

After having taken, processed and analyzed the samples, it was possible to establish that the area responds to the seasonality described for the Caribbean Sea, showing physicochemical associations, according to the climatic period evaluated. Regarding the criteria of quality and environmental standards for oxygen, pH, temperature and salinity, the concentrations and values recorded were within the regulations established for the preservation of flora and fauna. By contrast, nutrients – mainly during the rainy season - exceeded the limits set forth by international references (standard for fishing waters, preservation of flora and fauna in Asia) and even the Red Cam average for the Sucre region. It was eviden-

ced that the ballast water of some vessels constitutes an additional source of pollution for the Gulf, as it exceeds the limits of nutrients – esp. nitrate and orthophosphate – for the preservation of flora and fauna.

Key words: Gulf of Morrosquillo, colombian Caribbean, physicoquimical character, ballast water.

INTRODUCCIÓN

Cerca del 80% de la carga mundial es movilizad a través del transporte marítimo y para esto 12 billones de toneladas de aguas de lastre son tomadas en diferentes lugares y descargadas en otros, permitiendo el traslado de un lugar a otro de miles de bacterias, virus, algas, dinoflagelados y una variedad de macro fauna y diferentes estados larvales o de cistos [1], de manera que por esta actividad actualmente se han identificado una gran cantidad de bioinvasiones y contaminación en diferentes regiones marino costeras y continentales a nivel mundial.

Colombia no es ajena a esta problemática y se constituye en un país importador de agua de lastre debido a sus exportaciones brutas. Por lo anterior y considerando los compromisos adquiridos como país líder del proyecto Asociaciones Globallast, la DIMAR ha promovido el desarrollo de investigaciones desde el 2002, relacionadas con la caracterización del medio físico, químico, biológico y microbiológico de las áreas con gran cantidad de arribos de buques ([2], [3], [4], [5], [6], [7]).

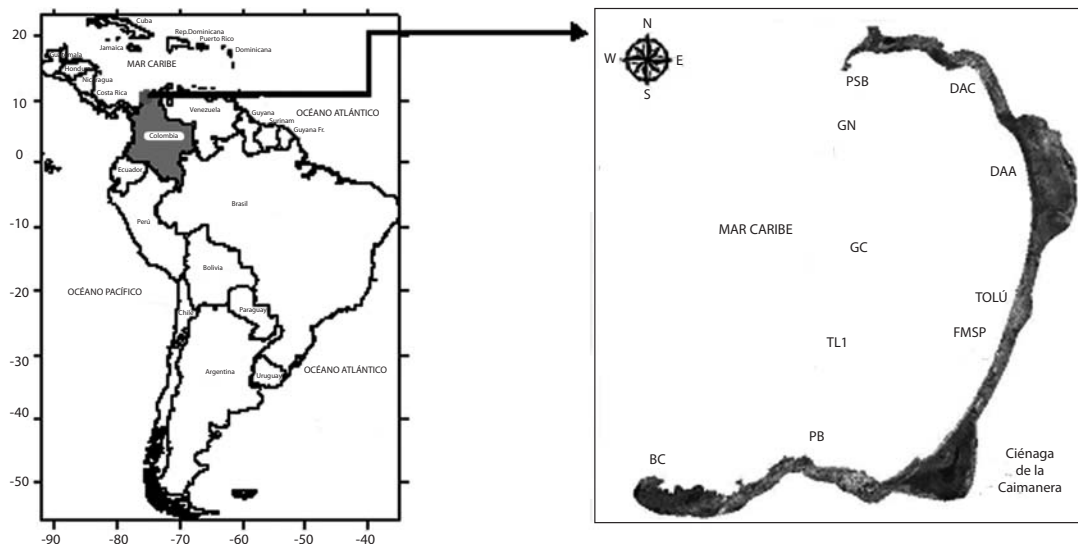


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en el Golfo de Morrosquillo.

Magdalena formation and recent alluvial sedimentation from the Sinu River. Mangrove forests are reduced to remnants in the mouths of major rivers [9].

From the data collected it was possible to evidence the status of the area's environmental quality and management onboard ships, in such a manner as to provide technical information for the implementation of measures to reduce the risk of introducing harmful aquatic organisms and pathogens transported in ballast water, as well as for the national database of marine environmental quality.

MATERIALS AND METHODS

Two major activities were established for the development of the project, which permitted sampling at 10 stations (Punta Bolívar (PB), Bahía Cispatá (BC), TLU Uno (TL1), Golfo Centro (GC), Golfo Norte (GN), Punta San Bernardo (PSB), Desembocadura Arroyo Cascajo (DAC), Desembocadura Arroyo Alegría (DAA), Tolú, Dock Front of the Port Society – Frente Muelles Sociedad Portuaria (FMSP)) of the study area and sampling the ballast from tanks of ships of international traffic.

As for the first activity four field trips to a predetermined station network were scheduled (figure 1), where samples were collected at 3 depths of the water column (one meter from the surface, at the middle of the station, and one meter from the bottom). These samples were analyzed for the concentration of total suspended solids, nitrate, nitrite, orthophosphate, chlorophyll, dissolved oxygen, salinity, temperature, pH, transparency, turbidity. The collection, preservation and analysis of the collected samples was carried out in accordance with established operational and technical procedures implemented and validated by the CIOH laboratories, on reference methods such as [10] and [11]. It is worth mentioning that the laboratory maintains quality control for each method in order to ensure the reliability of the results; in addition, inter-laboratory exercises on a yearly basis are carried out together with IDEAM and Quasimeme, so as to verify the quality control of the tests conducted.

The second activity related to the collection and analysis of samples of ballast tanks of international traffic ships was conducted in order to identify the quality of the discharged ballast water, in accordance with the International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM).

Considering the complexity of the tanks and the different methods used to have access to the water from such tanks, we chose to maintain the methods used in previous phases of the project in the port of Cartagena and Puerto Bolívar ([2] [3] [5] [6] [7]). These methods are based on the methodologies proposed by [13], [14] [15], [16], [17] and approved by the Globallast project.

In order to evaluate the correlation of physicochemical variables in space and time, data clustering analysis was conducted. The Pearson correlation index was used by means of the average linkage method. For this, the Minitab statistical package version 15.1 was used, with which the corresponding dendrograms were generated. On the other hand, and in order to generate contours of the variables analyzed, the survey was conducted with the Kriging geostatistical method using Surfer version 8.0, allowing thus the visualization of charts of irregularly spaced data.

RESULTS

In general terms it may be stated that in the Gulf of Morrosquillo the temperature ranged between 26.8° and 31.5° C (figure 2), salinity ranged between 15.6 and 35.4 (figure 3), the values above are typical of an area with marine - estuarine features, where continental inputs and ocean dynamics are evident. In addition pH values between 8.8 to 8.58 were found (figure 4) with an average of 8.32, which is considered within the normal range for seawater. However, the samples in the rainy season showed an increase in the parameter, which is associated with the influence of major discharges of an anthropogenic sort, generating thereby slightly alkaline conditions during the aforementioned season.

Dissolved oxygen during the period of the survey had values between 4.7 mg / L and 10.5 mg / L (figure 5), with the highest values in the deepest stations, as well as in the stations located at the northern and southern ends of the Gulf. The aforesaid values ensure the presence of species in ecosystems such as the Gulf of Morrosquillo, since there were no anoxic conditions which may determine the presence of some species typical of this type of environment.

On the other hand, nutrients had concentrations between 0.0093 and 0.4330 mg/l orthophosphates (figure 6), between 0.0009 and 0.2148 mg/l of ammonia (figure 7), 0.0006 to 1.1243 mg/l of nitrate (figure 8), 0.0007 and 0.0139 for nitrite (figure 9), and values which reflect

Bajo este marco, el trabajo realizado en Cartagena y Puerto Bolívar se decidió extender al Golfo de Morrosquillo, el cual ha sido considerado como un área importadora de agua de lastre del Caribe colombiano [8]. En consecuencia este artículo aporta información sobre la variación estacional de las condiciones fisicoquímicas en el Golfo de Morrosquillo y la calidad del agua de algunos tanques de lastre de buques de tráfico internacional que arribaron al golfo.

Siguiendo las metodologías previamente establecidas en la Bahía de Cartagena y Puerto Bolívar ([8]; [2]; [5]), se programaron salidas de campo en diferentes épocas del año (marzo "época seca", julio "época transición", septiembre, noviembre "época de lluvias") para la toma de muestras de agua en una red de estaciones de 10 estaciones distribuidas en el Golfo de Morrosquillo (figura 1). De esta manera, se buscó conocer la variación de las condiciones ambientales del golfo de acuerdo con las épocas de estudio (seca "diciembre-abril", transición "mayo-agosto" o lluvias "septiembre-noviembre").

Cabe mencionar que el Golfo de Morrosquillo se encuentra situado en el mar Caribe entre los 9°25' y 9° 43' latitud norte y entre los 75°35' y los 75°60' longitud oeste del Meridiano de Greenwich, éste hace parte de un mosaico de ecosistemas continentales, costeros, insulares y marinos localizados dentro de la franja intertropical del mundo, con una extensión de línea de costa aproximada de 142 Km en dirección suroeste - noreste desde la Boca de Corea (río Sinú), hasta Punta San Bernardo (Sucre) [9]. En total el área alcanza los 2429 km², de los cuales un área de 390 km² aproximadamente corresponde a la parte continental y 2039 km² a la parte marítima. La llanura costera del Golfo está formada por depósitos fluviales pleistocénicos de la formación Magdalena y por la sedimentación aluvial recientemente proveniente del río Sinú. Los bosques de Manglar están restringidos a remanentes en las desembocaduras de los principales ríos [9].

Con los datos tomados fue posible evidenciar el estado de la calidad ambiental del área y la gestión a bordo de los buques, de manera que se aporta información técnica para la implementación de medidas que permitan reducir el riesgo de introducción de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos transportados en las aguas de lastre y para las bases de datos nacionales de calidad ambiental marina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del proyecto se plantearon dos grandes actividades, las cuales consistieron en la toma de muestras a 10 estaciones (Punta Bolívar (PB), Bahía Cispatá (BC), TLU Uno (TL1), Golfo centro (GC), Golfo

Norte (GN), Punta San Bernardo (PSB), Desembocadura Arroyo Cascajo (DAC), Desembocadura Arroyo Alegría (DAA), Tolú, Frente Muelles Sociedad Portuaria (FMSP)) del área de estudio y la toma de muestras de agua a tanques de lastre de buques de tráfico internacional.

En cuanto a la primera actividad fueron programadas cuatro salidas de campo a una red de estaciones preestablecida (figura 1), donde fueron colectadas muestras en tres profundidades de la columna de agua (un metro de la superficie, en la mitad de la estación y a un metro del fondo). A estas muestras se les analizó la concentración de sólidos suspendidos totales, nitratos, nitritos, ortofosfatos, clorofila, oxígeno disuelto, la salinidad, temperatura, pH, transparencia, turbidez. La toma, preservación y análisis de las muestras colectadas, se realizó conforme lo establecen los procedimientos operativos y técnicos implementados y validados por los laboratorios del CIOH, de métodos de referencia como el [10] y [11]. Cabe mencionar que el laboratorio, mantiene controles de calidad para cada método para garantizar la confiabilidad de los resultados emitidos, además se realizan ejercicios inter-laboratorio anualmente con el IDEAM y Quasimeme, para verificar el control de calidad de los ensayos realizados.

Y en la segunda actividad relacionada con la toma y análisis de muestras a tanques de lastre de buques de tráfico internacional, se realizó con el fin de identificar la calidad del agua deslastrada de acuerdo con el Convenio Internacional para el Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques (BWM). Considerando la complejidad de los tanques y los diferentes métodos usados para acceder al agua de estos, se optó por mantener los métodos implementados en las fases previas del proyecto tanto en el puerto de Cartagena como de Puerto Bolívar ([2], [3], [5], [6], [7]). Dichos métodos están basados en las metodologías propuestas por [13], [14], [15], [16], [17] y aprobadas por el proyecto Globallast.

Para evaluar la correlación de las variables fisicoquímicas espacio-temporalmente se realizó un análisis de agrupamiento de datos, utilizando el Índice de correlación de Pearson mediante el método de ligamiento promedio. Para lo anterior, se empleó el paquete estadístico Minitab versión 15.1, con el cual se generaron los respectivos dendogramas. Por otro lado, para la generación de contornos de las variables analizadas, se realizó con el método geoestadístico de Kriging utilizando el Surfer versión 8.0, permitiendo visualizar mapas de datos irregularmente espaciados.

the influence of terrestrial and marine sources on the contribution of such elements in the area. The concentrations of total suspended solids ranged between 0.5 and 55 mg/l (figure 10), in some cases exceeding the reference values and chlorophyll a, an indicator of the productivity of the area, showed values between 0.0001 and 2.8569 mg/m³ (figure 11), which reflects the productivity of the system, as the aforesaid values can detect the presence of phytoplankton and, indirectly, of the biological activity present in the area.

Considering the variation in the time parameters which was observed in the area, the surface temperature had lower values recorded during the month of March (figure 2a), reaching the highest values in July (figure 2d) and September (figure 2g) resulting from the arrival into the area of the rainy season, and returning to lower temperatures again as of November (figure 2j), when rainfall decreases and the trade winds return.

In the middle layer (figure 2 b, e, h, k) temperature maintains the same behavior as the surface layer, although in the dry season (figure 2a) lower temperatures are identified in the stations in the Gulf's central sector. In contrast, characteristics are maintained during other periods of the study in the surface layer and the environment. In the bottom layer (figure 2 c, f, i, j), temperatures were lower during the dry season (figure 2c) and transition (figure 2f), whereas in the rainy season (figure 2i, j) the temperature increased, mainly in the coastal sector. Of the three layers, the bottom temperature had the lowest values, corresponding to the behavior of sea water temperature where the first meters yield high values, and the parameter decreases in the deeper layers.

Salinity had high values in the surface layer (figure 3 a, d, g, j); such values are characteristic of the dry season (figure 3a), decreasing both in the transition period (figure 3d) and rainy in the rainy season (figure 3g, j). This is the result of the contribution of freshwater from rains, and also due to the fact that the high values reappear in November; although it rains, the intensity is lower if compared to September and October.

In the middle layer (figure 3 b, e, h, k) there were higher concentrations of salts in relation to the surface during all periods of the study. This situation may be related to the contribution in the surface layers of inland waters which in a way generate a stratified water column, as it is not as dense. As for the parameter variation with the climatic periods studied, similar changes

were observed to those of the as in the area, identifying higher salinities during the dry season (figure 3b), where the contribution of inland water salinity is lower and lower during the rainy season (figure 3 h, k).

In the bottom layer (figure 3 c, f, i, l), salinity decreases from the sea towards the coast; this is explained by the contributions of the streams located in the coastal sector, which clearly have a contribution of freshwater, causing thereby values to be lower in relation to the stations influenced by ocean dynamics.

pH is considered a relative - weight variable, as well as an indicator of water quality, given its high buffering capacity. pH was reported to have values above the limits established for marine waters (8.1-8.3). This suggests that, since the area is influenced by coastal activities such as anthropogenic discharges, the consequential increased photosynthetic capacity and cellular respiration have pH values above the average established for marine waters.

In November (figure 4j), when the rainy season ends, increase pH can be seen in Tolu and the station located in front of the dock of the Port Society (FMSP), this increase in pH in relation to the average established for marine waters may be the result of anthropogenic activities in the town of Tolu and port activities akin to the terminal in the sector. Similarly, we observed an increase in pH in the middle layer (figure 4b, e, h, k) and bottom layer (figure 4c, f, i, l) in relation to the surface at stations located across the mouth of the Cascajo stream (DAC), Tolu and FMSP. This shows the influence of the water resources and urban parameters such as pH. We also found that in the case of the DAC, the value is still within the average established for marine waters, while the other two stations exceed such limit. In the bottom layer pH values remain within the established limits for marine waters during the dry (figure 4c) and transition (figure 4f), but in the rainy season (figure 4i, l) it increases, which can be the result of continental inputs, especially from Tolu and port activities. Oxygen, which is considered one of the parameters which determine the presence or absence of species, was reported to have concentrations in the surface layer, as well as in the middle layer, higher than 4.7 mg/l. this value exceeds the limit set forth by the Colombian Regulations for the preservation of flora and fauna, which is 4 mg/l (figure 5). This evidences favorable conditions for the survival of different species, since no anoxic conditions were observed during any of the sampling periods.

RESULTADOS

En términos generales se puede indicar que en el Golfo de Morrosquillo la temperatura varió entre 26.8° y 31.5° C (figura 2), la salinidad entre 15.6 y 35.4 (figura 3), valores típicos de un área con características marino-estuarinas, donde los aportes continentales y la dinámica oceánica son evidentes. Adicionalmente se encontraron valores de pH entre 8.08 a 8.58 (figura 4) y en promedio de 8.32, valor considerado dentro de rango normal de aguas marinas. Sin embargo los muestreos en las épocas de lluvia mostraron incrementos del parámetro, el cual está asociado con la influencia de las mayores descargas de origen antropogénico, generando durante esta época condiciones ligeramente alcalinas.

El oxígeno disuelto durante el período estudiado registró valores entre 4.7 mg/L y 10.5 mg/L (figura 5), observándose los valores más altos en las estaciones más profundas y en las ubicadas en la punta norte y sur del Golfo. Estos valores garantizan la presencia de especies en ecosistemas como el del Golfo de Morrosquillo, pues no se observaron condiciones de anoxia que condicionan la presencia de algunas especies características de este tipo de ambientes.

Por otro lado, los nutrientes reportaron concentraciones entre 0.0093 y 0.4330 mg/L ortofosfatos (figura 6); entre 0.0009 y 0.2148 mg/l de amonio (figura 7); 0,0006 y 1,1243 mg/L de nitratos (figura 8), 0,0007 y 0.0139 de nitritos (figura 9), valores que reflejan la influencia de fuentes terrestres y marinas en la contribución de este tipo de elementos en el área. Las concentraciones de sólidos suspendidos totales entre 0.5 y 55 mg/L (figura 10) supera en algunos casos los valores de referencia y la clorofila a, indicadora de la productividad del área, registró valores entre 0.0001 y 2.8569 mg/m³ (figura 11), lo cual refleja la productividad del sistema, debido a que estos valores permiten evidenciar la presencia de fitoplancton y de manera indirecta de la actividad biológica presente en el área.

Considerando la variación de los parámetros por época se observó que en el área, la temperatura en superficie registró valores más bajos durante el mes de marzo (figura 2a), alcanzando valores más altos en julio (figura 2d) y septiembre (figura 2g) producto de la entrada en el área de la temporada de lluvias y retornando a temperaturas nuevamente más bajas en noviembre (figura 2j), mes en el cual disminuyen las lluvias y retornan los vientos alisios.

En la capa del medio (figura 2 b, e, h, k) la temperatura mantiene el mismo comportamiento de la capa superficial, aunque en la época seca (figura 2a) se identifican temperaturas más bajas en las estaciones ubicadas en el sector central del Golfo, sin embargo en los demás períodos evaluados las características se mantienen en la capa superficial y del medio. En la capa de fondo (figura 2 c, f, i, j), se observaron temperaturas más bajas durante la temporada seca (figura 2c) y de transición (figura 2f), en tanto que en la temporada de lluvias (figura 2i, j) la temperatura aumentó, principalmente en el sector costero central. De las tres capas, la temperatura de fondo reportó los valores más bajos, correspondiendo con el comportamiento de la temperatura de aguas marinas, donde en los primeros metros ésta reporta valores altos y en las capas más profundas la variable disminuye.

La salinidad registró en la capa superficial (figura 3 a, d, g, j) valores altos, característicos de la época seca (figura 3a), llegando a disminuir tanto en la época de transición (figura 3d) como de lluvias (figura 3g, j). Esto como consecuencia del aporte de aguas dulces por lluvias y porque empiezan a retornar los valores altos en noviembre, mes en el cual aunque llueve la intensidad es menor con respecto a septiembre y octubre.

En la capa del medio (figura 3 b, e, h, k) se reportan mayores concentraciones de sales respecto a la superficie, durante todos los períodos evaluados, situación que puede estar relacionada con el aporte en las capas superficiales de aguas continentales, las cuales generan de algún modo estratificación de la columna de agua, por ser menos densas. En cuanto a la variación de la variable con la temporada climática estudiada, se observaron cambios al igual que en la superficie, identificándose mayores salinidades en la época seca (figura 3b), donde el aporte de aguas continentales es menor y salinidades más bajas durante la época de lluvias (figura 3 h, k).

En la capa de fondo (figura. 3 c, f, i, l), la salinidad disminuye desde el mar hacia la costa, este comportamiento se explica por los aportes de los arroyos ubicados en el sector costero, los cuales contribuyen claramente con aguas dulces, ocasionado valores más bajos con respecto a las estaciones influenciadas por la dinámica oceánica.

El pH considerado como una variable de peso relativo e indicadora de la calidad del agua, dada la alta capacidad taponadora de ésta, reportó valores por encima de los límites (8.1-8.3) establecidos para las aguas mari-

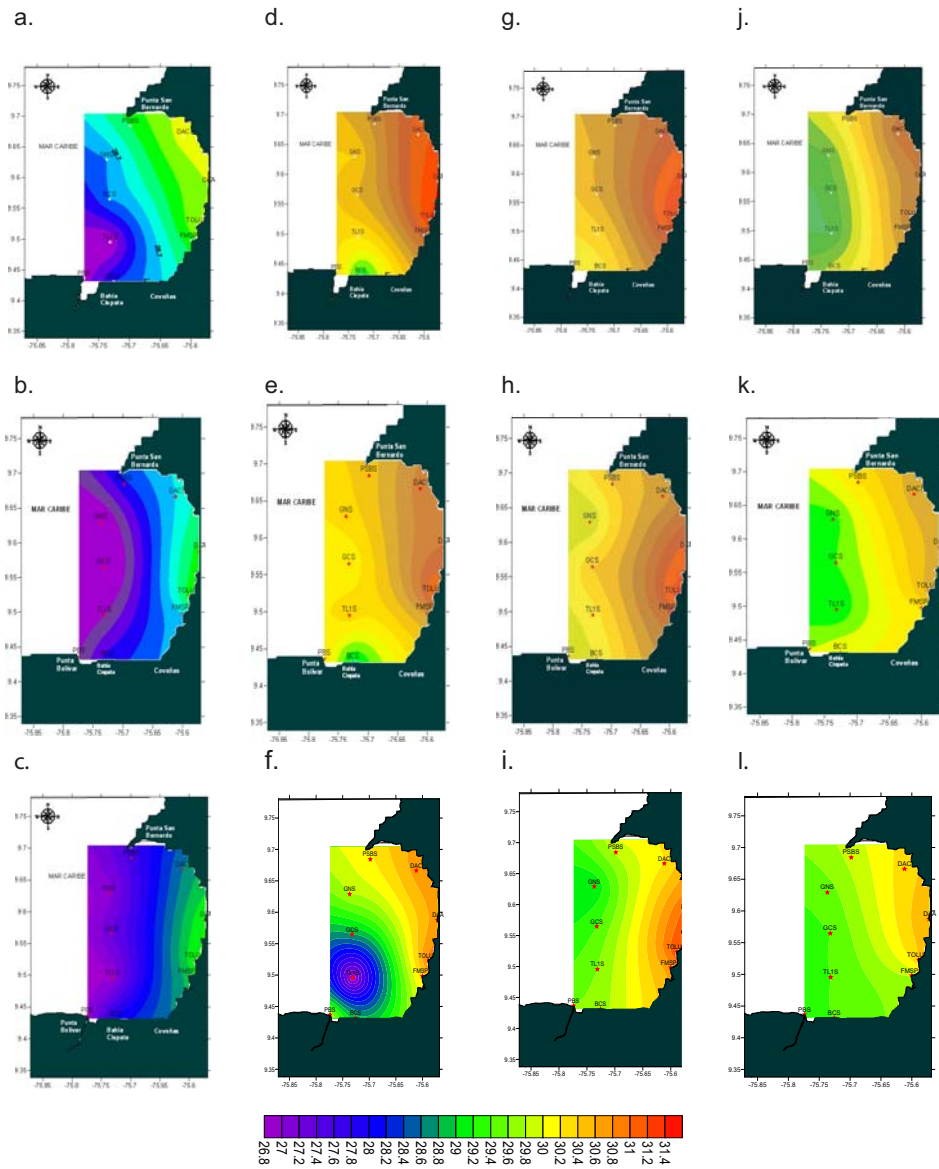


Figure 2. Time and space variation of temperature in the Gulf of Morrosquillo, where: March: a, b, c (dry season); July: d, e, f (transition); September, g, h, i; November: j, k, l (rainy season).

nas. Lo anterior sugiere que el área al estar influenciada por actividades costeras como descargas de tipo antropogénico, aumento de la capacidad fotosintética y de la respiración celular contribuyen con valores de pH por arriba del promedio indicado para las aguas marinas.

En noviembre (figura 4j), mes en el cual termina la temporada de lluvias se refleja el aumento del pH en Tolú y en la estación ubicada frente al muelle de la Sociedad Portuaria (FMSP), este aumento del pH en rela-

ción con el promedio establecido para las aguas marinas, puede ser consecuencia del aporte antropogénico de la ciudad de Tolú y de las actividades portuarias propias del terminal ubicado en dicho sector. De igual forma, se pudo observar el incremento del pH en la capa del medio (figura 4b, e, h, k) y fondo (figura 4c, f, i, l) con respecto a la superficie en las estaciones ubicadas frente a la desembocadura del arroyo Cascajo (DAC), Tolú y FMSP, lo cual evidencia la influencia de las fuentes fluviales y urbanas en parámetros como el pH.

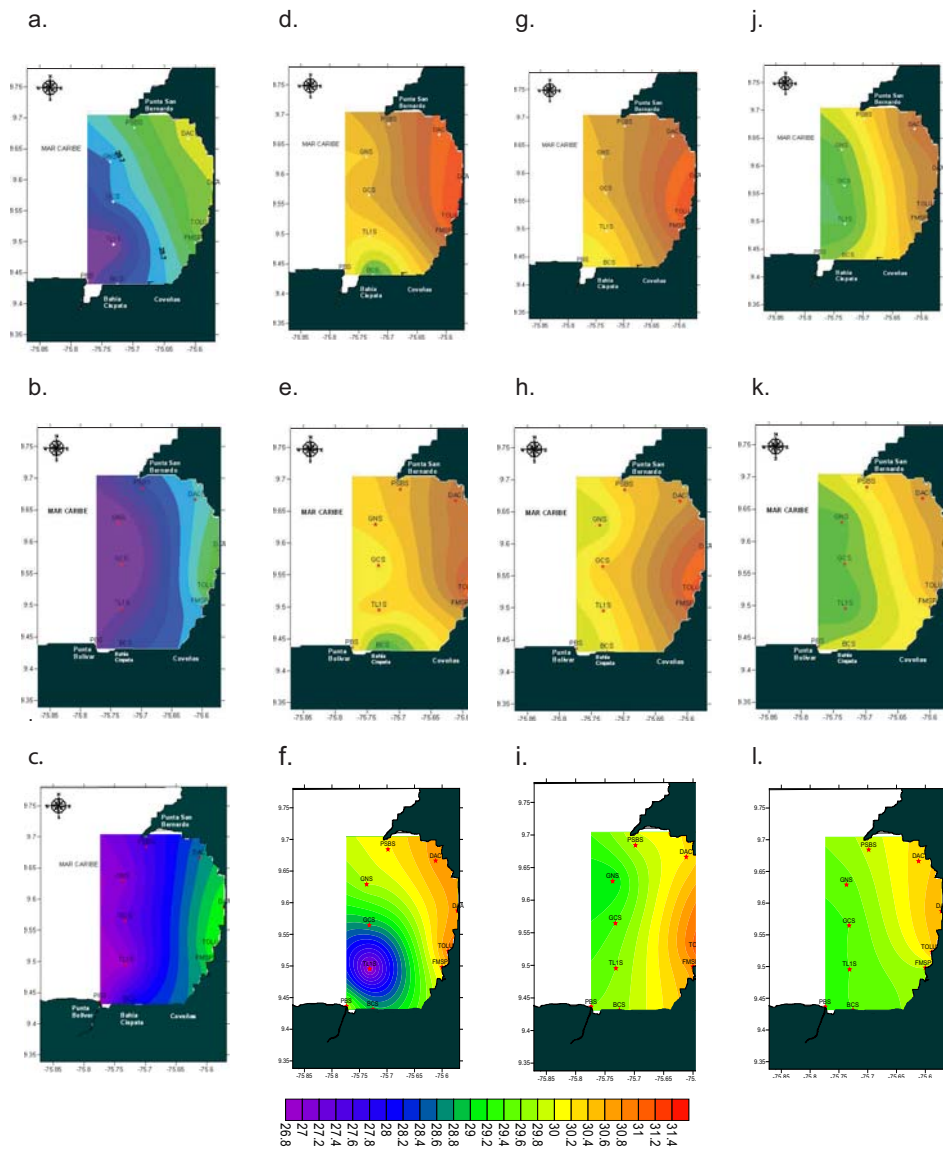


Figura 2. Variación espacio-temporal de la temperatura en el Golfo de Morrosquillo. Donde: marzo: a, b, c (seca); julio: d, e, f (transición); septiembre: g, h, i; noviembre: j, k, l (lluvias).

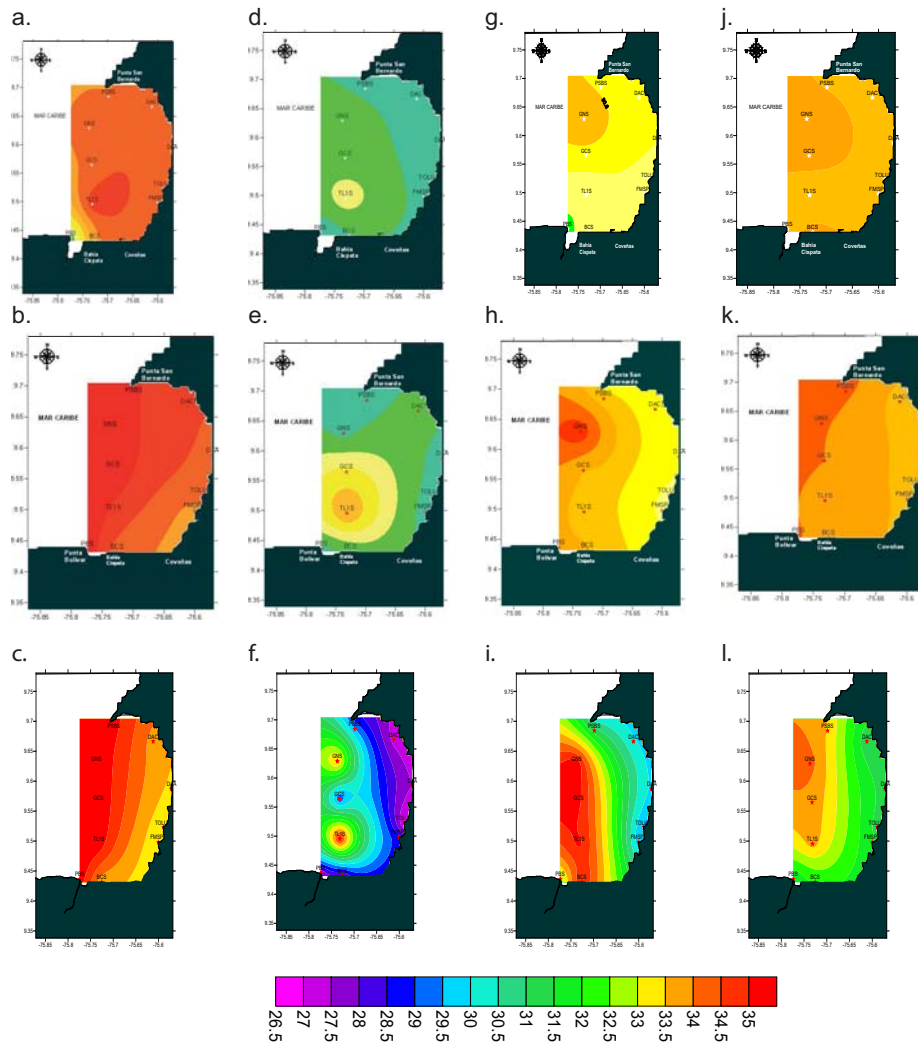


Figure 3. Time and space variation of salinity in the Gulf of Morrosquillo, where: March: a, b, c (dry season); July: d, e, f (transition); September: g, h, i; November: j, k, l (rainy season).

Higher concentrations of oxygen were found during the rainy season (figure 5g, h, i, j, k, l), mainly in the stations located on the outside of the Gulf, which could indicate that the oceanic exchange or mixing favor higher concentrations in these stations. Similarly, it was found

that the surface concentrations (figure 5d, g, j) are greater in relation to the middle layer (figure 5e, h, k) and bottom layer (figure 5f, i, l), indicating that the influence of wind near the surface favors water oxygenation and therefore higher values of oxygen.

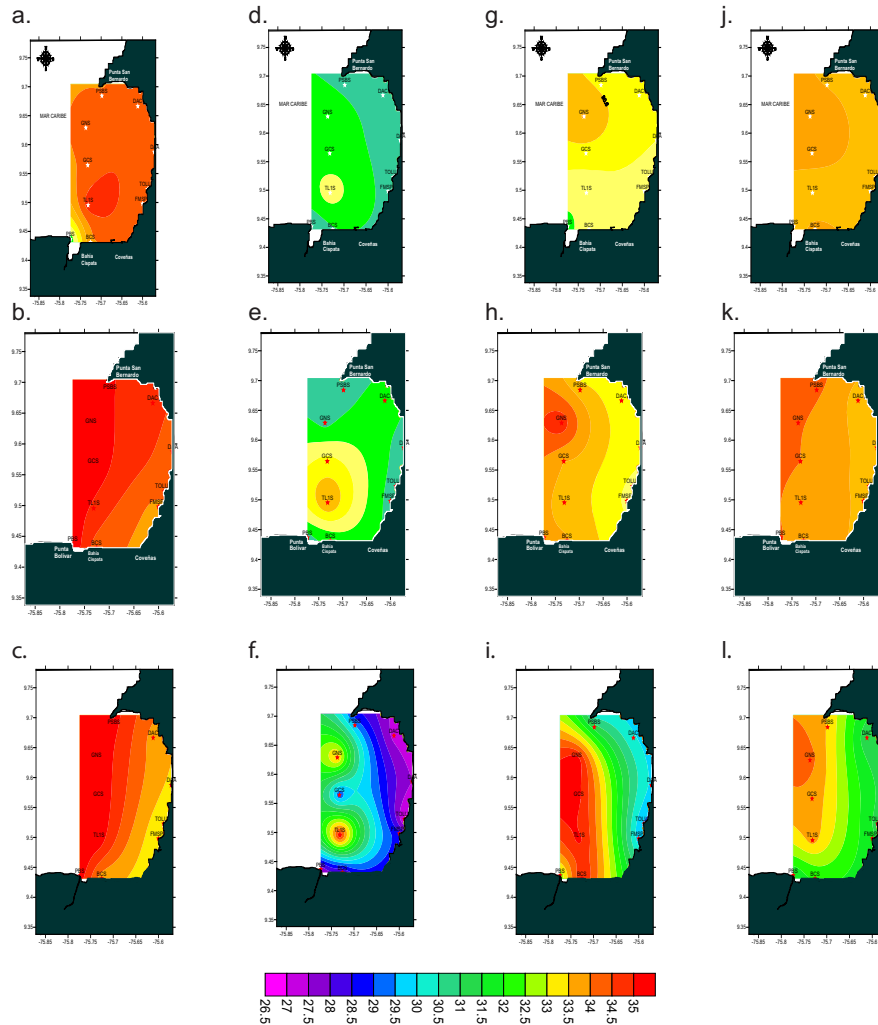


Figura 3. Variación espacio-temporal de la salinidad en el Golfo de Morrosquillo. Donde: marzo: a, b, c (seca); julio: d, e, f (transición); septiembre: g, h, i; noviembre: j, k, l (lluvias).

También se encontró que en el caso de la DAC, el valor se mantiene dentro del promedio establecido para las aguas marinas, mientras que en las otras dos estaciones están fuera de éste. En la capa del fondo los valores de pH durante las épocas seca (figura 4c) y de transición (figura 4f), se mantienen dentro de los señalados para las aguas marinas, pero en la época de lluvias (figura 4i, l) éste se incrementa, lo cual puede ser producto de los aportes continentales, especialmente de Tolú y de las actividades portuarias. El oxígeno considerado como uno de los parámetros que condicionan la presencia o ausencia de especies, reportó concentraciones tanto en superficie como en la capa media superiores a 4.7 mg/L, valor por encima del establecido por la norma colombiana para la preservación de flora y fauna, el cual es de 4 mg/L (figura 5).

Lo anterior evidencia condiciones adecuadas para la sobrevivencia de diferentes especies, pues no se observaron condiciones de anoxia durante ninguno de los períodos muestreados.

En la época de lluvias (figura 5g, h, i, j, k, l) se observaron mayores concentraciones de oxígeno, principalmente en las estaciones ubicadas en la parte externa del Golfo, lo cual podría indicar que el intercambio oceánico o la mezcla favorecen mayores concentraciones en estas estaciones. De igual forma, se encontró que las concentraciones superficiales (figura 5d, g, j) son mayores con respecto a la capa media (figura 5e, h, k) y

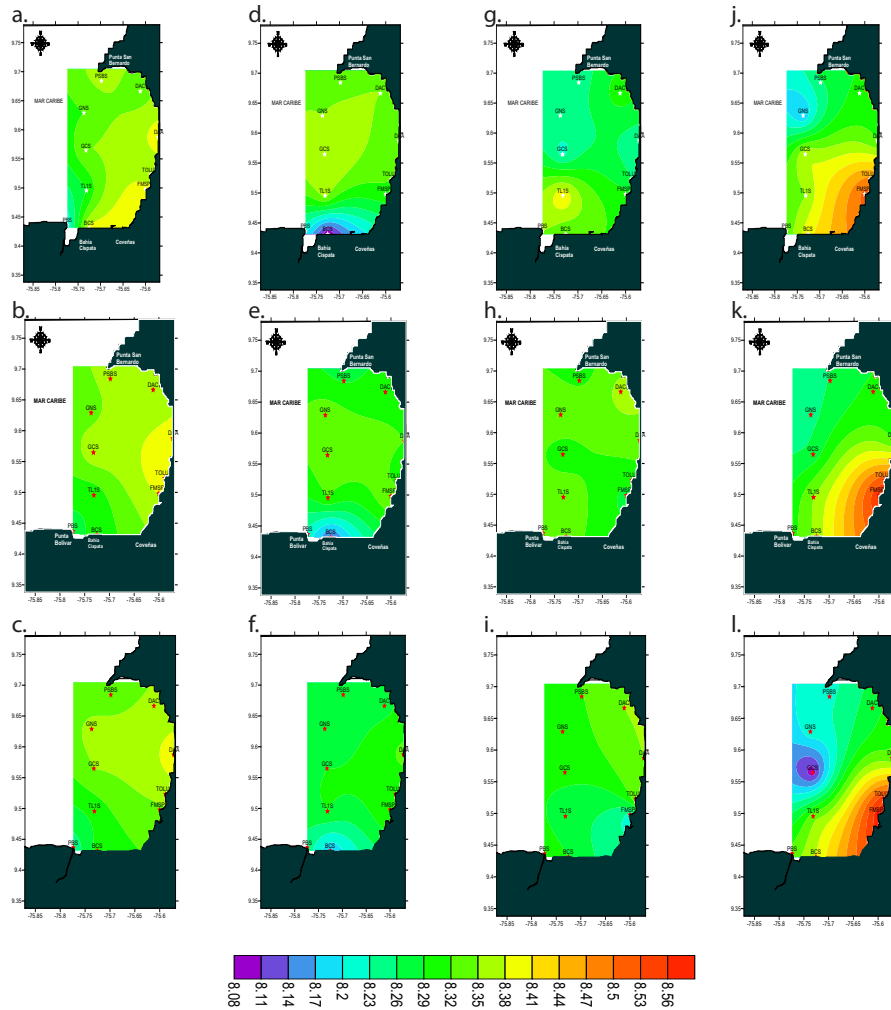


Figure 4. Time and space variation of pH in the Gulf of Morrosquillo, where: March: a, b, c (dry season); July: d, e, f (transition); September, g, h, i; November: j, k, l (rainy season).

Other parameters analyzed were nutrients. Nutrients are of interest in assessments of marine and estuarine waters because of eutrophication processes; should such eutrophication processes not be properly taken care of, extreme phenomena could be triggered which would in turn affect the water quality of coastal sea areas [9]. The Sinu river carries high concentrations of solids, nitrogen, phosphorus, hydrocarbons, pesticides and coliform, since it runs through areas with deforestation, urbanization, high production activity, agriculture

([19], [20]). As a consequence, disposal of nutritive materials and other contaminants through this waterway is evident in the Gulf of Morrosquillo.

Average concentrations of orthophosphates of 0.3158 mg/l were found during this surveying period, with low concentrations during the dry season (figure 6b, c) and transition season (figure 6e, f), both in the middle and in the bottom layer. However, during the rainy season (figure 6h, i, k, l) there is an increase in the

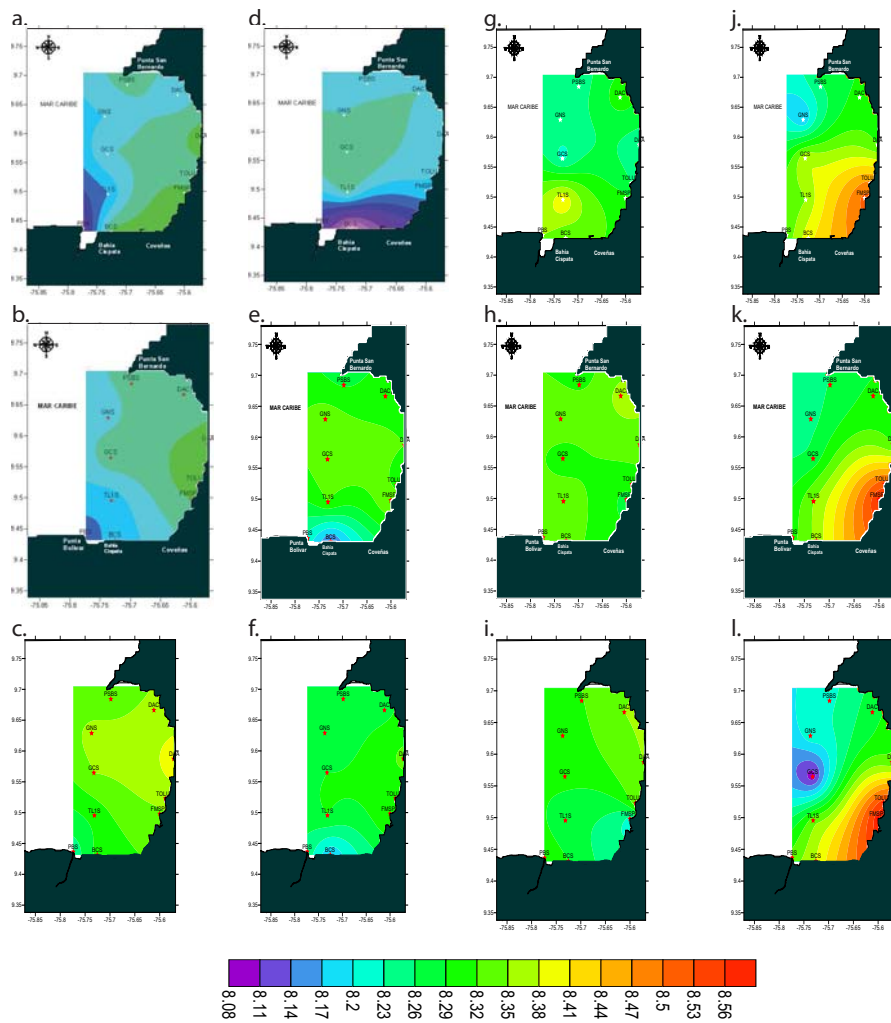


Figura 4. Variación espacio-temporal del pH en el Golfo de Morrosquillo. Donde: marzo: a, b, c (seca); julio: d, e, f (transición); septiembre: g, h, i; noviembre: j, k, l (lluvias).

de fondo (figura 5f, i, l), lo cual indica que la influencia del viento próximo a la superficie, favorece la oxigenación de las aguas y por consiguiente valores más altos de oxígeno.

Otros parámetros analizados correspondieron a los nutrientes, los cuales resultan de interés en las evaluaciones de las aguas marinas y estuarinas por cuanto pueden indicar procesos de eutrofización, que de no tomarse los correctivos del caso pueden desencadenar fenómenos extremos afectando la calidad del agua de las áreas marino costeras [9]. El río Sinú transporta altas concentraciones de sólidos, nitrógeno, fósforo, hidrocarburos, plaguicidas y Coliformes, ya que recorre zonas con deforestación, urba-

nización con alta actividad productiva, agrícola [19], [20], de manera que a través de este vía fluvial la disposición de materiales nutritivos y otros contaminantes es evidente en el Golfo de Morrosquillo.

Durante el período estudiado se registraron concentraciones promedio de ortofosfatos de 0.3158 mg/L, con bajas concentraciones durante las temporadas seca (figura 6b, c) y de transición (figura 6e, f), tanto en la capa media como de fondo. Sin embargo, en la temporada de lluvias (figura 6h, i, k, l) en estas dos capas se observa un incremento en los ortofosfatos en áreas puntuales como consecuencia del aporte fluvial y por ser este elemento altamente reactivo con partículas

orthophosphate in specific areas of these two layers as a result of the fluvial contribution and because this element is highly reactive with particles in suspension. It is worth mentioning that this value exceeds the average concentrations (91ug/l) reported by [22] for the Sucre region. The reference value for the Asian continent is

likewise exceeded, which was set at 15 ug/l [21], especially during the rainy season both in the surface and in the middle layer. This increase is associated with continental runoff [22] and it corresponds with the Tolu stations and the mouth of the Cascajo and Alegría streams.

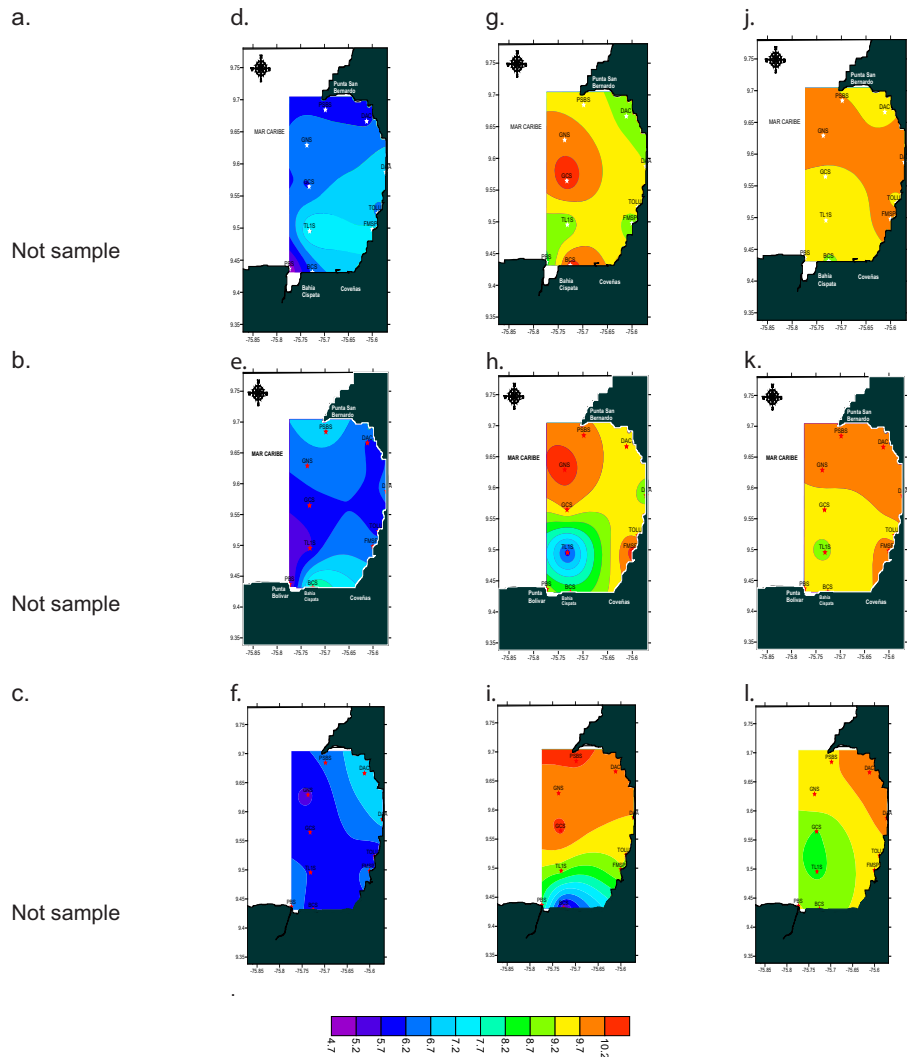


Figure 5. Time and space variation of dissolved oxygen in the Gulf of Morrosquillo, where: March: a, b, c (dry season); July: d, e, f (transition); September, g, h, i; November: j, k, l (rainy season).

en suspensión. Cabe mencionar que este valor supera las concentraciones promedio (91ug/L) reportadas por [22] para el departamento de Sucre. De igual forma se supera el valor de referencia para el continente Asiático, el cual se estableció en 15 ug/L [21], específicamente

durante la temporada de lluvias tanto en la capa superficial y del medio. Este incremento está asociado con vertimientos continentales [22] y corresponde con las estaciones de Tolú y la desembocadura de los arroyos Cascajo y Alegría.

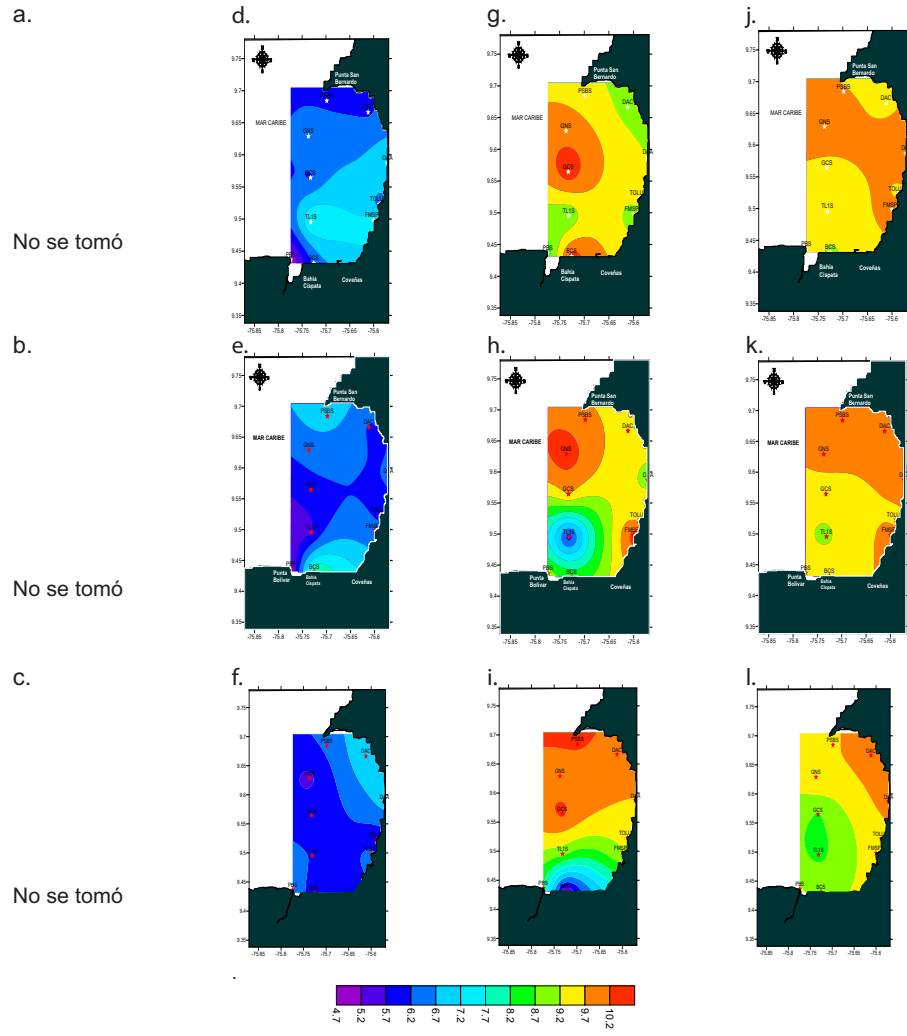


Figura 5. Variación espacio-temporal de oxígeno disuelto en el Golfo de Morrosquillo. Donde: marzo: a, b, c (seca); julio: d, e, f (transición); septiembre: g, h, i; noviembre: j, k, l (lluvias).

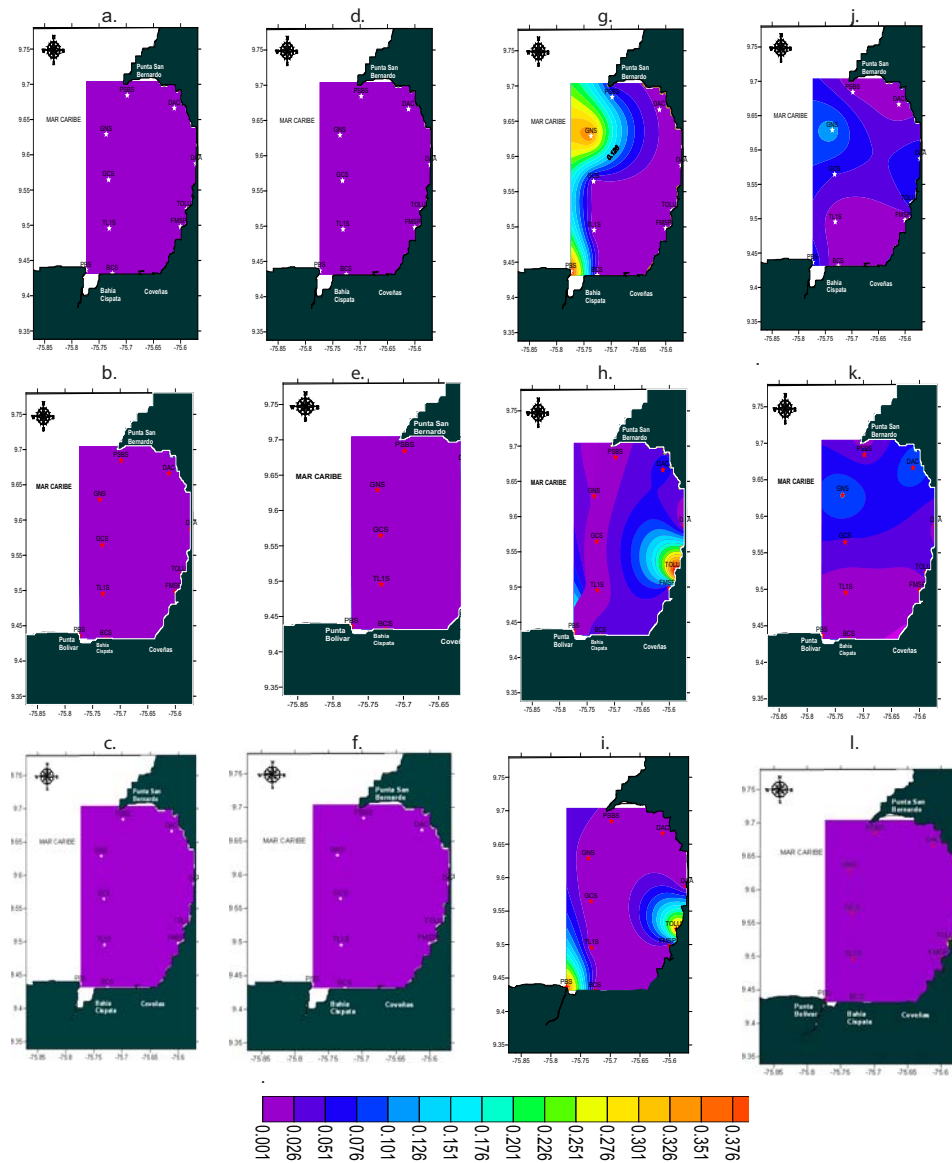


Figure 6. Time and space variation of orthophosphates in the Gulf of Morrosquillo, (blue, green, yellow and red exceed the limit established for the preservation of flora and fauna according to Decree 1594 of 1984). Where: March: a, b, c (dry season); July: d, e, f (transition); September: g, h, i; November: j, k, l (rainy season).

In the bottom layer with the exception of September (figure 6i) orthophosphate concentrations were observed between 0.01 mg/l and 0.026 mg/l, values below the level recorded for Sucre in 2008 by INVEMAR and suitable for fishing water in accordance with the Cuban standard [23]. In September, the values of Tolu and Punta Bolívar increase above the aforementioned limits, as a consequence of contributions from rainwater.

Ammonium ion concentrations in the Gulf of Morrosquillo showed that the average value for estuarine waters did not exceed 0.050 mg/l during the beginning of the rainy season, which is considered to be the peak value in natural waters, for preservation of flora and fauna, according to the Colombian regulation [24]. However, stations such as TLU1 in the surface (figure 7d) and the station located off the Bay of Cispatá (BC)

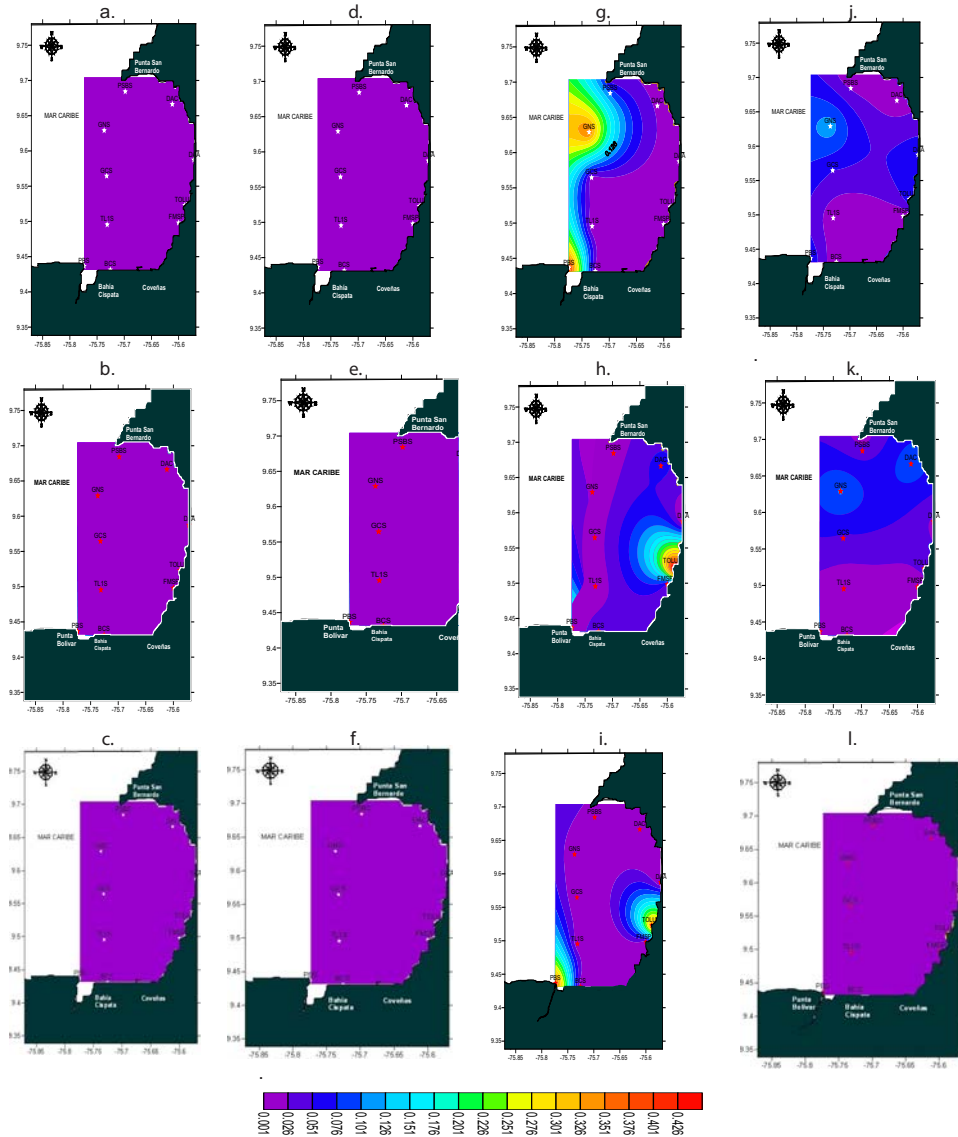


Figura 6. Variación espacio-temporal de ortofosfatos en el Golfo de Morrosquillo (los colores azul, verde, amarillo y rojo superan el límite establecido para preservación de flora y fauna según el decreto 1594 de 1984). Donde: marzo: a, b, c (seca); julio: d, e, f (transición); septiembre: g, h, i – noviembre: j, k, l (lluvias).

En la capa de fondo con excepción del mes de septiembre (figura 6i) se observaron concentraciones de ortofosfatos entre 0.01 mg/L y 0.026 mg/L, valores por debajo del nivel registrado para Sucre durante el 2008 por INVEMAR y adecuados para las aguas de uso pesquero según la norma cubana [23]. En septiembre los

valores de Tolú y Punta Bolívar se incrementan por encima de los límites referidos, como consecuencias de los aportes por lluvias.

Las concentraciones del ión amonio en el Golfo de Morrosquillo, mostraron que el valor promedio para

in the middle layer during the transition period (figure 7e), as well as the mouth of the Alegria stream (figure 7j) and the mouth of the Cascajo stream (DAC) with Punta Bolivar (PB) in its middle layer (figure 7k), exceeded

the value set by the standard, towards the end of the rainy season. For this reason it is necessary to control the sources which are causing these increases in order to avoid any incidents in the ecosystems.

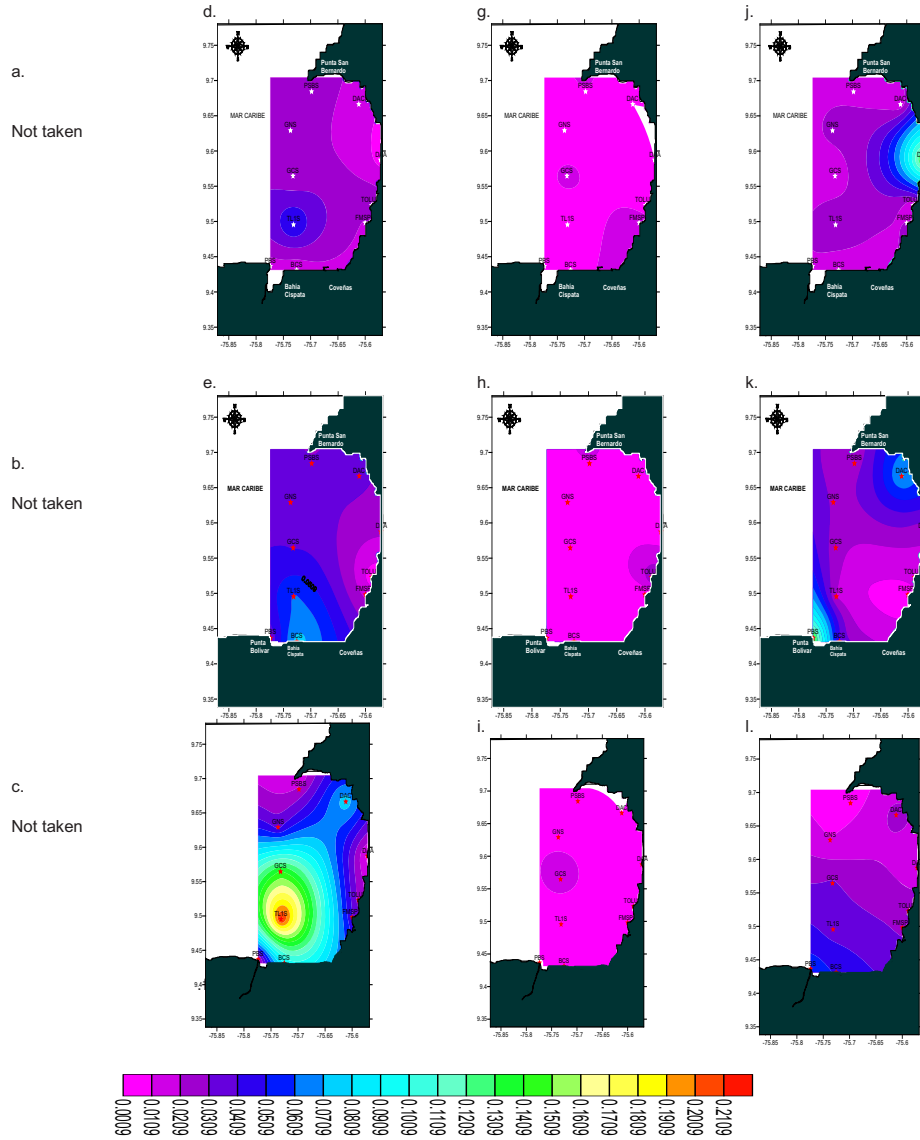


Figure 7. Time and space variation of Ammonium in the Gulf of Morrosquillo, (blue, green, yellow and red exceed the limit established for the preservation of flora and fauna according to Decree 1594 of 1984). Where: March: a, b, c (dry season); July: d, e, f (transition); September: g, h, i - November: j, k, l (rainy season).

In the bottom layer (figure 7f) at the stations located in the central and coastal - southern side of the Gulf, specifically GC, TLU1 and BC, concentrations were above

0.050 mg/l, which is above the level established by the Colombian regulation and the 0.030 mg / L limit for fishing waters (0.03mg/l) [23].

aguas estuarinas no superó los 0.050 mg/L durante el inicio de las lluvias, considerado como el valor máximo en aguas naturales, para el uso de preservación de fauna y flora, de acuerdo con la Norma colombiana [24]. Sin embargo estaciones como la TLU1 en superficie (figura 7d) y la ubicada frente a la Bahía de Cispatá (BC) en la capa del medio durante la época de transición (figura 7e), así como la desembocadura del arroyo Alegría en

superficie (figura 7j) y la desembocadura del arroyo Cascajo (DAC) junto con Punta Bolívar (PB) en la capa del medio (figura 7k) finalizando la época de lluvias, superaron el valor establecido por la norma, razón por la cual es necesario controlar las fuentes que están ocasionando estos incrementos a fin de evitar afectaciones en los ecosistemas presentes.

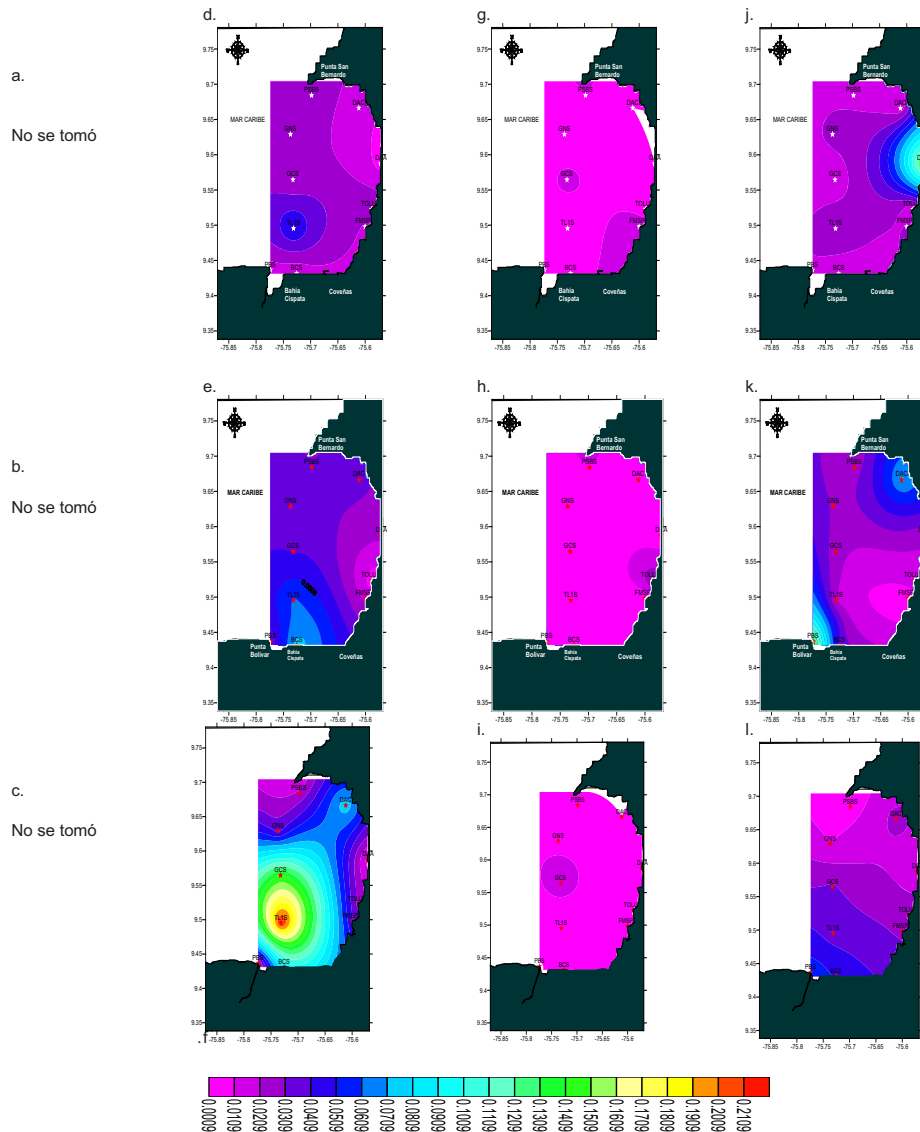


Figura 7. Variación espacio-temporal de Amonio en el Golfo de Morrosquillo (los colores azul, verde, amarillo y rojo superan el límite establecido para preservación de flora y fauna). Donde: marzo: a, b, c (seca); julio: d, e, f (transición); septiembre: g, h, i; noviembre: j, k, l (lluvias).

On the other hand, the average of the nitrate during the surveying period was 0.0356 mg/l, a value below the stipulated maximum (0.060 mg/l) for the preservation of flora and fauna of the Asian region [22] and also below the 0.05 mg/l limit for fishing waters in accordance with the Cuban standard [23]. But stations like DAA and DAC - in the surface (figure 8j), middle (figure 8k) and bottom layers (figure 8l) -, at the end of the rainy season, yielded values higher than 0.06 mg/l. this situa-

tion is associated with the fluvial contribution, which increased the concentration in the parameter.

Similarly, higher values were observed in nitrates during the dry season (figure 8a, c) and the transition season (figure 8d, f) in Punta Bolivar (PB) and Cispatá Bay (BC) stations with concentrations between 0.025 and 0.018 mg / L in relation to other stations. This may be related to the contribution from mixture and from Cispatá Bay.

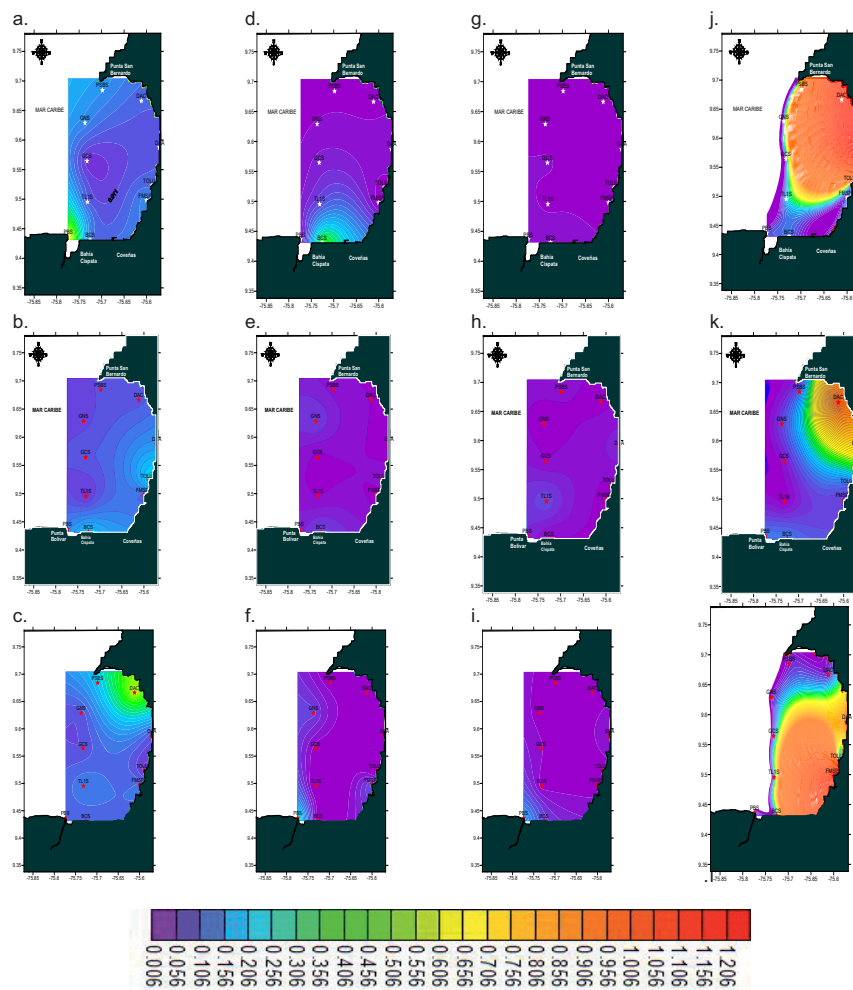


Figure 8. Time and space variation of nitrates in the Gulf of Morrosquillo, (blue, green, yellow and red exceed the limit established for the preservation of flora and fauna according to Decree 1594 of 1984). Where: March: a, b, c (dry season); July: d, e, f (transition); September, g, h, i; November: j, k, l (rainy season).

En la capa de fondo (figura 7f) en las estaciones ubicadas en el lado central y costero-sur del golfo, específicamente GC, TLU1 y BC, las concentraciones fueron superiores a los 0.050 mg/L, nivel por encima del establecido por la norma colombiana y a los 0.030 mg/l valor límite para aguas de uso pesquero (0.03mg/l) [23].

Por otro lado, el promedio de los nitratos durante las épocas estudiadas fue de 0.0356 mg/L, valor por debajo del máximo establecido (0.060 mg/L) para la preservación de flora y fauna de la región asiática [22] y también por debajo del límite establecido de 0.05 mg/L para aguas de uso pesquero según la norma cubana [23].

Sin embargo estaciones como DAA, y DAC en las capas superficiales (figura 8j), media (figura 8k) y de fondo (figura 8l) en la época de finalización de las lluvias reportaron valores por arriba de los 0.06 mg/L, situación asociada al aporte fluvial, la cual incrementó la concentración del parámetro.

De igual forma, se pudo observar durante la época seca (figura 8a, c) y de transición (figura 8d, f) valores más altos de los nitratos en las estaciones de Punta Bolívar (PB) y Bahía de Cispatá (BC) con concentraciones entre 0.025 y 0.018 mg/L con respecto a las demás estaciones. Lo anterior puede estar relacionado con el aporte por la mezcla y por la Bahía de Cispatá.

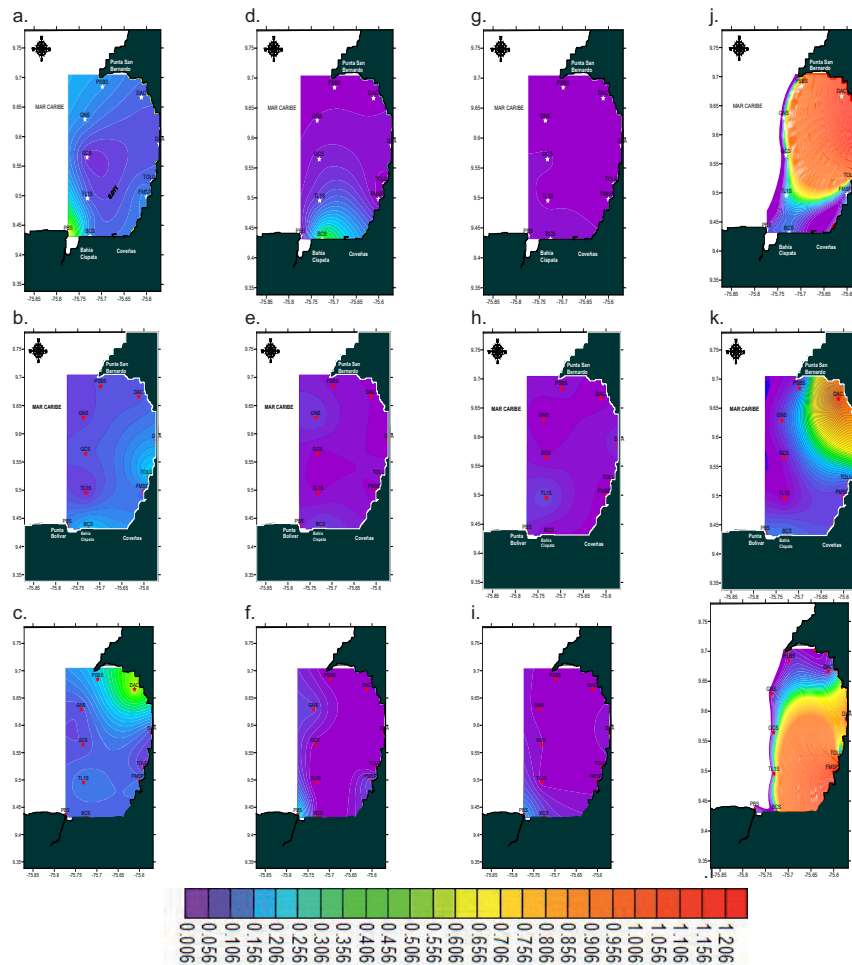


Figura 8. Variación espacio-temporal de nitratos en el Golfo de Morrosquillo (los colores, azul al rojo superan el límite establecido para preservación de flora y fauna "0.006mg/L"). Donde: marzo: a, b, c (seca); julio: d, e, f (transición); septiembre: g, h, i; noviembre: j, k, l (lluvias).

A contribution from nitrates was observed in the bottom layer during the dry season (figure 8c) in front of DAC, whereas during the transition season (figure 8f) and the rainy season (figure 8i, l) PB was the station which reported a higher concentration of the parameter. By the end of the rainy season (figure 8l) an increase was observed along the following stations, DAC, Tolu, FMSP and BC. The aforementioned phenomenon may be related to the availability of the element as a result from the continental inputs influenced by rainfall.

Nitrites are usually very low in seawater; however, concentrations can increase this parameter in transition areas between anoxic and oxygenated layers. Concentrations were found to be between 0.0007 and 0.0131 mg / L In the Gulf of Morrosquillo (figure 9).

Unless the nitrate parameter, the nitrite parameter yielded higher concentrations during the transition season (figure 9d, e, f), where the dry season (figure 9a, b, c) was the period in which the levels were lowest. During the rainy season (figure 9g, h, i) the BC surface – to – bottom layers reported contributions in higher concentrations compared to those of other stations. Likewise, it was observed that by the end of the rainy season (figure 9j, k, l) the DAC stations in their middle layer, as well as the PB station, reach higher concentrations than other stations. This availability of elements during the transition and rainy seasons is thought to be caused by the contribution from phytoplankton.

Total Suspended Solids (TSS) in the Gulf reported concentrations between 0.5 and 55 mg / L; the afore-

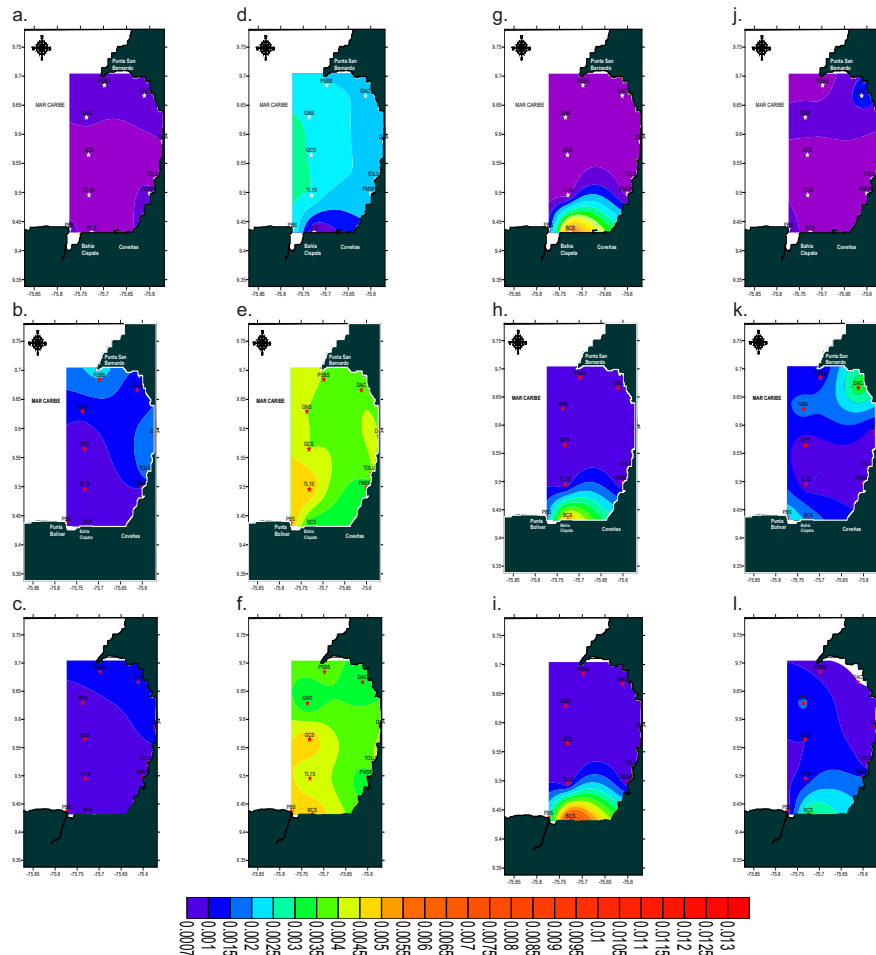


Figure 9. Time and space variation of Nitrites in the Gulf of Morrosquillo, where: March: a, b, c (dry season); July: d, e, f (transition); September: g, h, i; November: j, k, l (rainy season).

En la capa de fondo durante la época seca (figura 8c) se observó un aporte de este elemento frente a la DAC, en tanto que durante la temporada de transición (figura 8f) y de lluvias (figura 8i, l) fue en PB donde se reportó mayor concentración del parámetro. Finalizando la época de lluvias (figura 8l) se observó un incremento a lo largo de las estaciones DAC; Tolú, FMSP y BC, lo anterior puede estar relacionado con la disponibilidad del elemento producto de los aportes continentales influenciados por las lluvias.

Los nitritos usualmente son muy bajos en agua de mar, sin embargo en zonas de transición entre capas anóxicas y oxigenadas las concentraciones de este parámetro pueden aumentar. En el Golfo de Morrosquillo

se encontraron concentraciones entre 0.0007 y 0.0131 mg/L (figura 9).

Este parámetro a diferencia de los nitratos reportó mayores concentraciones durante la temporada de transición (figura 9d, e, f), siendo la época seca (figura 9a, b, c) el período en el que los niveles fueron más bajos. Durante las lluvias (figura 9g, h, i,) la BC de superficie a fondo reporta aportes en mayores concentraciones con respecto a los demás estaciones, de igual forma se observó finalizando las lluvias (figura 9j, k, l) que en las estaciones DAC en la capa del medio, junto con PB alcanzan mayores concentraciones que las demás estaciones. Esta disponibilidad de elementos durante la temporada de transición y lluvias puede ser producto del aporte por parte del fitoplancton.

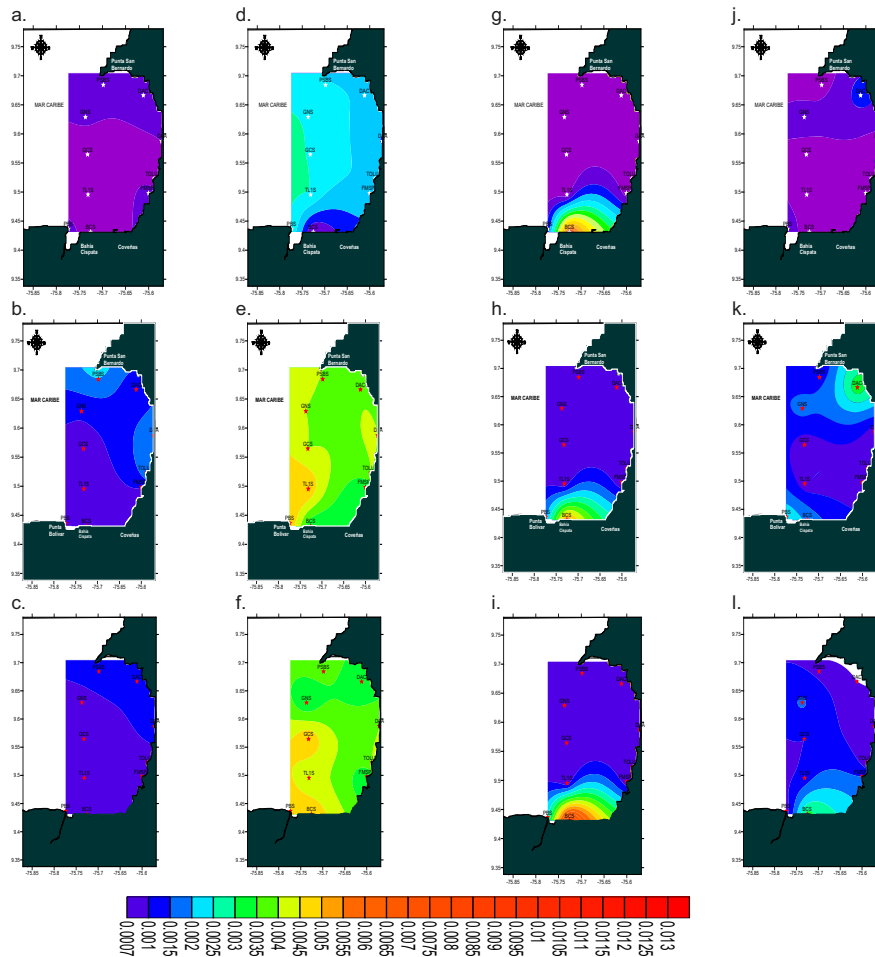


Figura 9. Variación espacio-temporal de Nitritos en el Golfo de Morrosquillo. Donde: marzo: a, b, c (seca); julio: d, e, f (transición); septiembre: g, h, i; noviembre: j, k, l (lluvias).

mentioned values are within the limit established for Mexican waters (75 mg / L), and within the average reported by the Red CAM in 2008 in marine and coastal ecosystems of the Colombian Caribbean (figure 10). The highest average concentration of solids (18.58 mg / L) is reported during the rainy season (figure 10g, h, k), mainly in the stations located on the outside of the Gulf. This phenomenon may be related to the mixing conditions which take place hours before rainfall, causing thereby re-suspension of sediments and therefore increasing the concentration of matter suspended in water. Likewise, there was an increase of suspended

matter in the stations located at the mouth of streams and Tolu, which evidences the discharge of materials of this sort by river sources into the Gulf.

Another parameter studied in the Gulf of Morrosquillo corresponded to chlorophyll a, which allows for an estimate of the concentration of phytoplankton present in the area and, indirectly, of the biological activity in water bodies such as the Gulf of Morrosquillo. Concentrations for this sector of the Caribbean were found to range from 0.0001 to 2.8569 mg / m³ with an average of 0.6197 mg / m³ (figure 11).

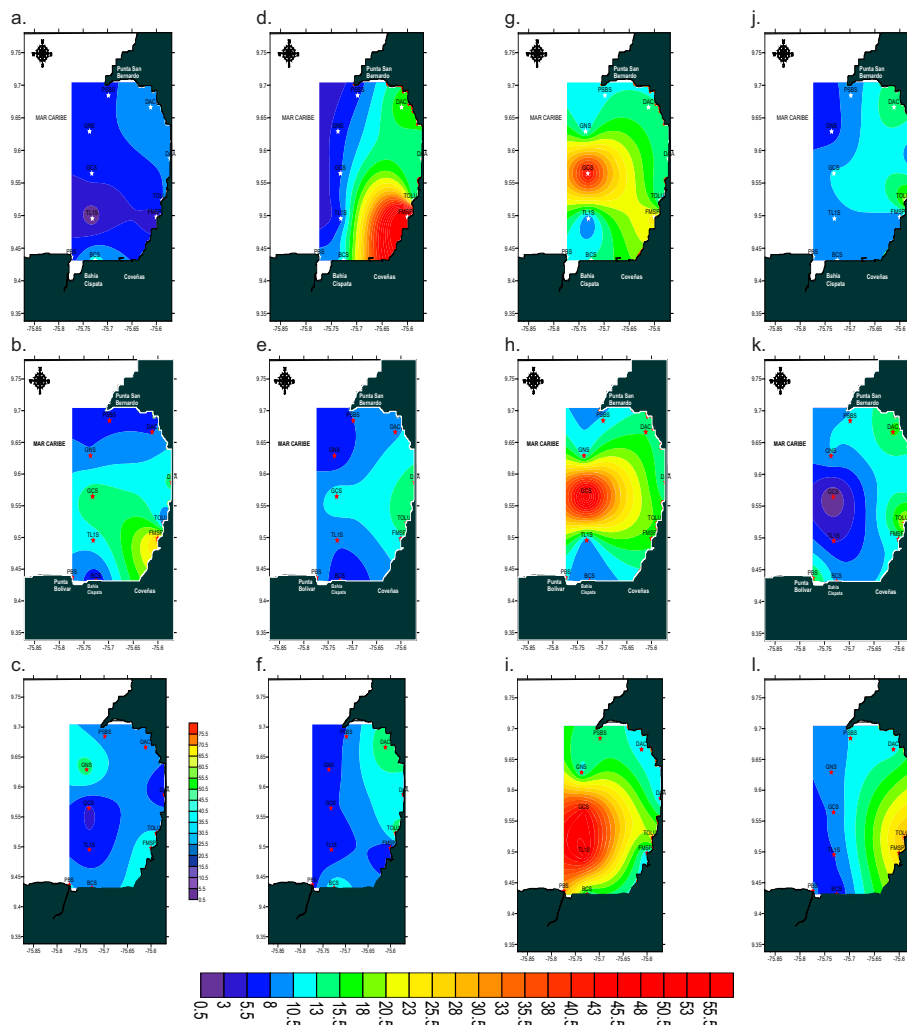


Figure 10. Time and space variation of Total Suspended Solids in the Gulf of Morrosquillo, where: March: a, b, c (dry season); July: d, e, f (transition); September, g, h, i; November: j, k, l (rainy season).

En el Golfo los sólidos suspendidos totales (SST) reportaron concentraciones entre 0.5 y 55 mg/L, valores dentro del límite establecido para las aguas mexicanas (75 mg/L), y dentro del promedio reportado por la Red CAM durante el 2008 en los ecosistemas marinos y costeros del Caribe colombiano (figura 10). Durante las lluvias (figura 10g, h, k) se reportó la mayor concentración promedio de sólidos (18,58 mg/L), principalmente en las estaciones ubicadas en la parte externa del golfo, esto puede estar relacionado con las condiciones de mezcla que se dan horas antes de las precipitaciones, generando resuspensión de sedimentos y por tanto aumentos en la concentración de material suspendido en el agua.

De igual forma se observó un incremento del material suspendido en las estaciones ubicadas frente a la desembocadura de los arroyos y a Tolu, lo cual evidencia la descarga al golfo por fuentes fluviales de este tipo de material.

Otro parámetro estudiado en el Golfo de Morrosquillo correspondió a la clorofila *-chl a* la cual permite estimar la concentración de fitoplancton presente en el área, e indirectamente de la actividad biológica en cuerpos de agua como lo es el Golfo de Morrosquillo. Para este sector del Caribe colombiano se encontraron concentraciones que variaron entre 0,0001 y 2,8569 mg/m³ con un promedio de 0.6197 mg/m³ (figura 11).

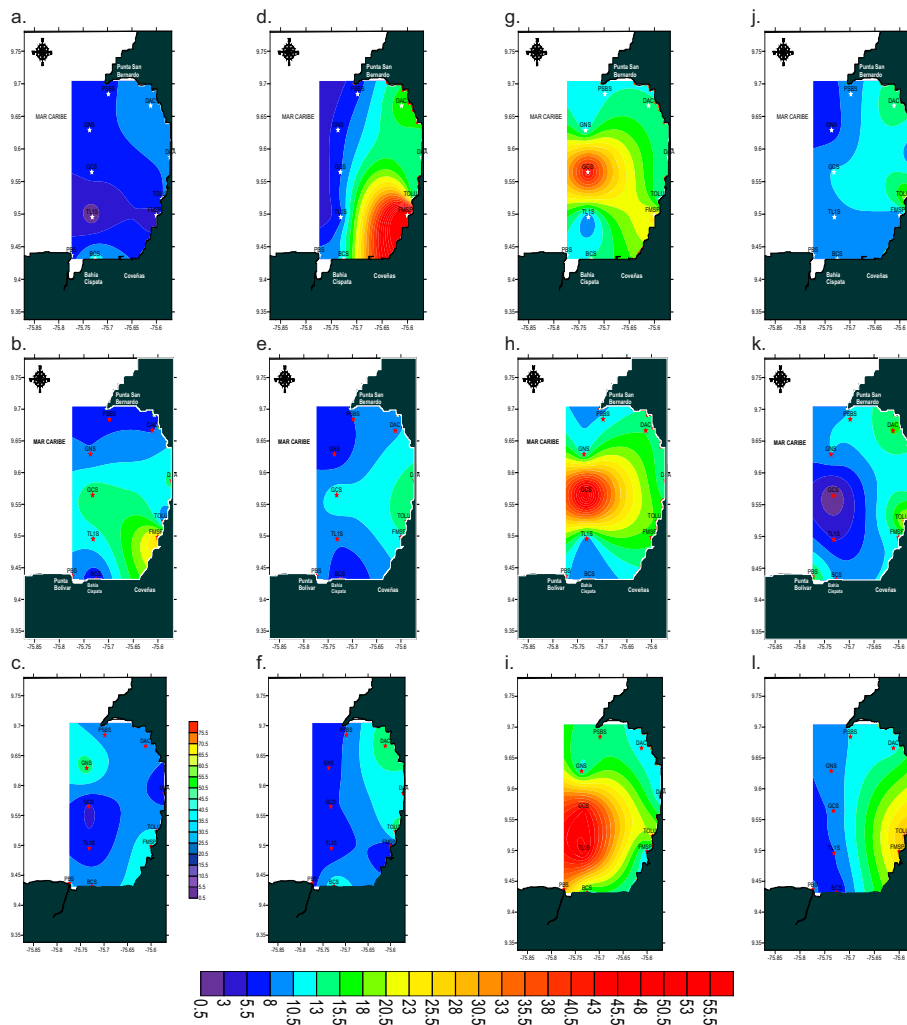


Figura 10. Variación espacio-temporal de los sólidos suspendidos totales en el Golfo de Morrosquillo. Donde: marzo: a, b, c (seca); julio: d, e, f (transición); septiembre: g, h, i – noviembre: j, k, l (lluvias).

The highest concentration of chlorophyll was found during the dry season in PB and Tolu, in their surface layer (figure 11a), whereas the highest concentrations in the middle layers (figure 11b) were found at the stations located off the streams, Tolu and FMSP, so that it could be stated that during this period there is a stratification of primary producers in the water Column, being most active in the middle layer (figure 11b) and in the bottom layer (figure 11c) where lighting conditions are adequate for biological processes to take place.

Higher concentrations of chlorophyll a were found during the transition season (figure 11d, e, f) than during in the dry season. These concentrations were found

to be more evenly distributed in the middle layer (figure 11e) and at coastal stations, whereas stations located on the outside of the Gulf reported lower concentrations.

This behavior can be associated with the availability of nutrient sources for primary producers. During the rainy season, in the surface layer (figure 11g, j) as well as in the middle layer (figure 11h, k), there were higher concentrations in relation to the bottom layer (figure 11i, l). Hence it is thought, from the contribution of suspended material, that phytoplankton need to be located in the upper layers in order to perform their photosynthetic activity.

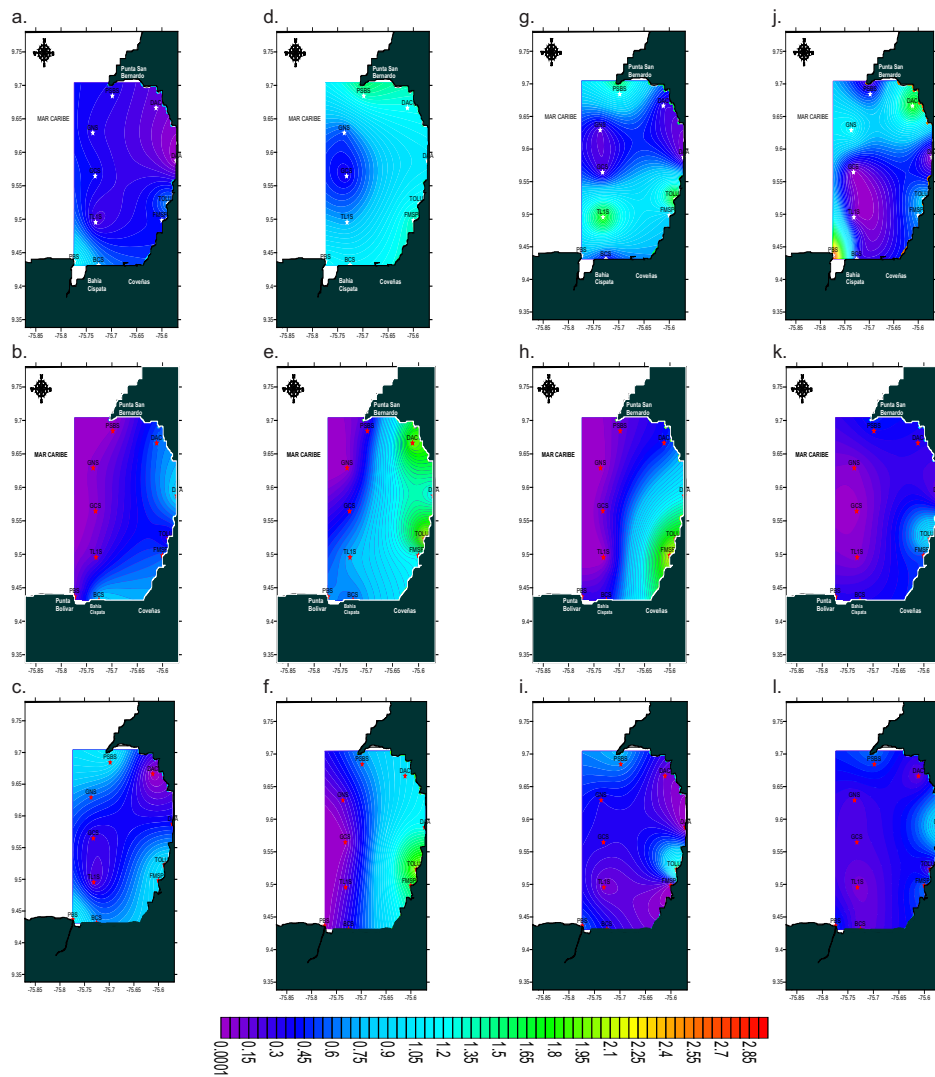


Figure 11. Time and space variation of chlorophyll a in the Gulf of Morrosquillo, where: March: a, b, c (dry season); July: d, e, f (transition); September: g, h, i - November: j, k, l (rainy season).

Durante la época seca se observó la mayor concentración de clorofila en PB y Tolú en la capa superficial (figura 11a), en tanto que en la del medio (figura 11b) las concentraciones más altas se dieron en las estaciones ubicadas frente a los arroyos, Tolú y FMSP, de manera que durante esta época se podría indicar que existe una estratificación de los productores primarios en la Columna de agua, siendo más activos en la capa del medio (figura 11b) y fondo (figura 11c), donde las condiciones lumínicas son adecuadas para llevar a cabo sus procesos biológicos.

En la época de transición (figura 11d, e, f) se hallaron mayores concentraciones de clorofila-*chl*a que en la época seca. Estas concentraciones se encontraron mejor distribuidas en la capa de medio (figura 11e) y en las estaciones costeras, mientras que las estaciones ubicadas en la parte externa del golfo reportaron menores concentraciones.

Este comportamiento puede estar asociado con la disponibilidad de fuentes nutritivas para los productores primarios. En la época de lluvias en la capa superficial (figura 11g, j) y media (figura 11h, k) se encontraron

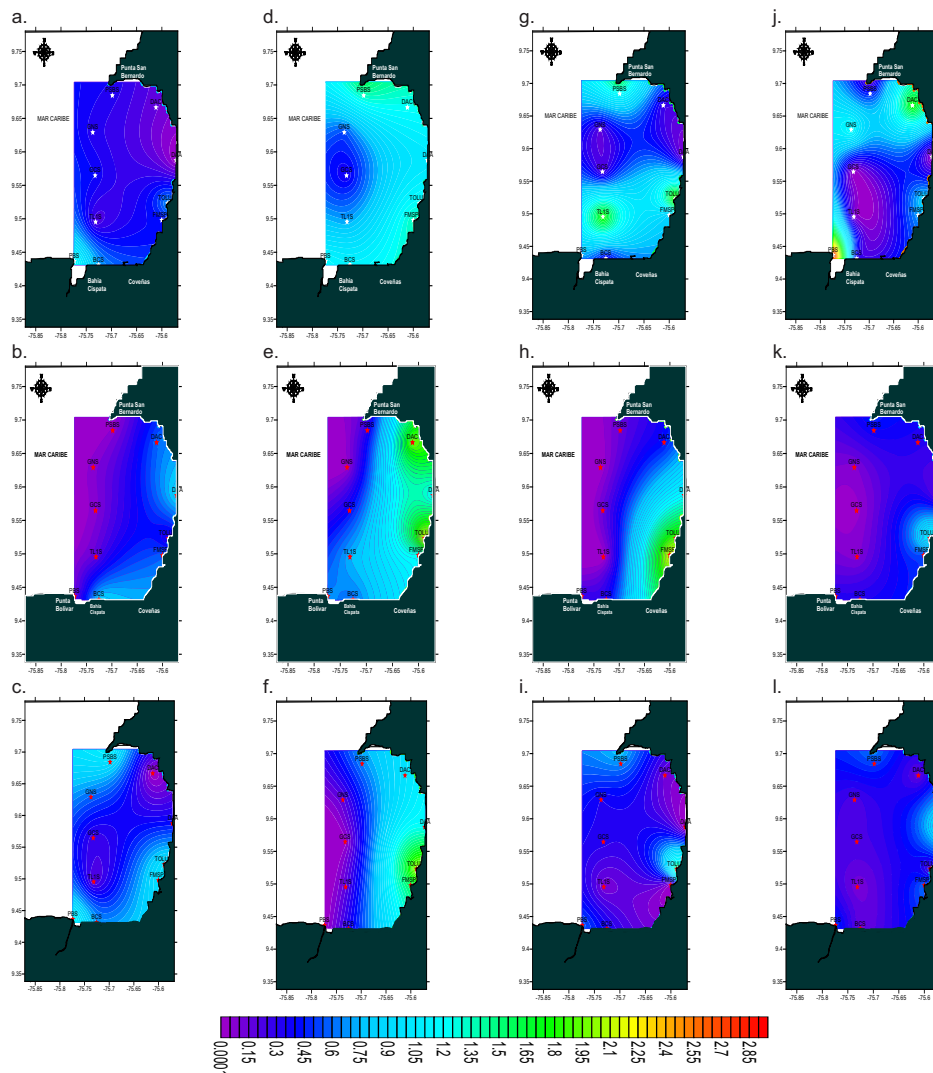


Figura 11. Variación espacio-temporal de la clorofila-a en el Golfo de Morrosquillo. Donde: marzo: a, b, c (seca); julio: d, e, f (transición); septiembre: g, h, i – noviembre: j, k, l (lluvias).

In order to assess how the physical and chemical variables studied were correlated in space and time, cluster analysis of data was performed using the Pearson correlation index with the average linkage method. Clustering of 85% of the stations on the surface layer (figure 12) was observed, with a similarity level of 60%.

It was also found that the group most similar clustering on the surface corresponded to the survey conducted in

March. The GC and GN stations, located in the central outer part of the Gulf, were the most similar (94.25%) and the PSB station was the least similar (84.39%). The transition season represented in the month of July showed an association of 75.15%, differentiating coastal stations from offshore stations, which helps demonstrate the influence of continental sources on each site surveyed. It was also noted that November, when the rains end, was most similar to March, July and September.

BOTTOM-LINE – SAMPLING ASSOCIATION
Average Linking, Pearson Distance

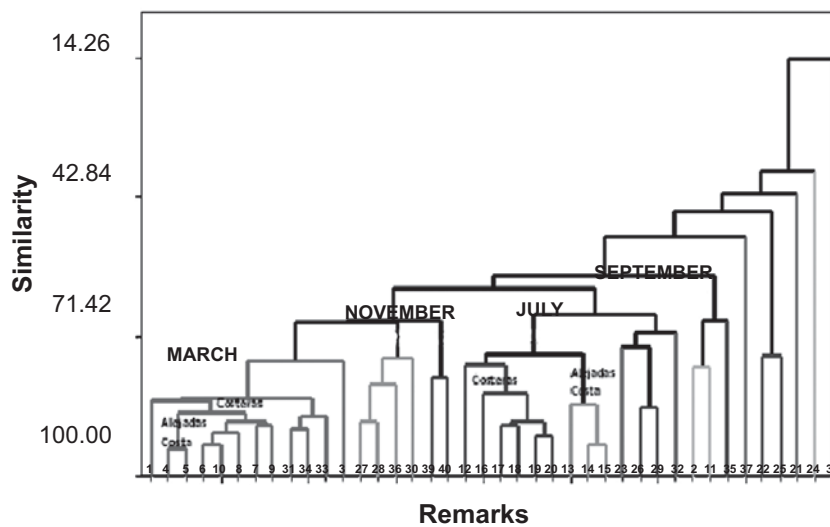


Figure 12. Time – Space clustering analysis of stations in the surface layer in the Gulf of Morrosquillo.

During the study it was possible to evidence the seasonality of the physicochemical characteristics of the Gulf. In the middle layer (figure 13), showing thus the association of the stations in 3 clusters, with a level of similarity of 54.86%. At this depth, unlike at the surface (figure 12) it was evidenced that the season with highest difference corresponded to the transition season, as this is the last season to cluster. The most similar stations in this layer (91%) throughout the survey were PB and BC, located in the southern coastal region of the Gulf; this similarity may be related to the proximity between the two stations and the influence of the Sinu River and Cispata Bay.

By contrast, the stations with highest difference corresponded to those located in the central Gulf, in front of Tolu and DAC. The aforementioned stations suffered

direct impact by continental runoff, which could be the cause for the different physicochemical characteristics which were observed. As in the surface, it was observed that the group of stations located near the coastal margin in clusters different from those located in the outer central part of the Gulf, so that the influence of anthropogenic activities is manifested on the physicochemical variability of the points surveyed.

The second cluster encompassed 11 stations, showing similarity between both in March (4 stations) and September (three stations) and November (3 stations). This cluster reveals the influence of rainfall in the region, the latter carries on until November.

It was observed during this period that the most similar stations were PB and BC. PB station was monito-

mayores concentraciones con respecto al fondo (figura 11i, l), de manera que por el aporte de material suspendido se pensaría que el fitoplancton necesita ubicarse en las capas superiores para llevar a cabo su actividad fotosintética.

Para evaluar cómo las variables fisicoquímicas estudiadas se correlacionaron espacio-temporalmente, se realizó un análisis de agrupamiento de los datos, empleando el índice de correlación de Pearson con el método de ligamento promedio. En la superficie (figura 12) con un nivel de similaridad del 60%, se observó un agrupamiento del 85% de las estaciones.

También se encontró que la agrupación más similar en superficie correspondió al muestreo realizado en el mes de marzo, siendo las estaciones GC y GN ubicadas en la parte central externa del Golfo las más similares (94.25%) y la menos similar fue PSB (84.39%). La época de transición representada en el mes de julio mostró una asociación del 75,15%, diferenciando estaciones costeras de estaciones alejadas de la costa, característica que permite evidenciar la influencia de fuentes continentales sobre cada lugar estudiado. También se observó que noviembre, época en la cual finalizan las lluvias fue más similar con marzo, que julio y septiembre.

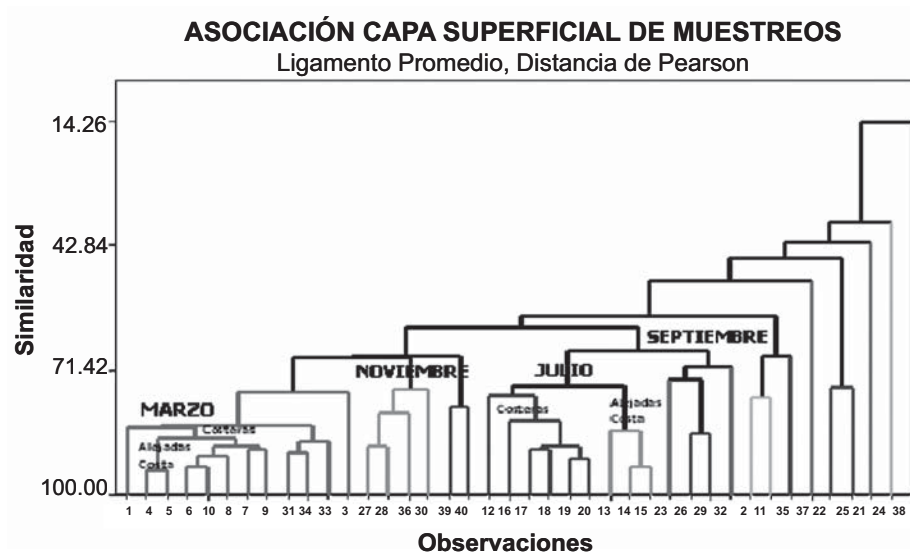


Figura 12. Análisis de agrupamiento espaciotemporal de estaciones en la capa superficial en el Golfo de Morrosquillo.

En la capa media (figura 13) durante el estudio fue posible evidenciar la estacionalidad de las características fisicoquímicas del Golfo, observándose la asociación de las estaciones en 3 *clúster*, con un nivel de similaridad del 54.86 %. En esta profundidad a diferencia de la superficie (figura 12) se observó que la época diferente correspondió a la de transición, siendo ésta la última en agruparse. En esta capa las estaciones más similares (91%) durante todo el estudio fueron PB y BC, ubicadas en el sector costero sur del Golfo, esta similaridad puede estar relacionada con la cercanía entre las dos estaciones y por la influencia del Sinú y de la Bahía de Cispatá.

Por el contrario, las más diferentes correspondieron a las ubicadas en el centro del Golfo, frente a Tolú y la DAC, la dos última afectadas directamente por las descargas continentales, lo cual pudo ser la causa para que se observaran características fisicoquímicas diferentes. Al igual que en la superficie, se evidenció la agrupación de estaciones ubicadas cerca al margen costero en grupos diferentes de las ubicadas en la parte central externa del Golfo, de manera que se manifiesta la influencia de actividades antropogénicas sobre la variabilidad fisicoquímica de los puntos estudiados.

red in September and BC station was monitored in November. Of the three months, September and November were clustered with a similarity of 81.49%. Likewise, it was found that this cluster also encompassed coastal stations offshore or located in the outer central part of the Gulf.

Another cluster encompassed 15 stations, of which 10 were monitored in July and five were monitored in

September. In so doing, this cluster grouped stations of the transition season in the area, showing thereby very similar characteristics between the stations (DAC) and Tolu, and between SAA and FMSP, PB being the station with highest difference. This shows how the physical dynamics and the influence of continental sources have an impact on the physicochemical variability of the Gulf of Morrosquillo.

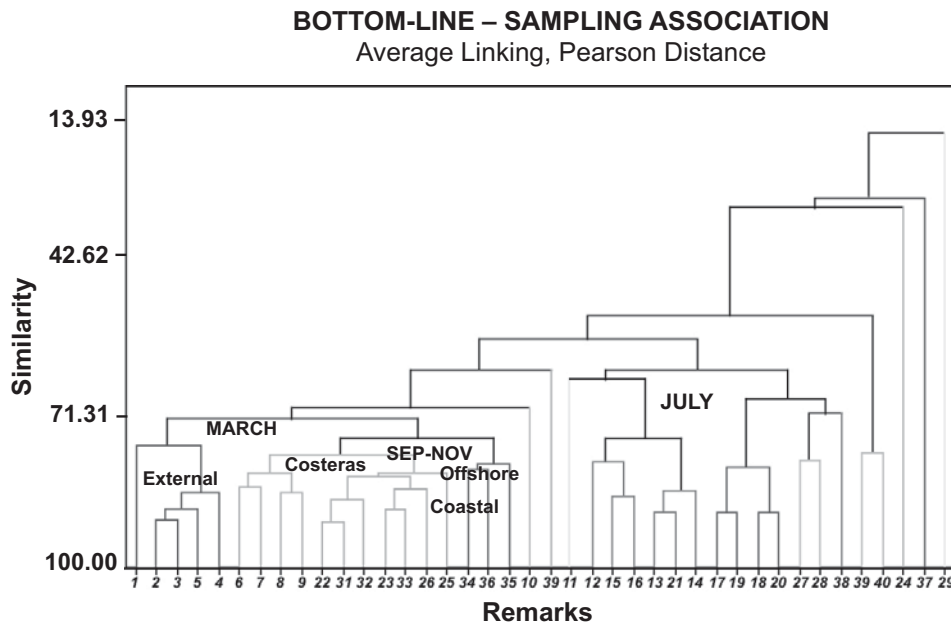


Figure 13. Time – Space clustering analysis of stations in the middle layer in the Gulf of Morrosquillo.

In general terms, seasonality may be observed in the physicochemical parameters evaluated during the field visits in the survey area, and reflected in the behavior of the variables and stations, which were clustered according to the surveying period. It is noteworthy that it was also found that the most dissimilar stations throughout the sampling period in the middle layer corresponded to Golfo Centro (GC), Tolu and DAC. The last two stations were affected by continental runoffs and the first station was directly influenced by the dynamics of the Caribbean Sea. Thus, characteristics such as inland water contribution and the influence of ocean features may be the cause of this low level of clustering.

In the bottom layer (figure 14), as well as in the middle layer, the physicochemical characteristics studied were clustered in the same way, bringing together first and

foremost the stations surveyed during the month of March, then grouping stations in March, September and November and finally forming a less similar cluster wherein the sampling carried out as of July prevailed. Thus, the first group encompassed seven stations with a similarity of 79.83%, and with stations TLU1 and GC being the most similar (92%). Similarly to the case of the middle layer, a sub-cluster was formed with coastal stations, which differed from others located further from the shoreline in deeper waters, also identified as outer central sector of the Gulf. TLU1 station, which was sampled in July, also joined this cluster and became thus the last station to be included in the cluster.

The next cluster encompassed 17 stations, two more stations in relation to the middle layer. The stations of this group corresponded to the sampling carried out

El segundo grupo del clúster asoció a 11 estaciones, mostrando similitud entre éstas, tanto en marzo (4 estaciones) como en septiembre (3 estaciones) y noviembre (3 estaciones), esta agrupación deja ver la influencia de las lluvias en la región, las cuales se extienden hasta el mes de noviembre.

En este período se observó que las estaciones más

similares fueron PB y BC, la primera monitoreada en septiembre y la segunda en noviembre. De los tres meses, septiembre y noviembre se agruparon con una similitud del 81.49%. De igual forma se encontró que en este grupo también se unieron estaciones costeras separadas de estaciones alejadas de la costa o ubicadas en la parte central externa del golfo.

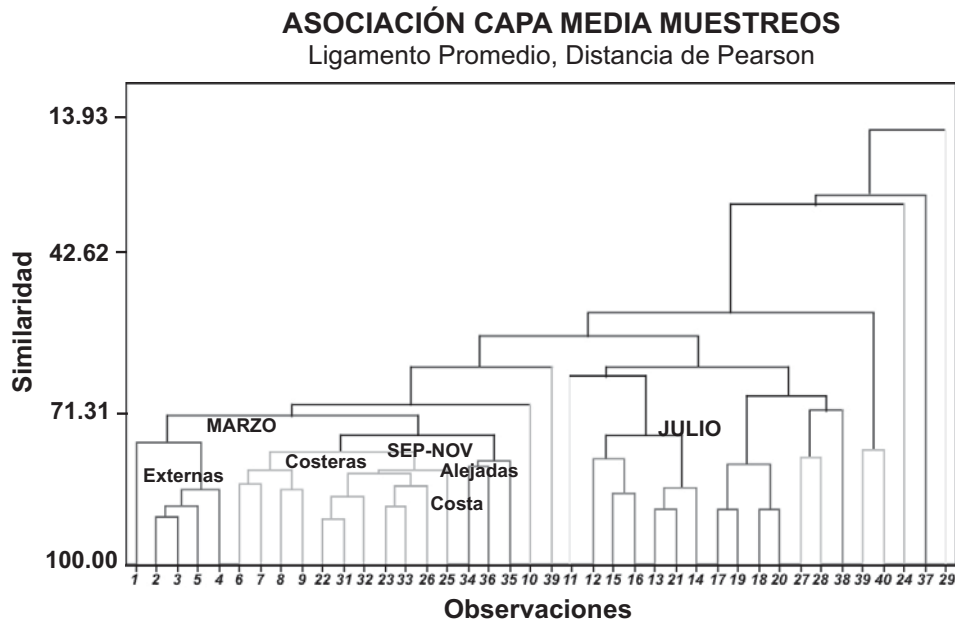


Figura 13. Análisis de agrupamiento espaciotemporal de estaciones en la capa media en el Golfo de Morrosquillo.

Otro grupo asoció 15 estaciones, de las cuales 10 fueron monitoreada en julio y cinco en septiembre. De manera que este grupo, unió estaciones de la época de transición en la zona, observándose características muy similares entre las estaciones (DAC) y Tolú, así como entre DAA y FMSP, siendo la estación más diferente PB. Lo anterior muestra, cómo la dinámica física y la influencia de fuentes continentales afectan la variabilidad fisicoquímica del Golfo de Morrosquillo.

En términos generales puede observarse la estacionalidad en los parámetros fisicoquímicos evaluados durante las visitas a campo en el área de estudio, viéndose reflejado en el comportamiento de las variables y estaciones, las cuales se asociaron de acuerdo con el período estudiado. Cabe mencionar que también se encontró que las estaciones más disímiles durante todo

el período de muestreo para la capa del medio correspondieron a la del Golfo Centro (GC), Tolú y DAC, las dos últimas afectadas por descargas continentales y la primera directamente influenciada por la dinámica del Mar Caribe. De este modo, características particulares como aporte de aguas continentales e influencia de características oceánicas, pueden ser la causa de este bajo nivel de asociación.

En la capa de fondo (figura 14) al igual que en la capa del medio, las características fisicoquímicas estudiadas se asociaron de la misma forma, agrupando en primer lugar las estaciones monitoreadas durante el mes de marzo, uniéndose luego estaciones de marzo, septiembre y noviembre y por último formando una agrupación menos similar donde predominó el muestreo realizado en el mes de julio. De este modo el primer grupo unió a

in March, September and November; for this reason it is reaffirmed that the influence of the rainy season is maintained in the bottom layer in most of the stations. Unlike the first cluster and the middle layer, in this second cluster both stations located in the outer core and stations located offshore were included indistinctly. This shows greater homogeneity in the physicochemical va-

riability of the bottom layer during most of the year. In this March – September – November arrangement, the Tolu and FMSP stations were most similar (94.43%); their proximity and influence from port and inland activities could explain the degree of linear association between these two stations.

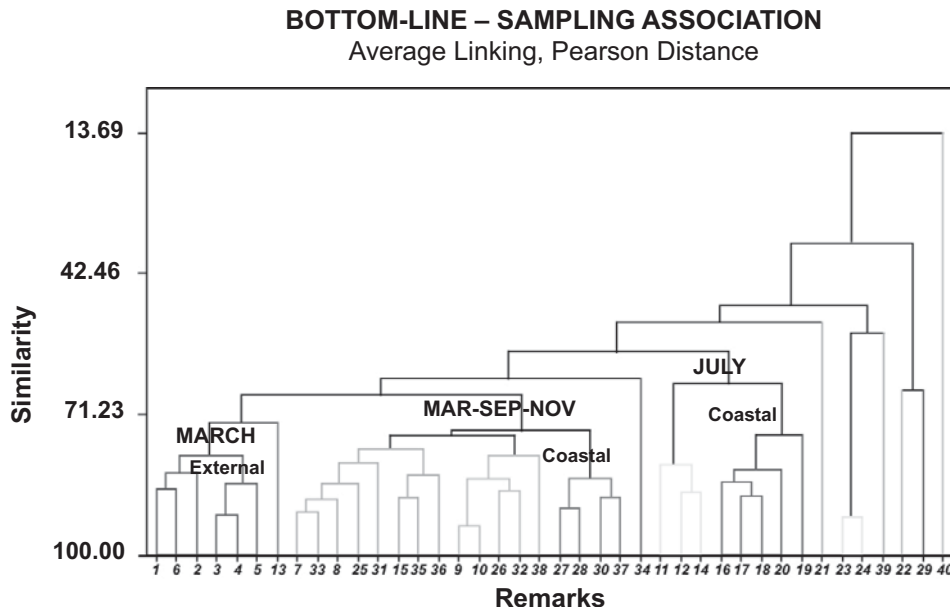


Figure 14. Time – Space clustering analysis of stations in the bottom layer in the Gulf of Morrosquillo.

Unlike the middle layer, the transition season (July) clustered one less station. During the aforementioned season, the PSB and DAA stations were most similar, followed by the DAC and FMSP stations, all located near the coastline and affected by human activities. In this cluster, the stations with lowest degree of linear association were the PB and BC stations, located on the southwest side of the Gulf. The separation of these stations from the cluster may be related to their similar location and physical – dynamic influence due to their proximity.

DISCUSSION

Taking the data on [22,25] as a reference, this study found temperatures below reference temperatures, with an average of 29.65 °C. It was identified that the

lowest values corresponded to the dry season (28.34 °C), followed by the transition season (30.1° C) and finally the rainy season with 30.29 °C. The difference between the data reported by [22, 25] and this study can be explained by the variability of data among years or the water layers assessed, inter alia. It is worth mentioning that in both studies the variability of the parameter according to the period of study can be evidenced.

With regard to salinity, [22,25] reported values between 25.9 and 36.4 with an average of 30.3. Salinity in this study ranged from 26.7 to 35.4, with an average of 31.21. Therefore, one a system with predominantly estuarine characteristics can be observed. However, as explained above, a remarkable decrease in salinity can be observed during the rainy season, particularly in the surface layers.

siete estaciones con una similaridad del 79.83%, siendo las estaciones TLU1 y GC las más similares (92%). Al igual que en la capa del medio, se formó una subagrupación de estaciones costeras, las cuales se diferenciaron de otras ubicadas más lejos de la línea de costa en agua más profundas, también identificado como sector centro externo del Golfo. A este grupo se unió la estación TLU1 muestreada en julio, siendo la última en asociarse.

La siguiente agrupación reunió 17 estaciones, dos más con respecto a la capa del medio. Las estaciones de este grupo correspondieron a muestreos de marzo, septiembre y noviembre, razón por la cual se reafirma que

en la capa de fondo se mantiene la influencia de la época de lluvias sobre la mayoría de las estaciones. A diferencia de la primera agrupación y de la capa del medio, en esta segunda agrupación se asociaron tanto estaciones ubicadas en la parte central externa, como cercanas a la costa indistintamente. Lo anterior, muestra una mayor homogeneidad en la variabilidad fisicoquímica de la capa de fondo durante la mayor parte del año. En este ordenamiento marzo-septiembre-noviembre, las estaciones Tolú y FMSP fueron las más similares (94.43%), su cercanía e influencia de actividades portuarias y continentales podrían explicar el grado de asociación lineal entre estas dos estaciones.

ASOCIACIÓN CAPA DE FONDO - MUESTREOS

Ligamento Promedio, Distancia de Pearson

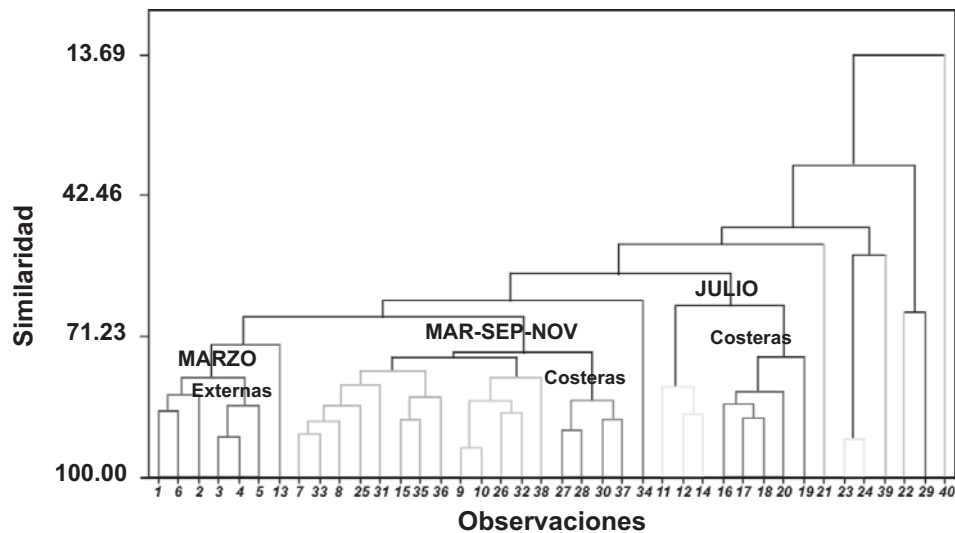


Figura 14. Análisis de agrupamiento espacio-temporal de estaciones en la capa de fondo en el Golfo de Morrosquillo.

A diferencia de la capa del medio, la época de transición (julio) agrupó una estación menos. Siendo para esta época las estaciones más similares la PSB y DAA, seguidas de DAC y FMSP todas ubicadas cerca a la línea de costa y afectadas por actividades antrópicas. En este grupo, las estaciones que presentaron menor grado de asociación lineal fueron PB y BC ubicadas en el costado suroeste del Golfo, su separación del grupo puede estar relacionada con la ubicación e influencia de características fisiodinámicas semejantes, dada su proximidad.

DISCUSIÓN

Tomando como referencia la información de la [22,25], el presente estudio encontró temperaturas por debajo de éstas, cuyo promedio fue de 29.65°C. Se identificó que los valores más bajos correspondieron a la época seca (28.34°C), seguida de la temporada de transición (30.1 °C) y por último de lluvias con (30.29°C). La diferencia entre los datos reportados por [22, 25] y los de este estudio, puede explicarse por la variabilidad de los datos entre años o las capas de agua evaluadas,

pH in the gulf reported variations between 7.2 and 8.7, with an average of 8.0 between 2002 and 2008, corresponding to the transition period (June), the highest average value (8.2), followed by the dry season (8.1) and finally the rainy season (7.9). By contrast, the average throughout the period for the current study was 8.32, with a range of variation between 8.0 and 8.6. The latter best meets the limits for the preservation of flora and fauna as the national standard. It should however be noted, as with temperature and other parameters, that reference data have been originated in different years, and their natural variability can be reflected in the intervals reported. For this reason, and given the greater amount of data from Red CAM, it may be stated that the values of this study are within the ranges established so far by the abovementioned network.

As regards nutrients, [22,25] reported concentrations between 0.0009 and 5.14 mg / L of PO₄, with averages during the 6 years equivalent to 0.60 mg / L. this range is far higher than in the present study (0.001 to 0.43 mg/ L), this value is above the value set forth for marine waters as determined by the Asian regulations [25] and the Cuban standard for fishing waters (0.05 mg/L) [23].

Nitrates varied along the period and the stations analyzed ranged between 0.02 and 1.54 mg/L according to [22,25]. This range of variation was narrower for this survey (0.006 and 1.22 mg/L); it is thus shown that area has inputs of nitrogen, which is an important parameter for establishing water quality, since cases of values above 0.006 mg/L, are considered detrimental to the preservation of flora and fauna, both in marine and in estuarine waters [22]. According to [22,25], ammonium ion showed variations between 2002 and 2008 ranging from 0.0005 to 0.8510 mg/L, whereas in this study concentrations between 0.0005 and 0.2148 mg/L were reported. It is worth mentioning that for the three sources ([22,25] and this study), as well as for nitrates, ammonia exceeds the maximum level (0.005 mg/L) established for the preservation of flora, fauna and fishing water.

Oxygen, another benchmark parameter for establishing water quality, varied between 4.5 and 8.7 mg/L for the area, in accordance to [22,25], whose range was lower than the range reported during this study (4.7 to 10.5 mg/L) However, these intervals indicate proper conditions for the preservation of flora and fauna in ac-

cordance with Colombian regulations. In this sense, no anoxic conditions were reported which might endanger the presence of native species of the area, by any reference sources. Similarly, it was observed that higher concentrations of oxygen in average occurred during the rainy season (7.5 mg/L), according to [22,25] and 9.6 mg/L in this study.

It is hereby indicated that, as of 2008, 31 municipalities in the Caribbean basin unloaded 57,358 ton / year of BOD₅, 136,567 ton / year of COD, 380 tons / year of inorganic nitrogen, 152 tons / year of phosphate and 13,292 ton / year of Total Suspended Solids [26]. Another source of contamination lies in the Magdalena River in the Colombian Caribbean, which contains most of the country's population. Considering the above, with the data collected by the CIOH between 2002 and 2009, an analysis of physicochemical evidence was conducted which allowed the assessment of the water quality in three major Caribbean ports of Colombia, which are further affected by maritime activities constituted another source of pollution in marine and estuarine environments.

After applying a multivariate analysis using the average linkage method with a Pearson correlation, the variables used for the analysis were standardized by having different measurement units, and it was possible to observe that associations occurred in accordance with the similarity of the characteristics of the ports, as well as the seasons during which they were studied (figure 15).

The greatest similarity was identified between the Gulf of Morrosquillo and Puerto Bolívar, with 81.5%. Of the three ports, the less similar and therefore the last port to become associated, was Cartagena Bay. This is the port with greatest contributions from river sources, domestic sewage and increased maritime traffic, characteristics which significantly influence the environmental conditions of the Bay. In addition, this port is an internal bay, with stratification levels marked in the water column, and where the exchange with the open ocean takes place in two mouths. Puerto Bolívar and the Gulf of Morrosquillo have a more direct and strong influence of oceanic waters, allowing for higher rates of dilution of continental inputs, water exchange and predominance of marine environments. This may explain the similarity between these two ports and their differences with Cartagena.

entre otros. Cabe mencionar, que en ambos estudios, se puede apreciar la variabilidad del parámetro de acuerdo con la época estudiada.

En cuanto a la salinidad, [22,25] reportaron valores entre 25.9 y 36.4 con promedio de 30,3. En el presente estudio ésta varió entre 26.7 y 35,4 con un promedio de 31,21. Por lo anterior, se puede observar un sistema de características predominantemente estuarinas. Sin embargo, como se explicó arriba, se observa durante la época de lluvias una notoria disminución de la salinidad, principalmente en las capas superficiales.

El pH en el golfo reportó variaciones entre 7.2 y 8,7 con un promedio de 8.0 entre el 2002 y 2008, correspondiendo a la época de transición (junio) el valor en promedio más alto (8.2), seguido de la época seca (8.1) y por último la de lluvias (7.9). Por el contrario, para el presente estudio el promedio de todo el periodo fue de 8.32, con un intervalo de variación entre 8.0 y 8.6. El cual se ajusta mejor a los límites establecidos para la preservación de la flora y la fauna según la norma nacional. Sin embargo, es preciso indicar al igual que con la temperatura y los demás parámetros, que los datos de referencia se originan de distintos años, cuya variabilidad natural puede reflejarse en los intervalos reportados. Por lo anterior y dada la mayor cantidad de datos de la Red CAM, puede indicarse que los valores del presente estudio se encuentran dentro de los intervalos establecidos hasta ahora por esta red.

En cuanto a los nutrientes, [22,25] registraron concentraciones entre 0.0009 y 5.14 mg/L de PO₄, con promedios durante los 6 años de 0.60 mg/L, intervalo muy por encima del registrado en el presente estudio (0.001 a 0.43 mg/L), valor por arriba del establecido para las aguas marinas según la norma Asiática [25] y de la norma cubana para agua de uso pesquero (0.05 mg/L) [23].

Los nitratos, variaron a lo largo del período y las estaciones analizadas entre 0.02 y 1.54 mg/L según [22,25]. Para este estudio este intervalo de variación fue más estrecho (0.006 y 1.22 mg/L), de manera que se demuestra para el área aportes de nitrógeno, el cual es un parámetro importante para establecer la calidad del agua, ya que en el caso de los valores por arriba de 0.006 mg/L, se consideran perjudiciales para la preservación de flora y fauna, tanto de aguas marinas como estuarinas [22]. Según la [22,25] el ion amonio, entre el 2002 y 2008 registró variaciones entre 0.0005 y 0.8510 mg/L, en tanto que en este estudio se reportaron concentraciones entre 0.0005 y 0.2148 mg/L. Cabe mencionar que para las

tres fuentes ([22,25] y este estudio) al igual que para los nitratos, el amonio sobrepasa el nivel máximo establecido (0.005 mg/L) para la preservación de flora, fauna y para el uso de aguas pesqueras.

El oxígeno, otro parámetro de referencia para establecer la calidad del agua, varió entre 4.5 y 8.7 mg/L para el área según [22,25], cuyo intervalo fue más bajo que el reportado durante este estudio (4.7 a 10.5 mg/L). Sin embargo, estos intervalos indican condiciones adecuadas para la preservación de la flora y la fauna según la norma colombiana. En tal sentido, no se reportaron condiciones de anoxia que pongan en riesgo la presencia de especies propias del área, por ninguna de las fuentes de referencia. De igual forma se observó que las mayores concentraciones de oxígeno en promedio se presentaron durante la época de lluvias, 7.5 mg/L según [22,25] y 9.6 mg/L en este estudio.

Se indica que en el 2008, 31 municipios de la cuenca del Caribe descargaron 57358 ton/año de DBO₅, 136567 ton/año de DQO, 380 ton/año de nitrógeno inorgánico, 152 ton/año de fosfatos y 13292 ton/año de sólidos suspendidos totales [26]. Otra fuente de contaminación corresponde al río Magdalena en el Caribe colombiano, el cual contiene la mayor parte de la población del país. Considerando lo anterior, con la información colectada por el CIOH entre el 2002 y 2009, se realizó un análisis de la información fisicoquímica que permitió evidenciar la calidad de las aguas en tres de los principales puertos del Caribe colombiano, afectados además por las actividades marítimas, constituida como otra fuente de contaminación en los ambientes marinos y estuarinos.

Después de aplicar un análisis multivariado, mediante el método de ligamiento promedio con una correlación de Pearson, donde las variables utilizadas para el análisis fueron estandarizadas por poseer unidades de medida diferente, fue posible observar que las asociaciones se dieron de acuerdo con la similitud de las características de los puertos y las épocas en que fueron estudiados (figura 15).

La mayor similaridad se presentó entre el Golfo de Morrosquillo y Puerto Bolívar con un 81.5%. De los tres puertos, el menos similar y por tanto el último en asociarse, fue la Bahía de Cartagena. Ésta es la que presenta mayores aportes por fuentes fluviales, aguas residuales domésticas y mayor tráfico marítimo, características que influyen notablemente en las condiciones ambientales de la Bahía. Sumado a lo anterior, es una Bahía interna, con niveles de estratificación marcados en la columna

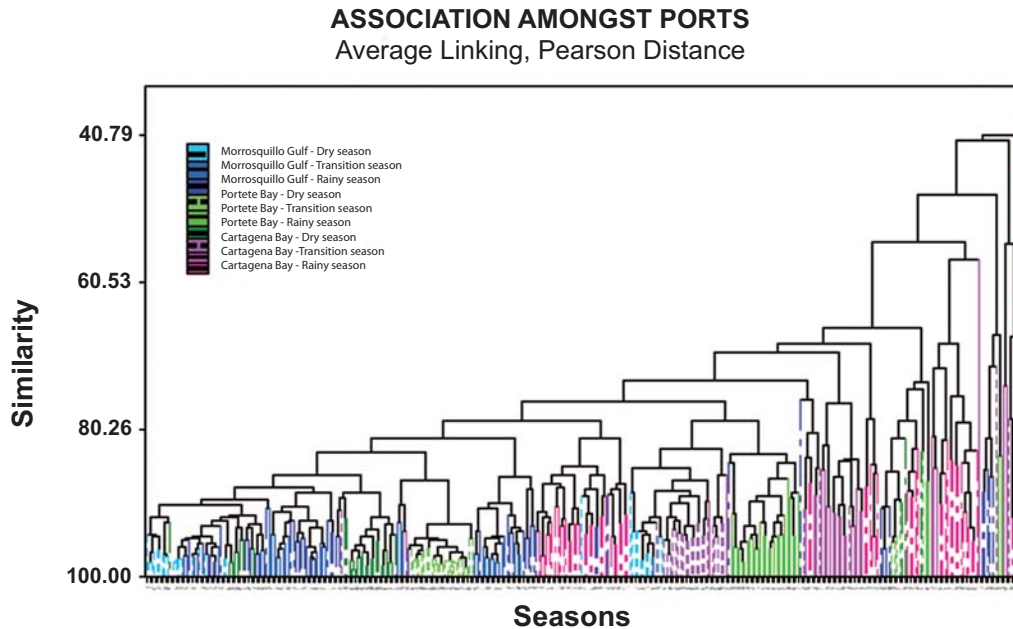


Figure 15. Time – Space clustering analysis of the Gulf of Morrosquillo (blue), Bahía Portete (green) and Bahía de Cartagena (purple).

Among the three ports, it was observed that the dry season in the Gulf of Morrosquillo, Cartagena, and the transition season in Bahía Portete, are clustered with a similarity of 79.12%. This association is interesting, since it in a way evidences how the climatic characteristics of the region are reflected in the assessment of spatially isolated ports. The cluster could be explained thus: the months during which the sampling was carried out corresponded to months during which the dry season subsides in order to start transition towards the era of low rainfall and light winds for the season of heavy rain.

The clusters also reveal the seasonality of each of the areas studied, showing the separation of stations typical of the dry season, the separation of the rainy season and the transition season, this in correspondence to the weather described for the Colombian Caribbean.

On the other hand, it was possible to perform the assessment of water quality of 15 ballast tanks, belonging to 7 international maritime traffic ships. As in the gulf,

the same physicochemical, biological and microbiological parameters were evaluated in the tanks.

The ballast water temperature ranged from 25.8 to 31.3 °C, significantly lower than the temperature reported for stations sampled during the period. It is considered that these temperatures do not affect the normal development of biological or microbiological communities (table 1).

Salinity ranged from 28.2 to 36.8, showing only one tank with salinity below 30. These values allow the identification of waters with marine features, as established by the regulations. In the case of the ships Eric Spirit and Erica Lexle, which were monitored during the month of July (yellow), the ships report water exchange as an onboard activity; water is originally collected at U.S. ports in Wider Caribbean waters. With the value of salinity recorded for these two vessels, the management documented by the ship's crew was evidenced as per format A868.

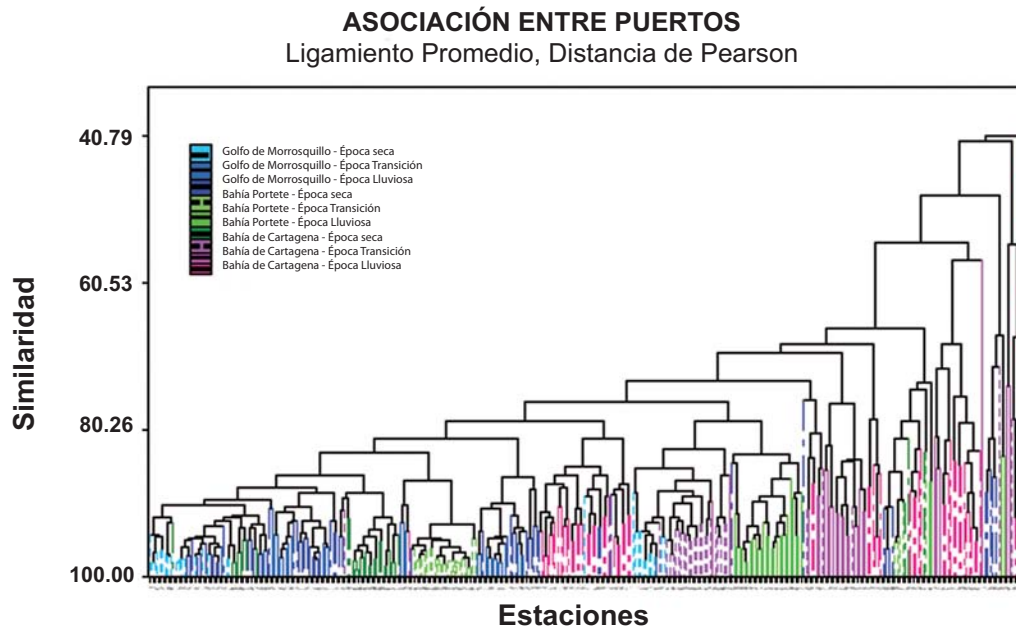


Figura 15. Análisis de agrupación espacio-temporal de Golfo de Morrosquillo (azul), Bahía Portete (verde) y Bahía de Cartagena (violeta).

de agua y donde el intercambio con el océano abierto se da por dos bocas. Puerto Bolívar y el Golfo de Morrosquillo, tienen una influencia más directa y marcada de aguas oceánicas, permitiendo mayores tasas de dilución de los aportes continentales, recambio de aguas y predominancia de ambientes marinos. Lo anterior, puede explicar la similitud entre estos dos puertos y las diferencias con Cartagena.

Entre los tres puertos, se observó que la época seca del Golfo de Morrosquillo, Cartagena y la de transición de Bahía Portete, se agrupan con una similitud del 79.12%. Esta asociación es interesante porque, de alguna forma, deja ver cómo las características climáticas de la región se reflejan en la evaluación de puertos aislados espacialmente. La agrupación podría explicarse, porque los meses en los que se realizó el muestreo, correspondieron a meses en que finaliza la época seca para hacer la transición a la época de pocas lluvias y de vientos débiles para la época de lluvias fuertes.

Las agrupaciones dejan ver además la estacionalidad de cada una de las áreas estudiadas, mostrando la separación de estaciones características de la época seca, de la de lluvias y de la de transición, lo anterior en co-

rrespondencia a la climatología descrita para el Caribe colombiano.

De otro lado, fue posible realizar la evaluación a la calidad del agua de lastre de 15 tanques, pertenecientes a 7 buques de tráfico internacional marítimo. Al igual que en el Golfo, en los tanques se evaluaron los mismos parámetros fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos.

La temperatura del agua de lastre, varió entre 25.8 y 31.3°C, siendo estos valores más bajos que los reportados para las estaciones durante el período muestreado. Se considera que estas temperaturas no afectan el normal desarrollo de comunidades biológicas ni microbiológicas (tabla 1).

La salinidad varió entre 28.2 y 36.8, observándose solamente un tanque con salinidad por debajo de 30. Estos valores, permiten evidenciar aguas de características marinas, conforme lo establece la norma. En el caso de los buques Eric Spirit y Erica Lexle monitoreados durante el mes de julio (amarillo), los buques reportan como gestión a bordo el intercambio del agua originalmente tomada en puertos de Estados Unidos en aguas del Gran Caribe. Con el valor de salinidad registrado para estos dos buques, se evidenció la gestión documentada por la tripulación del buque en el formato A868.

Table 1. Physicochemical parameters found in the ballast tanks of ships which arrived in the Gulf of Morrosquillo.

Ship	Temp.	Sal.	Turbidez	pH	NO3	NO2	NH4	PO4	OD	SST	Chla
ALEX SPIRIT	31.3	33.5	0.63	8.31	0.0105	0.0007	0.0247	0.0093		12.2	0.2136
ALEX SPIRIT	31.3	33.5	1.02	8.31	0.0126	0.0007	0.0178	0.0093		10.2	0.0001
NS COLUMBUS	30.7	30.6	1.12	8.25	0.5123	0.0007	0.0512	0.0093		7.2	0.0001
NS COLUMBUS	31.0	28.2	0.85	8.16	0.6816	0.0014	0.0769	0.1367		6.2	0.0001
GOLF LOAST	29.0	34.3	0.39	7.80	0.0070	0.0007	0.0289	0.0280	7.65	15.7	0.1335
GOLF LOAST	29.4	34.6	0.51	8.05	0.0098	0.0007	0.0362	0.0300	8.24	10.5	0.2670
ERIC SPIRIT	29.5	34.2	0.56	8.16	0.0268	0.0007	0.0390	0.0210	6.15	7.0	0.5340
ERIC SPIRIT	29.5	34.4	0.43	8.23	0.0248	0.0007	0.0126	0.0160	6.82	5.3	0.0001
ENRICA LEXLE	29.2	34.5	0.57	8.21	0.1213	0.0007	0.0308	0.0130	4.68	0.3	0.3204
3WBP	30.1	35.4	3.25	8.28	0.0065	0.0007	0.0008	0.0630		13.2	0.4806
2WBS	30.2	35.1	6.55	8.37	0.0065	0.0007	0.0009	0.0320		14.5	0.1335
KAYEEMA SPIRIT	25.8	35.8	0.75	8.44	0.0364	0.0032	0.0291	0.0370	8.28	14.3	0.0001
KAYEEMA SPIRIT	26.0	36.8	0.79	8.44	0.0607	0.0026	0.0263	0.0050	8.25	10.7	0.0267
CHESTRANS LYRA		36.2	0.73	8.33	0.0403	0.0025	0.0025	0.0170	8.42	4.8	0.0267
CHESTRANS LYRA		36.4	0.71	8.35	0.0303	0.0050	0.0065	0.0100	8.53	4.8	0.0267
Min	25.8	28.2	0.40	7.80	0.0065	0.0007	0.0008	0.0050	4.70	0.3	0.0000
Max	31.3	36.8	6.60	8.40	0.6816	0.0050	0.7690	0.1367	8.50	15.7	0.5340
Prom.	29.5	34.2	1.30	8.20	0.1058	0.0014	0.0718	0.0291	7.40	9.1	0.1440

Total Suspended Solids values well below those reported for the Gulf were found in the tanks; considering that they are closed systems and the sampling is made in the surface layers of the tank, the normal value is reduced. Only one vessel had concentrations equivalent to 15.7 mg/L.

Ballast water pH ranged from 7.4 to 8.4; these values were mostly established within the normal range for sea water of the open ocean [27]. It was observed that only one tank exceeds of such limits. Overall, it can be stated that the parameter meets the national regulation both for secondary contact recreation (5.0 to 9.0), and for flora and fauna (6.5 to 8.5 pH units) [21].

With regard to nutrients it was observed that, with the exception of nitrite, other forms of nitrogen (ammonium and nitrate) and orthophosphate, were above or at similar levels to the average concentrations reported for the Gulf. Hence, the environment offers the right conditions for the sustenance of living species which can be transported in tanks. However, it is necessary to deepen on the matter in forthcoming studies, so as to demonstrate the real impact that the discharge of elevated concentrations of such substances can have on the system, should the discharge frequency be high.

Similar to the case of nutrients adequate oxygen

concentrations were found in the tanks for the sustenance of organisms, observing thereby concentrations between 4.7 and 8.5 mg/L and ruling out anoxic conditions in the tanks.

It was possible to observe concentrations of chlorophyll a between 0.0001 and 0.5341 mg/L, construing the presence of live phytoplankton species, given the concentrations recorded. However, frequency of and abundance in discharges is to also be considered, as well as the origin of the water, before inferring the risk of introduction of species into areas like the Gulf of Morrosquillo, in accordance with [28].

Conclusions

The Gulf of Morrosquillo responds to the climatic conditions in the Caribbean region, showing seasonality in its physicochemical parameters which are in turn reflected in an increase or decrease of concentrations, according to the climatic period studied.

It was found that the physicochemical conditions in the ballast tanks of ships, with the exception of nutrients, are within the limits established for the preservation of flora and fauna in accordance with the Colombian regulation. However, it is necessary to assess the

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos encontrados en los tanques de lastre de buques que arribaron al Golfo de Morrosquillo.

Buque	Temp.	Sal.	Turbidez	pH	NO3	NO2	NH4	PO4	OD	SST	Chla
ALEX SPIRIT	31.3	33.5	0.63	8.31	0.0105	0.0007	0.0247	0.0093		12.2	0.2136
ALEX SPIRIT	31.3	33.5	1.02	8.31	0.0126	0.0007	0.0178	0.0093		10.2	0.0001
NS COLUMBUS	30.7	30.6	1.12	8.25	0.5123	0.0007	0.0512	0.0093		7.2	0.0001
NS COLUMBUS	31.0	28.2	0.85	8.16	0.6816	0.0014	0.0769	0.1367		6.2	0.0001
GOLF LOAST	29.0	34.3	0.39	7.80	0.0070	0.0007	0.0289	0.0280	7.65	15.7	0.1335
GOLF LOAST	29.4	34.6	0.51	8.05	0.0098	0.0007	0.0362	0.0300	8.24	10.5	0.2670
ERIC SPIRIT	29.5	34.2	0.56	8.16	0.0268	0.0007	0.0390	0.0210	6.15	7.0	0.5340
ERIC SPIRIT	29.5	34.4	0.43	8.23	0.0248	0.0007	0.0126	0.0160	6.82	5.3	0.0001
ENRICA LEXLE	29.2	34.5	0.57	8.21	0.1213	0.0007	0.0308	0.0130	4.68	0.3	0.3204
3WBP	30.1	35.4	3.25	8.28	0.0065	0.0007	0.0008	0.0630		13.2	0.4806
2WBS	30.2	35.1	6.55	8.37	0.0065	0.0007	0.0009	0.0320		14.5	0.1335
KAYEEMA SPIRIT	25.8	35.8	0.75	8.44	0.0364	0.0032	0.0291	0.0370	8.28	14.3	0.0001
KAYEEMA SPIRIT	26.0	36.8	0.79	8.44	0.0607	0.0026	0.0263	0.0050	8.25	10.7	0.0267
CHENTRANS LYRA		36.2	0.73	8.33	0.0403	0.0025	0.0025	0.0170	8.42	4.8	0.0267
CHENTRANS LYRA		36.4	0.71	8.35	0.0303	0.0050	0.0065	0.0100	8.53	4.8	0.0267
Min	25.8	28.2	0.40	7.80	0.0065	0.0007	0.0008	0.0050	4.70	0.3	0.0000
Max	31.3	36.8	6.60	8.40	0.6816	0.0050	0.7690	0.1367	8.50	15.7	0.5340
Prom.	29.5	34.2	1.30	8.20	0.1058	0.0014	0.0718	0.0291	7.40	9.1	0.1440

En los tanques se encontraron valores de sólidos suspendidos totales muy por debajo de los reportados para el Golfo, considerando que son sistemas cerrados y las tomas de muestras se realizan en las capas superficiales del tanque, este valor es normal que disminuya. Solamente un buque registró concentraciones de 15.7 mg/L.

El pH del agua de lastre varió entre 7.4 y 8.4, valores en su mayoría establecidos dentro del rango normal para aguas de mar del océano abierto [27], se observó que solamente un tanque se sale de dichos límites. En términos generales, puede indicarse que el parámetro cumple con la norma nacional tanto para fines recreativos de contacto secundario (entre 5.0 a 9.0), como para flora y fauna (6.5 a 8.5 unidades de pH) [21].

En cuanto a los nutrientes pudo observarse que con excepción de los nitritos, las demás formas de nitrógeno (amonio y nitratos) y los ortofosfatos, estuvieron por arriba o en niveles similares a las concentraciones promedio reportadas para el Golfo. De manera que el medio ofrece las condiciones adecuadas, para el sostenimiento de especies vivas que puedan ser transportadas en los tanques. Sin embargo, es necesario profundizar en estudios posteriores, para evidenciar el impacto real que pueda generar en el sistema la descarga de concentraciones elevadas de este tipo de sustancias, si la frecuencia de descarga es alta.

Al igual que para los nutrientes se observaron concentraciones de oxígeno adecuadas en los tanques para el sostenimiento de organismos, observándose concentraciones entre 4.7 y 8.5 mg/L, desestimando condiciones de anoxia en los tanques.

Fue posible observar concentraciones de clorofila-a entre 0.0001 y 0.5341 mg/L, deduciendo la presencia de especies de fitoplancton vivo, dadas las concentraciones registradas. Sin embargo también se debe considerar la frecuencia de descarga y abundancia, así como la procedencia del agua, antes de inferir el riesgo de introducción de especies en áreas como el Golfo de Morrosquillo, en concordancia con [28].

Conclusiones

El Golfo de Morrosquillo responde a las condiciones climáticas de la región Caribe, observándose estacionalidad de los parámetros fisicoquímicos, evidenciados en aumento o disminución de las concentraciones, de acuerdo con el período climático estudiado.

En los tanques de lastre de los buques se encontró que las condiciones fisicoquímicas con excepción de los nutrientes, están dentro de los límites establecidos para la preservación de flora y fauna según la norma colom-

impact caused by frequent discharges of waters with nutrient concentrations above those reported in the survey area, as it is widely known that these inorganic forms can contribute to the eutrophication of water bodies.

It is necessary to extend the study to pollutant parameters such as dissolved and dispersed hydrocarbons, cadmium, lead, and organochlorine pesticides, in order to assess the quality of coastal marine water bodies in the country in terms of the Marine Environmental Quality Index, considering that the physicochemical block does not allow the individual and real identification of the degree of impact on water quality.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- [1] Anil, A.C. *et al.* Marine bioinvasion: Concern for ecology and shipping. *Current Science*. Vol. 83, No 3, August 10. Pp 214- 217. 2002.
- [2] Cañón-Páez, M., G. Tous, I. Castro, D., Quintana, R., López, F., Orozco. Caracterización fisicoquímica, microbiológica y zooplanctónica del agua de Bahía Portete, Puerto Bolívar y de lastre de buques (Physicochemical, microbiological and water zooplankton Portete Bay, Port Bolivar and ballast of ships). In: *Memorias Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar*. San Andrés Island. 319 pages. 2008.
- [3] Cañón-Páez, M., G. Tous, K. López, R. López, F- Orozco. Variación espacio- temporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico en la Bahía de Cartagena (Time – Space variation of physical-chemical components, zooplankton and microbiology in the Bay of Cartagena). In *Boletín Científico CIOH*. N° 25, Cartagena – Colombia. Pages 120-134. 2007.
- [4] Suarez-Villalba, V., A. Franco-Herrera y M. Cañón-Páez. El microfitorplancton en los principales muelles de la Bahía de Cartagena, caribe colombiano, vectores posibles de floraciones microalgales (Microphytoplankton in the main docks of the Bay of Cartagena, Colombian Caribbean, possible vectors of microalgal blooms). In *Boletín Científico CIOH*. N° 25, Cartagena – Colombia. Pages 135-149. 2007.
- [5] Cañón-Páez, M., T., Vanegas, M., Gavilán, L., Morris & G. Tous. Dinámica planctónica, microbiológica y fisicoquímica en cuatro muelles de la Bahía de Cartagena y buques de tráfico internacional (Plankton dynamics, physicochemical and microbiological four docks of Cartagena Bay and ships in international traffic). In: *Boletín científico* N° 23. Pages 46-59. 2005.
- [6] Gavilán M, M., Cañón, G. Tous. Comunidad Fitoplanctónica en la Bahía de Cartagena y en el agua de lastre de buques de tráfico Internacional (Phytoplankton community in the Bay of Cartagena and the ballast water of ships in international traffic). In *Boletín Científico CIOH*. N° 23. Cartagena – Colombia. Pages 46-59. 2005.
- [7] Rondón-Delgado, S., T, Vanegas, P., Tigreros. Sampling Ballast Water for Pathogens: The Colombian approach. In: *Globalballast monograph series* N° 9. 1st International Workshop on guidelines and standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil. Pages 46-55. 2003.
- [8] Cañón-Páez, M. Primeros avances, caso Colombia (First Steps, the Colombian Case). Pages 73-108. En *DIMAR-CIOH.2009. Dossier para el control y la gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques en Colombia*. Dirección General Marítima- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Ed. DIMAR, Serie Publicaciones Especiales CIOH Vol.3. ISBN: 978-958-9976-2-7. Cartagena de Indias, Colombia, 116 pp. 2009.
- [9] INVEMAR. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia - REDCAM (Diagnosis and evaluation of marine environmental quality in the Colombian Caribbean and Pacific. Surveillance network for the conservation and protection of marine and coastal waters of Colombia – REDCAM). Informe técnico. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras 'José Benito Vives de Andrés'- INVEMAR- Santa Marta Colombia. 263 Pp. 2003.
- [10] American Public Health Association). *Standard Methods for Examination of water and wastewater*. 21th edition. 1998.
- [11] Parsons T.R., Y. Maita and C.M. Lalli A *Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. First edition 1984, reprinted in 1985, 1989, with corrections. Great Britain.1989.
- [12] International Maritime Organization. International Conference on Water Management for Ships. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. BWM/CONF/36 February 16, 2004. 2004.
- [13] David, M & M. Percovi. Ballast Water sampling in the Republic of Slovenia. In: *Globalballast monograph series* N° 9. 1st International Workshop on guidelines and standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil. Pages 22 - 30. 2003.
- [14] Hewitt, C., C. Sutton, K Murphy & R. Martin. The CRIMP review and evaluation of ballast water sampling protocols.

biana. Sin embargo, es necesario evaluar el impacto que generan descargas frecuentes de agua con concentraciones de nutrientes por arriba de las reportadas en el área de estudio, ya que es bien conocido que estas formas inorgánicas pueden contribuir con la eutroficación de cuerpos de agua.

Es necesario ampliar el estudio a parámetros contaminantes como hidrocarburos disueltos y dispersos, cadmio, plomo, plaguicidas organoclorados, con el fin de evaluar en términos del Índice de Calidad Ambiental Marina, la calidad de los cuerpos de agua marino costeros del país. Lo anterior, considerando que el bloque fisicoquímico no permite evidenciar, por sí solo y realmente el grado de afectación de la calidad del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Anil, A.C. et al. Marine bioinvasion: Concern for ecology and shipping. *Current Science*. Vol. 83, No 3, August 10. Pp 214- 217. 2002.
- [2] Cañón-Páez, M., G. Tous, I. Castro, D., Quintana, R., López, F., Orozco. Caracterización fisicoquímica, microbiológica y zooplanctónica del agua de Bahía Portete, Puerto Bolívar y de lastre de buques. En: *Memorias Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar*. San Andrés Islas. Pp 319. 2008.
- [3] Cañón-Páez, M., G. Tous, K. López, R. López, F- Orozco. Variación espacio- temporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico en la Bahía de Cartagena. En *Boletín Científico CIOH*. N° 25, Cartagena – Colombia. Pp 120-134. 2007.
- [4] Suarez-Villalba, V., A. Franco-Herrera y M. Cañón-Páez. El microfitoplancton en los principales muelles de la Bahía de Cartagena, caribe colombiano, vectores posibles de floraciones microalgales. En *Boletín Científico CIOH*. N° 25, Cartagena – Colombia. Pp 135-149. 2007.
- [5] Cañón-Páez, M., T., Vanegas, M., Gavilán, L., Morris & G. Tous. Dinámica planctónica, microbiológica y fisicoquímica en cuatro muelles de la Bahía de Cartagena y buques de tráfico internacional. En: *Boletín científico* N° 23. Pp 46-59. 2005.
- [6] Gavilán M, M., Cañón, G. Tous. Comunidad Fitoplanctónica en la Bahía de Cartagena y en el agua de lastre de buques de tráfico Internacional. En *Boletín Científico CIOH*. N° 23. Cartagena – Colombia. Pp 46-59. 2005.
- [7] Rondón-Delgado, S., T, Vanegas, P., Tigreros. Sampling Ballast Water for Pathogens: The Colombian approach. In: *Globalballast monograph series N° 9*. 1st International Workshop on guidelines and standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil. Pp 46-55. 2003.
- [8] Cañón-Páez, M. Primeros avances, caso Colombia. Pp 73-108. En *DIMAR-CIOH*.2009. Dossier para el control y la gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques en Colombia. Dirección General Marítima- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Ed. DIMAR, Serie Publicaciones Especiales CIOH Vol.3. ISBN: 978-958-9976-2-7. Cartagena de Indias, Colombia, 116 pp. 2009.
- [9] INVEMAR. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia-REDCAM. Informe técnico. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras 'José Benito Vives de Andrés'- INVEMAR- Santa Marta Colombia. 263 Pp. 2003.
- [10] American Public Health Association). *Standard Methods for Examination of water and wastewater*. 21th edition. 1998.
- [11] Parsons T.R., Y. Maita and C.M. Lalli A *Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Primera Edición 1984, reimpressa en 1985, 1989, con correcciones. Gran Bretaña. 1989.
- [12] Organización Internacional Marítima. Conferencia Internacional sobre la gestión del agua de lastre para buques. Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques. BWM/CONF/36 16 Febrero 2004. 2004.
- [13] David, M & M. Percovi. *Ballast Water sampling in the Republic of Slovenia*. In: *Globalballast monograph series N° 9*. 1st International Workshop on guidelines and standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil. Pp 22-30. 2003.
- [14] Hewitt, C., C. Sutton, K Murphy & R. Martin. The CRIMP review and evaluation of ballast water sampling protocols. In: *Globalballast monograph series N° 9*. 1st International Workshop on guidelines and standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil. Pp 18-21. 2003.
- [15] Dodgshun, T. Sampling Ships, Ballast Water. The New Zealand Experience (Or Beasts in Ballast water and how Catch Them) In: *Globalballast monograph series N° 9*. 1st International Workshop on guidelines and standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil. Pp 55-60. 2003.
- [16] Gollasch, S. German Ballast Water Sampling Manual. In: *Globalballast monograph series N° 9*. 1st International Workshop on guidelines and standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil. Pp 38-45. 2003.

- In: Globallast monograph series N° 9. 1st International Workshop on guidelines and standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil. Pages 18 - 21. 2003.
- [15] Dodgshun, T. Sampling Ships, Ballast Water. The New Zealand Experience (Or Beasts in Ballast water and how Catch Them) In: Globallast monograph series N° 9. 1st International Workshop on guidelines and standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil. Pages 55 - 60. 2003.
- [16] Gollasch, S. German Ballast Water Sampling Manual. In: Globallast monograph series N° 9. 1st International Workshop on guidelines and standards for Ballast Water Sampling. Rio de Janeiro, Brazil. Pages 38-45. 2003.
- [17] Sutton, C, K. Murphy, R. Martin, C.L. Hewitt. A Review and Evaluation of Ballast Water Sampling Protocols. Centre for Research on Introduced Marine Pests. Technical Report #18. CSIRO Marine Research, Hobart, Australia. 1998.
- [18] Barocio-León, O. Variabilidad espacial y temporal del coeficiente de absorción y pigmentos del fitoplancton en la corriente de California (Time - Space variability of the absorption coefficient and pigments of phytoplankton in the California Current). Thesis for the degree of Doctor of Science. 173 pages. 2006.
- [19] Garay-Tinoco, J., B. Marín Z. y A. Vélez. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia contaminación marino-costera en Colombia (Report of the State of Marine and Coastal Environments in Colombia coastal marine pollution in Colombia). Technical Report. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras 'José Benito Vives de Andrés'- INVEMAR- Santa Marta Colombia. Pp131. 2001.
- [20] Marín B, L. Martín, J.L. Garay, W. Troncoso, J. Betancourt, M. Gómez, J. Acosta, J. Vivas, y A. Vélez. Sistema de indicadores de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia - SISCAM (Indicator System for Marine and Coastal Water Quality in Colombia - SISCAM). Programa Calidad Ambiental Marina, Informe técnico final. INVEMAR. 184 pages. 2003.
- [21] EPD (Environmental Protection Department, Hong Kong). Water quality criteria / standards adopted in the Asia Pacific Region. Phase 1. Marine Resource Conservation Working Group Asia Pacific Economic Cooperation. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region of the People's Republic of China. 78 p. 2003.
- [22] INVEMAR. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano (Diagnosis and evaluation of marine environmental quality in the Colombian Caribbean and Pacific). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia-REDCAM. Technical Report. 301 pages. 2008.
- [23] NC: 25. Norma Cubana Obligatoria. Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero (Mandatory International Standard. Assessment of fishing water objects). Specifications. 12 pages. 1999.
- [24] Ministerio de Salud (MinSalud). Decreto No. 1594 del 26 de junio. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos (Of water and liquid waste use). 61 Pages. 1984.
- [25] INVEMAR. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano Diagnosis and evaluation of marine environmental quality in the Colombian Caribbean and Pacific. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia-REDCAM. Informe técnico. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras 'José Benito Vives de Andrés'- INVEMAR- Santa Marta Colombia. 200 pages. 2007.
- [27] CIOH. Cañón M., Tous G, Olivares M, Llamás J. López K, Palmera K, López, OR., Orozco, F., Suarez V., (Presence of exogenous organisms and pathogens in ballast water of international traffic ships). Final Report. Stage IV/V 98 pages. 2006.
- [26] Troncoso, W., L., Vivas, S., Narvaéz, L. Espinosa. La calidad ambiental marina y costera (The marine and coastal environmental quality). Pages 45 - 56. In: INVEMAR. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia. Serie de publicaciones periódicas No 8.Santa Marta. 2009; 243 pages.
- [28] GEF-PNUD-OMI. Proyecto Crear asociaciones para asistir a los países en vías de desarrollo a reducir la transferencia de organismos acuáticos nocivos en el agua de lastre de los buques (Project for Building partnerships to assist developing countries to reduce the transfer of harmful aquatic organisms in ballast water of ships) GloBallast Partnerships. 229 pages. 2007.

- [17] Sutton, C, K. Murphy, R. Martin, C.L. Hewitt. A Review and Evaluation of Ballast Water Sampling Protocols. Centre for Research on Introduced Marine Pests. Technical Report #18. CSIRO Marine Research, Hobart, Australia. 1998.
- [18] Barocio-León, O. Variabilidad espacial y temporal del coeficiente de absorción y pigmentos del fitoplancton en la corriente de California. Tesis para obtener el grado de doctor en Ciencias. 173 Pág. 2006.
- [19] Garay-Tinoco, J., B. Marín Z. y A. Vélez. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia contaminación marino-costera en Colombia. Informe técnico. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras 'José Benito Vives de Andrés'- INVEMAR- Santa Marta Colombia. Pp131. 2001.
- [20] Marín B, L. Martín, J.L. Garay, W. Troncoso, J. Betancourt, M. Gómez, J. Acosta, J. Vivas, y A. Vélez. Sistema de indicadores de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia-SISCAM. Programa Calidad Ambiental Marina, Informe técnico final. INVEMAR. 184 p. 2003.
- [21] EPD (Environmental Protection Department, Hong Kong). Water quality criteria / standards adopted in the Asia Pacific Region. Phase 1. Marine Resource Conservation Working Group Asia Pacific Economic Cooperation. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region of the People's Republic of China. 78 p. 2003.
- [22] INVEMAR. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia-REDCAM. Informe técnico. 301 p. 2008.
- [23] NC: 25. Norma Cubana Obligatoria. Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones. 12 Pp. 1999.
- [24] Ministerio de Salud (MinSalud). Decreto No. 1594 del 26 de junio. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. 61 Pág. 1984.
- [25] INVEMAR. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia-REDCAM. Informe técnico. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras 'José Benito Vives de Andrés'- INVEMAR- Santa Marta Colombia. 200 p. 2007.
- [26] Troncoso, W., L., Vivas, S., Narvaéz, L. Espinosa. La calidad ambiental marina y costera. Pág.45-56. En: INVEMAR. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia. Serie de publicaciones periódicas No 8. Santa Marta. 2009; 243p.
- [27] CIOH. Cañón M., Tous G, Olivares M, Llamás J. López K, Palmera K, López, OR., Orozco, F., Suarez V., Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre de buques de tráfico internacional. Informe final. Fase IV/V Pág. 98.2006.
- [28] GEF-PNUD-OMI. Proyecto Crear asociaciones para asistir a los países en vías de desarrollo a reducir la transferencia de organismos acuáticos nocivos en el agua de lastre de los buques (Asociaciones GloBallast). 229 pág. 2007.