



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Cambios físicos, químicos y biológicos en dos épocas climáticas contrastantes en el golfo de
Urabá, Caribe colombiano.**

Laura Martínez Lacharme

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela ambiental
Turbo, Colombia
2019.**



Cambios físicos, químicos y biológicos en dos épocas climáticas contrastantes en el golfo de Urabá, Caribe colombiano.

Laura Martínez Lacharme

**Informe de trabajo de grado como requisito para optar al título de:
Ingeniero oceanográfico.**

Asesor

**Lennin Florez Leiva MSc
Ocean, Climate & Environment Research Group.**

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela ambiental
Turbo, Colombia
2019.**

Agradecimientos

- Al grupo de investigación OCA (Océanos, clima y ambiente) de la CAA de la Universidad de Antioquia.
- Al grupo de investigación biotecnología, la profesora Lucia Atehortúa y la profesora Erika Obando.
- El proyecto CODI Bio-tóxicas asociadas al fitoplancton marino en el golfo de Urabá, Caribe colombiano.
- A mi asesor Lennin Florez Leiva.

RESUMEN

El Golfo de Urabá ha sido descrito en estudios anteriores desde diferentes puntos de vista, tomando como foco principal las afectaciones ambientales, biológicas, físicas geológicas y químicas, pero aún no se ha realizado un estudio que evidencie los cambios fisicoquímicos en por lo menos una estación climática, el Golfo de Urabá ha sido poco estudiado y documentado en todos sus componentes oceanográficos (Montoya, 2010), por lo que a través de este estudio intentamos comprender los cambios físicos, químicos y biológicos, además, para convertirse en el primer trabajo oceanográfico que evalúa las condiciones entre épocas climáticas dando iniciales para futuros proyectos de ingeniería en o cerca del golfo, pero también, una perspectiva para estudios de impacto ambiental. Los valores físicos y químicos evaluados, temperatura, salinidad, clorofila-a y nutrientes variaron entre épocas climáticas y entre zonas del golfo, la salinidad para la época seca en las zonas sur fue menor, mientras en la zona marina no tuvo grandes variaciones entre épocas, mientras la temperatura, y clorofila-a oxígeno aumentaron en época húmeda en todas las zonas. Los silicatos en época húmeda en la zona sur del golfo aumentan considerablemente, mientras en la zona marina, en aguas profundas disminuyo su concentración.

INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios en el golfo de Urabá comenzaron en los años 70 (Selfridge, 1874, Zeigler y Athearn, 1965). Muchas de estos solo describieron brevemente la región. Una de estas campañas que visitó esta región fue la llamada N / I Jhon Elliott Pillsbury. Esto permitió, a través de la información de sus dos visitas, detallar áreas potenciales en términos de pesca (Robins 1971). Sin embargo, en términos físico-químico había muy poca información documentada. Desde esa fecha hasta el presente, se han generado pocos estudios que evalúen los parámetros físicos, químicos y biológicos.

Por su potencial biológico y ecológico el Golfo ha sido foco de numerosos estudios ecológicos debido a los múltiples ecosistemas marinos y la alta diversidad biológica que forman parte de ella. García-Valencia, 2007 fue uno de los estudios que evaluaron la región desde un contexto geográfico, histórico y cartográfico y constituye uno de los documentos más completos de la región. Este atlas hizo posible generar una colección de mapas temáticos con el objetivo de describir las características biofísicas, climatológicas, socioeconómicas y oceanográficas del Golfo de Urabá. Además, se han tenido en cuenta variables físico-químicas como la salinidad, la temperatura, la turbidez, los nutrientes y el oxígeno disuelto en algunos casos entre temporadas (Francois et al., 2007).

De la misma manera Andrade et al., 2015 realizó el primer atlas oceanográfico colombiano para las cuencas Atlánticas y Pacíficas del país. Este trabajo resume la información existente desde 1922 hasta el presente y describe las climatologías mensual, estacional, anual, decenal y total de las variables temperatura, salinidad y densidad del agua de mar e incluye valores de las velocidades geostroficas de ambas cuencas de los mares colombianos. El trabajo es una gran contribución a la conceptualización oceanográfica de nuestro país. A pesar de esto, la información sobre la oceanografía biológica y biogeoquímica (clorofila-a, biomasa y composición planctónica, ciclos de nutrientes, balance de masa de elementos, variabilidad interanual) sigue siendo inexistente.

Finalmente, como en el resto del Caribe colombiano, el Golfo de Urabá ha sido poco estudiado y documentado, desde el punto de vista oceanográfico, por lo que a través de este estudio intentamos comprender las dinámicas oceanográficas que involucran patrones de circulación, variabilidad biológica y biogeoquímica de la región. Además, para convertirse en el primer trabajo oceanográfico interanual que evalúa las condiciones iniciales para futuros proyectos de ingeniería en o cerca del golfo (por ejemplo, Puerto de Urabá). Pero también, una perspectiva para estudios de impacto ambiental (como derrames de petróleo y otros contaminantes).

Basado en lo anterior surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo cambia las condiciones oceanográficas durante dos épocas climáticas contrastantes?

OBJETIVO GENERAL

Determinar los cambios físicos, químicos y biológicos en dos épocas climáticas contrastantes en el golfo de Urabá, Caribe colombiano.

OBJETIVOS Y ESPECÍFICOS

- Evaluar la variación de la temperatura (parámetro físico).
- Evaluar la variación en los nutrientes, fosfatos, nitratos y silicatos (parámetro químico).
- Evaluar la variación en la clorofila-a (parámetro biológico).

HIPÓTESIS

Existen cambios físicos, químicos y biológicos entre épocas climáticas, siendo mayor en época húmeda que época seca.

MARCO TEÓRICO

Los ambientes costeros y estuarinos representan solo el 10% de la superficie total del océano, pero son responsables del 25% de su productividad primaria (Liu et al., 2009). Además, albergan gran diversidad de especies y sirven como salacuna para otras tantas.

El Golfo de Urabá es un golfo semicerrado y estuarino ubicado en la parte suroeste del Caribe colombiano, con gran cantidad de aportantes fluviales con altas cargas de nutrientes elementos claves para la vida al ser requeridos en la síntesis de proteínas, para la formación de las estructuras celulares, el almacenamiento, intercambio de información genética y las funciones metabólicas (Zehr y Kudela, 2011; Karl, 2014).

Su presencia y concentración controla la composición y diversidad de especies planctónicas, la dinámica y el funcionamiento de los ecosistemas marinos, y en particular los estuarios. El golfo de Urabá, es un fijador de N y es un sistema donde el proceso de productividad primaria supera la respiración entre épocas climáticas (Bernal et al, 2019). Otro componente importante es la clorofila-a pues es un indicador para medir la abundancia y biomasa fitoplanctónica donde este último que representa el eslabón inicial de la red trófica en los océanos, y participa en procesos fotosintéticos a escala global (Arias & Duran, 1980; Quispe et al., 2007; Romero, 2008). La concentración de clorofila se ve influenciada por los procesos climatológicos tales como; la velocidad del viento, remolinos de meso escala, la temperatura superficial del mar, corrientes marinas y la radiación solar entre otros (Dilmahamod et al., 2016).

NITRÓGENO, NITRITOS Y NITRATOS

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de algas y causa un aumento en la demanda de oxígeno al ser oxidado por bacterias reduciendo por ende los niveles de este. Las diferentes formas del nitrógeno son importantes para determinar la polución de un cuerpo de agua. De igual manera en el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir a los organismos (Roldán, 2003).

FOSFATOS

El fósforo en un cuerpo de agua permite la formación de biomasa, la cual requiere un aumento de la demanda biológica de oxígeno para su oxidación aerobia, además de los procesos de eutrofización y consecuentemente crecimiento de fitoplancton. El fósforo en forma de ortofosfato un nutriente para organismos fotosintetizadores y por tanto un componente limitante para el desarrollo de las comunidades. Su determinación es necesaria para los estudios de polución de ríos, así como es importante en procesos químicos y biológicos de purificación y tratamiento de aguas (Roldán, 2003).

SILICATOS.

Los silicatos están formados por varios elementos en combinación con silicio y oxígeno, que son los componentes más abundantes de la corteza terrestre. El agua de mar contienen un amplio espectro de materiales silíceos muy pequeños en suspensión; muchos de ellos se han producido a partir de actividades geológicas y son transportados al mar por los ríos o por el viento. En general, los silicatos pueden estar tanto en solución como en forma particulada (Garay J. et al., 1993).

CLOROFILA-A

La clorofila-a es un pigmento fotosintético presente en el fitoplancton. Estudiar su concentración permite estimar la productividad primaria en los ambientes marinos, además de dar un diagnóstico de la salud de estos. Para entender los patrones espacio-temporales del fitoplancton, se debe tener en cuenta los posibles efectos de los factores que influyen en su distribución, como la temperatura del agua, turbidez, radiación solar y nutrientes (Blondeau et al., 2014). El uso de técnicas estadísticas y datos adicionales obtenidos de sensores satelitales, ayudan a entender los patrones de distribución de fitoplancton marino con la previa caracterización de su abundancia relativa (Hu & Franz, 2012). Los primeros trabajos en clorofila-a en el Caribe colombiano fueron realizados con mediciones *in situ*. Sin embargo, estas mediciones solo abarcaron pequeñas

escalas temporales y espaciales (Corredor, 1979). Arias & Duran (1982), evaluaron las variaciones estacionales de los principales constituyentes del fitoplancton y su biomasa medidos en términos de clorofila-a en la Bahía de Cartagena, obteniendo como resultado mayores concentraciones de clorofila en el Muelle de los Pegasos 19 mg/m^3 y las menores concentraciones en el canal del dique 1.5 mg/m^3 .

TEMPERATURA Y OXÍGENO.

La temperatura es la magnitud relacionada con el calor. En las zonas templadas la temperatura varía ampliamente por el cambio de estaciones, en las zonas tropicales se mantiene más o menos constante. Es decir que los organismos sometidos a cambios estacionales soportan más los cambios de temperatura y sus ciclos de vida están acoplados a estos cambios. Las descargas de aguas a altas temperaturas pueden causar daños a la fauna y flora de las aguas receptoras al intervenir con la reproducción de especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos. La temperatura solubilidad del oxígeno en el agua está afectada por la temperatura. Así, a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa. Un cuerpo de agua puede aumentar la solubilidad en cerca de un 40% al bajar la temperatura de 25°C a 0°C ; esto se debe a que el agua, las moléculas se unen más, reteniendo, por tanto, mayor cantidad de oxígeno (Roldán, 2003).

SALINIDAD

La salinidad es el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua. El agua del mar, contiene aproximadamente 3,5 % de sal, 35 gramos por cada litro de agua. Pero por encima de 5% se la considera salmuera. La salinidad presenta variaciones cuando se comparan las cuencas, las distintas latitudes o las diferentes profundidades. Favorece una salinidad más elevada la evaporación más intensa propia de las latitudes tropicales, sobre todo en la superficie, y una menor salinidad la proximidad de la desembocadura de ríos caudalosos y las precipitaciones elevadas (Unesco, 1985).

METODOLOGÍA.

Para la obtención de los datos se realizaron dos expediciones oceanográficas, llamadas tarenal y 7, donde se evaluaron 15 estaciones a lo largo del golfo de Urabá (de sur a norte), dividiéndolas en tres zonas, la zona sur (8°N - $8,2^\circ\text{N}$), la zona estuarina ($8,2^\circ\text{N}$ - $8,4^\circ\text{N}$), y la zona marina ($8,4^\circ\text{N}$ - $8,6^\circ\text{N}$). En las cuales se realizaron perfiles de temperatura y salinidad, en toda la columna de agua con ayuda de un CTD CastAway, de manera simultánea en 6 de las 15 estaciones se tomaron muestras de agua, de superficie y profundidad, usando una botella nuskín, para los parámetros de nutriente, oxígeno y clorofila-a.

ÁREA DE ESTUDIO.

El Golfo de Urabá es un golfo semicerrado y estuarino ubicado en la parte suroeste del Caribe colombiano, entre los $8^{\circ}37' N$ y $76^{\circ}59' W$ (Figura 1). El límite norte del golfo lo constituye el mar Caribe, en su límite sur desembocan ríos como el Río Atrato, Río León entre otros (Marín-Zambrana, 2002; INVEMAR CORPOURABA, 2003; Bernal et al., 2005; Thomas et al., 2007). El golfo por su ubicación tiene importancia económica, ecológica y turística para el país, ya que representa la principal zona de exportación bananera y posee una gran riqueza de ecosistemas marinos, costeros y terrestres que requieren de protección y conservación (García-Valencia, et al., 2007). Pese a su importancia, desarrollo portuario y turístico aún falta mucho para conocerlo en su totalidad.

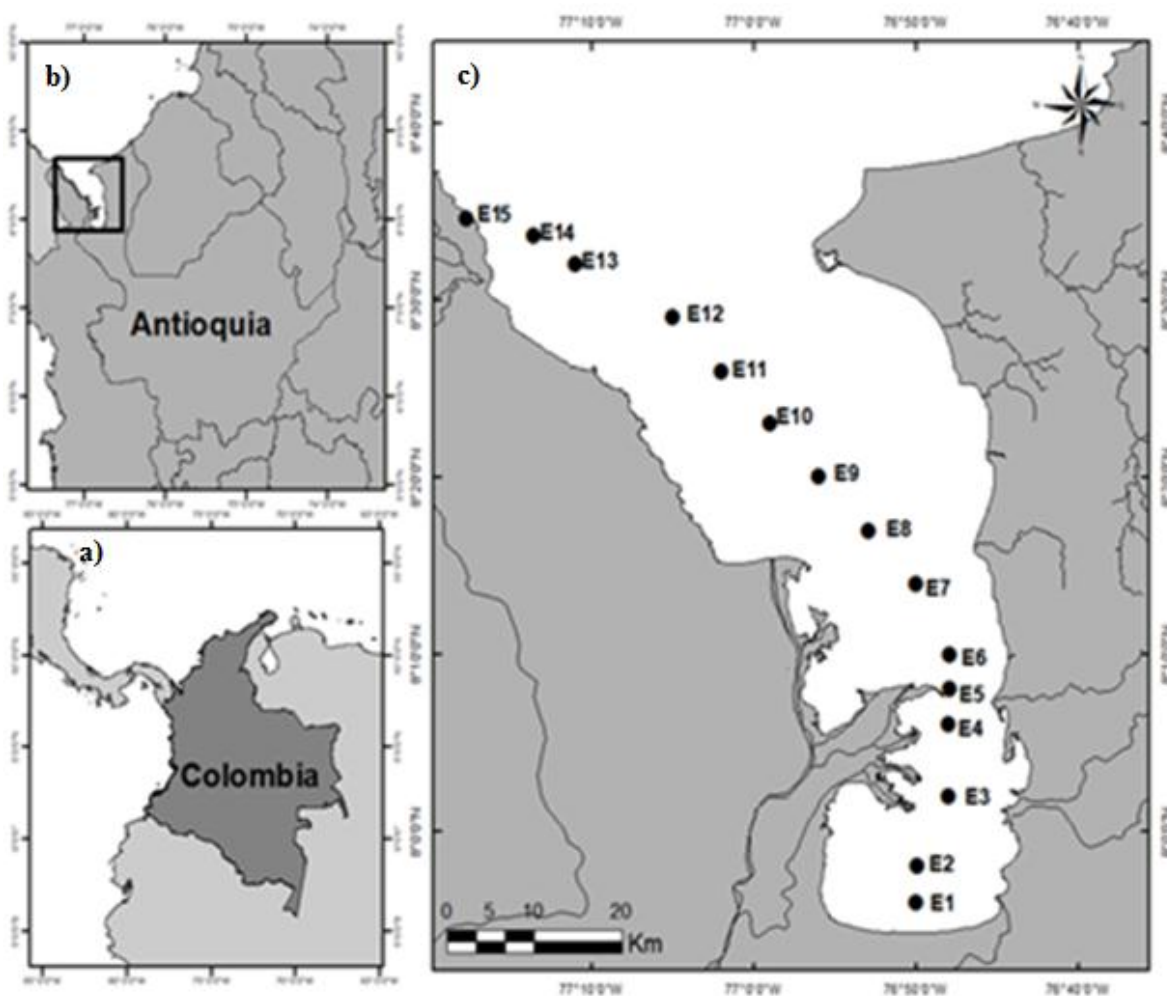


Figura 1: Ubicación del área de estudio a) Mapa de Colombia.; b) Mapa de Antioquia, con la ubicación del Golfo de Urabá señalado en un recuadro. c) Mapa del Golfo de Urabá, con las estaciones de muestreo expedición Tarena.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los valores físicos, químicos y biológicos evaluados, temperatura, salinidad, clorofila-a y nutrientes variaron entre épocas climáticas y entre zonas del golfo, la salinidad para la época seca en las zona sur fue menor, mientras en la zona marina no tuvo grandes variaciones entre épocas (figura2a y 3a), mientras la temperatura, clorofila-a y oxígeno aumentaron en época húmeda en todas las zonas (figura 2b ,e, f y 3b,e,f). Los silicatos en época húmeda en la zona sur del golfo aumento considerablemente con relación a la época seca, mientras en la zona marina, en aguas profundas disminuyó su concentración (figura 4).

Es importante aclarar que la forma del golfo pues este es semicerrado, estuarino ubicado en la parte suroeste del Caribe colombiano, con gran cantidad de aportantes.

Esta región del país se caracteriza por presentar un clima cálido húmedo; se caracteriza por ser de alta vegetación verde, además de ser uno de los más húmedos, cuenta con distintas plantas y especies vegetales. Presenta temperaturas medias superiores a 24°C y precipitaciones anuales entre 2000 y 2500 milímetros, generadas principalmente por la presencia del sistema de baja presión anclado de Panamá que se mantiene activo durante la mayor parte del año con una presión interna en época húmeda de hasta 1005mb y en época seca de 1010mb. Asimismo, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), se mantiene oscilando en época húmeda sobre este sector (5° - 11° de latitud norte) y en época seca la influencia de este sistema es menor (CIOH. 2019).

Durante la época húmeda aumenta las precipitaciones en el golfo lo que hace que ríos aportantes como el Río Atrato, el Río Turbo, Rio Currulao, Rio León y Río mulato (Escobar, 2011). Aporten gran cantidad de sedimentos en suspensión, además, el uso de la tierra en el cultivo de banano (Blanco-Libreros, 2009) y el mal manejo de aguas residuales (Rendon, 2014) traen consigo una cantidad considerables de nutrientes al estuario entre ellos nitratos y fosfatos que serían los responsables de los aumentos de la clorofila-a.

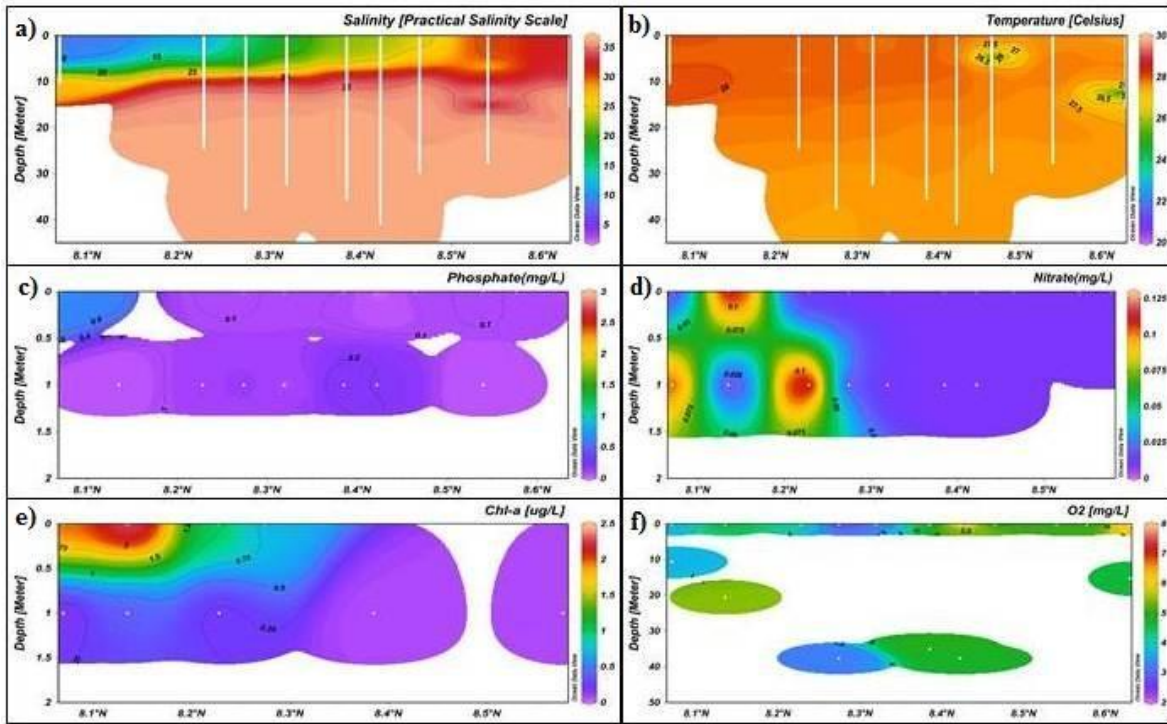


Figura 2. Variabilidad de parámetros físicos, químicos y biológicos en época seca, a) salinidad, b) temperatura, c) fosfatos, d) nitratos, e) clorofila a, f) O₂

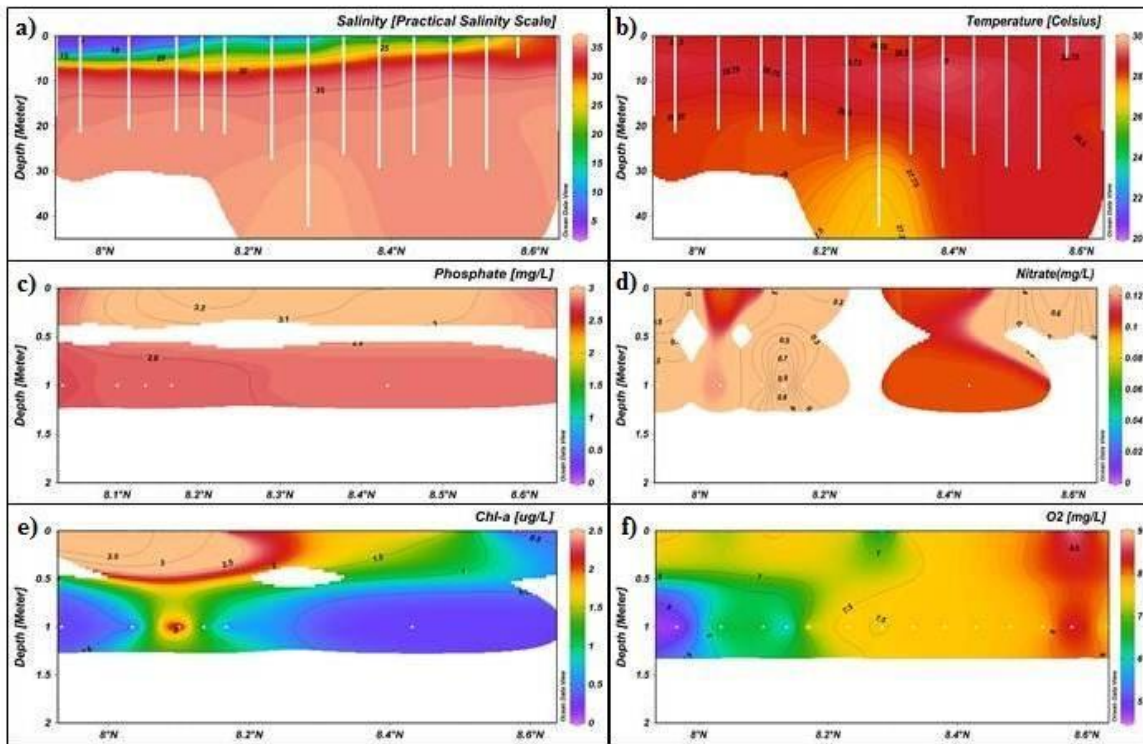


Figura 2. Variabilidad de parámetros físicos, químicos y biológicos en época húmeda, a) salinidad, b) temperatura, c) fosfatos, d) nitratos, e) clorofila a, f) O_2

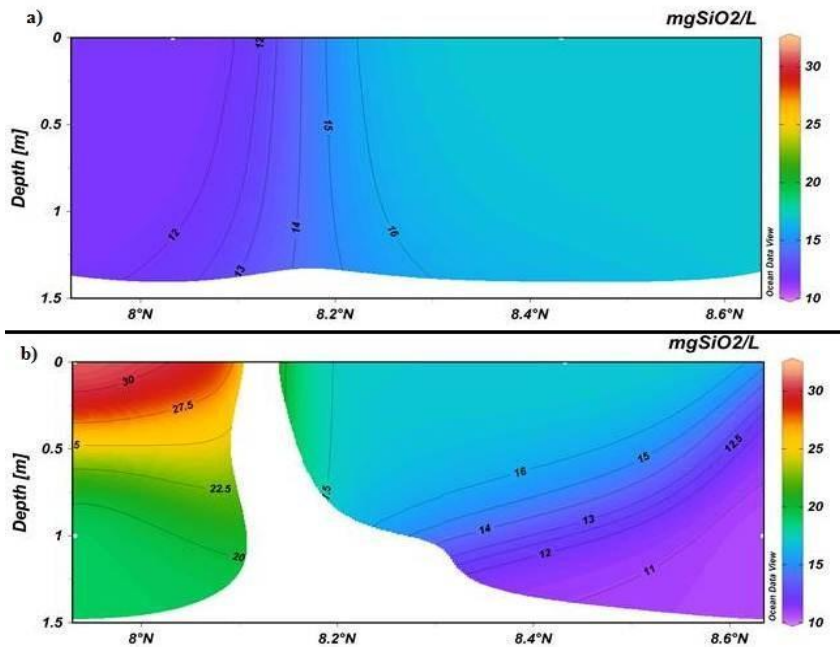


Figura 4. Resultados silicatos, a) época seca, b) época húmeda

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C.A., O.E. Rangel y E. Herrera. 2015. Atlas de los Datos oceanográficos de Colombia 1922-2013. Temperatura, salinidad, densidad, velocidad geostrofica. Dirección general marítima- Ecopetrol S. A. Ed Dimar, Bogotá Colombia. 117pp.
- Arias, F. A., & Durán, J. C. (1982). Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena para 1980. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena.
- Bernal, M.C., y Contreras S. 2019 Estimación del balance y flujo de nutrientes en el golfo de Urabá, Caribe Colombiano.
- Blanco-Libreros, J. F. (2009). Banana crop expansion and increased river-borne sediment exports to the Gulf of Urabá, Caribbean coast of Colombia. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 38(3), 181-183.
- Blondeau-Patissier, D., Gower, J. F., Dekker, A. G., Phinn, S. R., & Brando, V. E. (2014). A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans. *Progress in oceanography*, 123, 123-144.
- Corredor, J. E. (1979). Phytoplankton response to low-level nutrient enrichment through upwelling in the Columbian Caribbean Basin. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 26(7), 731-741.
- Dilmahamod, A. F., Hermes, J. C., & Reason, C. J. C. (2016). Chlorophyll-a variability in the Seychelles–Chagos Thermocline Ridge: Analysis of a coupled biophysical model. *Journal of Marine Systems*, 154, 220-232.
- Escobar, S. (2011). Relevancia de procesos costeros en la hidrodinámica del Golfo de Urabá (Caribe Colombiano).
- Francois et al., 2007. El paisaje del Golfo. Pp. (79-132), en García- Valencia, C. (Ed). 2007. Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –Invemar– y Gobernación de Antioquia. Santa Marta, Colombia. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar No 12.

- Garay, J.; Panizzo, L.; Ramírez, G.; Sánchez, J. Manual de técnicas analíticas de parámetros físicoquímicos y contaminantes marinos. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH. Cartagena, 1993.
- García-Valencia, C. (Ed). 2007. Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –Invemar– y Gobernación de Antioquia. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar N° 12. Santa Marta, Colombia. 180p.
- Hu, C., Muller-Karger, F. E., Taylor, C. J., Carder, K. L., Kelble, C., Johns, E., & Heil, C. A. (2005). Red tide detection and tracing using MODIS fluorescence data: A regional example in SW Florida coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 97(3), 311- 321.
- Liu Y, et al. (2009) Phylogenomic analyses support the monophyly of Taphrinomycotina, including Schizosaccharomyces fission yeasts. *Mol Biol Evol* 26(1):27-34.
- Marín-Zambrana BG. 2002. Lagunas costeras y estuarios. Pp: 183-206. En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: 2001. Serie de documentos generales. Santa Marta, Colombia.
- Montoya, L.J. 2010. Dinámica oceanográfica del golfo de Urabá y su relación con los patrones de dispersión de contaminantes y sedimentos. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 254 p.
- Quispe, D., Calienes, R., Tam, J., Graco, M., Ledesma, J., Flores, G., & Quispe, C. (2010). Análisis comparativo entre clorofila-a satelital e in situ en el ecosistema de afloramiento peruano, entre 1998-2007. *Ecología Aplicada*, 9(2), 151-159.
- Rendon, J. D. C. (2014). Calidad del agua en humedales del plano de inundación del río Atrato. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 1(1), 93-109.
- Robins, CR,1971. Distribution patterns of fishes from coastal and shelf waters of the tropical westerns Atlantic, In: symposium on investigations and resources of the Caribbean Sea and adjacent regions. Paper on fisheries resources, FAO, Rome: 249-255.
- Roldán, G. 2003. La bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín. 170p.

Romero, S. I. (2008). Estimaciones satelitales de clorofila y los frentes oceánicos del Atlántico Sudoccidental (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires).

Selfridge, TO, 1874 Report of explorations and surveys to ascertain the practicality of a ship canal between the Atlantic and Pacific oceans by the way of the Isthmus of Darien. Dept. of the Navy, Washington Gov't Printing office, pp 1-268, 17 foldout maps.

Unesco. 1985. El Sistema Internacional de Unidades (SI) en Oceanografía. Tech. Pap. Mar. Sci., 45: 124 pp.

Zehr y Kudela, 2011. Nitrogen Cycle of the Open Ocean: From Genes to Ecosystems. Annual Review of Marine Science 3(1):197-225. DOI: 10.1146/annurev-marine-120709-142819.