

Calidad de aguas marino-costeras en bahías de San Juan del sur, Escameca, La Flor y El Ostional, Costas del Océano Pacífico nicaragüense

Marine-coastal water quality in the bays of San Juan del sur, Escameca, La Flor and El Ostional, Pacific Ocean coast of Nicaragua

Iris Lissette Hurtado-García

Dirección Gestión de la Calidad Institucional. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. UNAN-Managua, Nicaragua.

<https://orcid.org/0000-0002-3758-8800>

iris.hurtado@unan.edu.ni

Recibido

20/01/2023

Aceptado

27/03/2023

Javier Antonio Barberena-Moncada

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. UNAN-Managua, Nicaragua.

<https://orcid.org/0000-0001-9119-4485>

javier.barberena@cira.unan.edu.ni

RESUMEN

Las aguas costeras son hábitat de especies marinas y prestan servicios ambientales al ser humano para distintas actividades económicas. El monitorear variables fisicoquímicas, nutrientes en las costas de El Ostional, San Juan del Sur, Escameca y La Flor es de vital importancia debido que es ruta de tránsito de especies marinas y comprender los distintos factores que modifican la composición de las aguas oceánicas en el Pacífico sur de Nicaragua, así también son atractivas para baño y recreación de la población. El objetivo principal de la investigación es determinar la calidad de las aguas marino-costeras mediante las composición fisicoquímica, nutrientes e Indicador de Calidad de Agua Marina (ICAM). Se realizaron dos muestreos en cada sitio, uno en periodo lluvioso 2018 y otro en periodo seco 2019, se tomaron muestras integrales de 20 m de profundidad, variables fisicoquímicas fueron realizadas in situ y muestras para análisis en laboratorios de nutrientes, microbiológicos. Los resultados indican que el comportamiento fisicoquímico fluctúa según el periodo de monitoreo y la profundidad de medición, las variables fisicoquímicas y nutrientes dependen en primer lugar de la estación lluviosa que aporta nutrientes ya sea por fijación atmosférica o por aporte de escorrentía. Otro factor que influye en la composición química y nutrientes en época seca es las condiciones de altos vientos que producen una surgencia de aguas ricas en nutrientes. No se encontró evidencia de contaminación por bacterias de origen fecal. El índice de calidad de agua ICAM sitúa a las bahías en los rangos de óptimo y adecuado, variación que depende de la época en que se monitorea.

PALABRAS CLAVE

Aguas marino-costeras; calidad de agua; composición fisicoquímica; nutrientes.

ABSTRACT

Coastal waters are habitat for marine species and provide environmental services to humans for different economic activities. Monitoring physicochemical variables, nutrients in the coasts of El Ostional, San Juan del Sur, Escameca and La Flor is of vital importance because it is a transit route for marine species and to understand the different factors that modify the composition of oceanic waters in the southern Pacific of Nicaragua, as well as being attractive for bathing and recreation of the population. The main objective of the research is to determine the quality of the marine-coastal waters through physicochemical composition, nutrients and Marine Water Quality Indicator (MWQI). Two samplings were conducted at each site, one in rainy period 2018 and another in dry period 2019, integral samples were taken from 20 m depth, physicochemical variables were performed on site and samples for laboratory analysis of nutrients, microbiological. The results indicate that the physicochemical behavior fluctuates according to the monitoring period and the depth of measurement, the physicochemical variables and nutrients depend primarily on the rainy season that provides nutrients either by atmospheric fixation or by runoff. Another factor that influences the chemical composition and nutrients in the dry season is the high wind conditions that produce an upwelling of nutrient-rich water. No evidence of fecal bacteria contamination was found. The ICAM water quality index places the bays in the optimal and adequate ranges, variation depending on the time of year.

KEYWORDS

Marine-coastal waters; water quality; physicochemical composition; nutrients.

INTRODUCCIÓN

237

La formación del Istmo Centroamericano ha funcionado por cientos de miles de años como una barrera natural que separó las poblaciones de organismos marinos a lo largo de dos costas: Pacífico y Caribe (Quesada-Alpizar, 2006). Las aguas del Océano Pacífico se caracterizan por presentar la temperatura superficial más cálida de los océanos del mundo, estas se asocian con grandes cambios en la convección atmosférica, juega un papel importante en la evolución de El Niño-Oscilación Sur (Wang & Enfield, 2001), estos cambios de temperatura fueron nombrado como Domo Térmico de Costa Rica (Cromwell, 1958), compuesta por un sistema de corrientes del límite oriental que fluyen hacia la región desde el norte (Corriente de California) y el sur (Perú o Corriente de Humboldt).

La estructura y variabilidad de las masas de agua y la circulación están determinadas por procesos solares y atmosféricos, tanto dentro como fuera de la región. (Fiedler & Lavín, 2017). Su característica principal es un levantamiento hacia la superficie de la termoclina, lo cual genera un domo de isoterma a través de la columna de agua (Brenes et al., 2008), cuya ubicación se centra a unos 300 km al oeste del Golfo de Papagayo, entre Costa Rica y Nicaragua (Fiedler, 2002).

De manera que la surgencia de la termoclina propicia la descarga de agua fría rica en nutrientes en las capas superficiales (Broenkow, 1959; Fiedler, 2002), esto propiciando altas concentraciones de zooplancton en invierno y su disminución asociada a la falta de oxígeno en verano (Fernández-Álamo & Färber-Lorda, 2006).

El presente artículo tiene como objetivo determinar la calidad de las aguas marino-costeras mediante la composición fisicoquímica, nutrientes e índice de calidad de agua en las aguas de las bahías de San Juan del Sur, Escameca, La Flor y El Ostional, todos estos sitios ubicados en el océano Pacífico sur de Nicaragua. Debido a la importancia de conocer las características del medio que forman parte de la ruta de tránsito de algunas especies como las ballenas jorobadas, la recreación de la población, productos del mar en general provenientes de esa zona del litoral pacífico sur de Nicaragua. Así también permitir ser usada de herramienta para tomar acciones que aseguren el aprovechamiento sostenible de los recursos marinos de esta parte de la plataforma oceánica del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

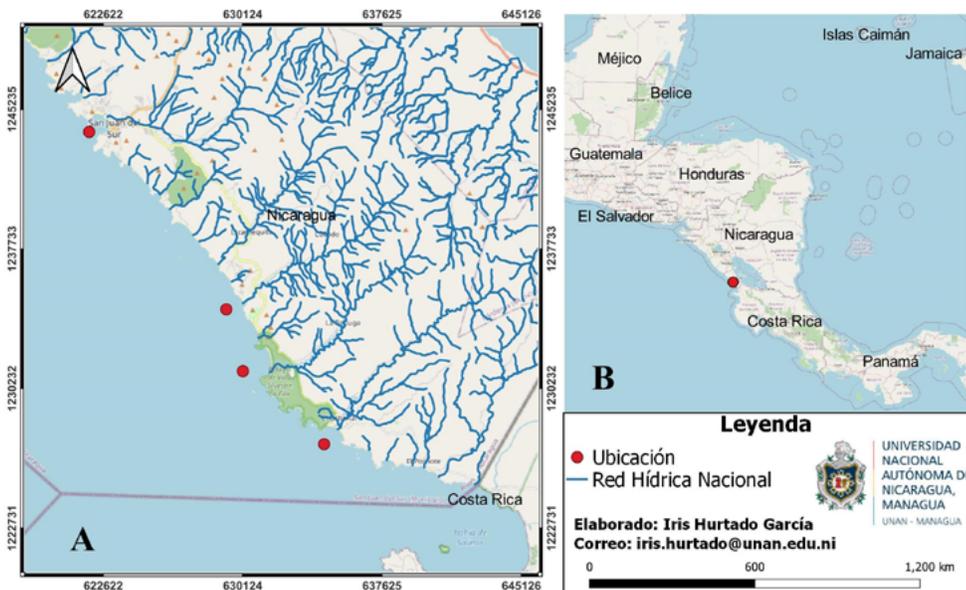
Área de estudio

Las bahías de San Juan de Sur, Escameca, La Flor y Ostional se ubican en el pacífico sur de Nicaragua (Figura 1 B), específicamente en las costas de departamento de Rivas y forman parte de Unidad Ecológica San Juan del Sur, departamentos de Rivas y Carazo, se extiende desde el Refugio de Vida Silvestre Chacocente hasta la frontera con Costa Rica, con un área estimada de 1 200 km². Esta zona marino-costera, se caracteriza por poseer playas semi vírgenes o poco intervenidas, con una amplia biodiversidad y 2 Refugios de vida Silvestre, que sirven para la arribada a especies en peligro de extinción como las tortugas Paslama, Tora y Carey, además, se constituye en el área de tránsito algunas especies como las ballenas jorobadas.

Se realizaron dos muestreos representativos a la estación lluviosa (noviembre 2018) y estación seca (abril 2019). Las muestras fueron tomadas en el mar a una distancia de 5 km de las costas de bahía de San Juan del Sur 621869 E y 1244033 N, profundidad total de 19 m, Escameca 629251 E y 1234495 N, profundidad total de 18 m, La Flor 630144 E y 1231172 N, profundidad total de 21 m, y El Ostional 634514 E y 1227246 N con profundidad total de 20 m, localizados en el departamento de Rivas, pacífico sur de Nicaragua (Figura 1 A).

Se realizaron mediciones in situ (Tabla 1) de perfil de la columna de agua, las profundidades de medición fueron a: cero metros, cinco metros, diez metros y quince metros, todas bajo el nivel del mar. Mediante botella Van Dorn se tomaron volúmenes en cada metro desde de 0 a 15 m de profundidad, estas se mezclaron para obtener una muestra integral, variables fisicoquímicas y nutrientes. Estas muestras fueron preservadas con hielo y otras con ácido sulfúrico según los procedimientos descritos en los protocolos para la toma de muestras y análisis de los laboratorios del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), esto con el objeto de garantizar la calidad de los resultados generados.

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.



Nota: A) Indica ubicación de los cuatro sitios de muestreo de agua de mar en Océano Pacífico. B) Indica ubicación de costas del pacífico sur de Nicaragua.

Parámetros fisicoquímicos y nutrientes

Los parámetros fisicoquímicos se realizaron mediante mediciones directas en campo (ver Tabla 1) y análisis de laboratorios (Tabla 3 y 4). El análisis en el laboratorio se procedió a captar las muestras en cada sitio, se almacenaron y transportaron de acuerdo con procedimientos, protocolo y cadena de custodia establecidos por el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua de la UNAN-Managua (CIRA/UNAN-Managua).

Las determinaciones analíticas se efectuaron en los laboratorios del CIRA/UNAN-Managua, a través de la aplicación de metodología analítica normalizadas, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22 nd Edition (APHA, 2012). La calidad de los resultados analíticos se aseguró mediante la aplicación de procedimientos establecidos por el Sistema de Gestión de la Calidad de CIRA/UNAN-Managua, apegado a la Norma ISO/IEC 17025:2015. Requisitos Generales para la Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración.

Tabla 1. Variables medidas en cada sitio.

Parámetro	Unidad de medida	Equipo de medición
pH	Unidades de pH	pH metro
Oxígeno Disuelto	mg. L ⁻¹	Oxigenómetro
Saturación de Oxígeno	%	Oxigenómetro
Profundidad y Transparencia	m	Disco Secchi
Salinidad	‰	Salinómetro

Índice de calidad de agua

Se calculó el Indicador de Calidad de Agua Marina y Estuarina (ICAM) del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), de Colombia (Vivas-Aguas & Navarrete-Ramírez, 2014). De forma global, utiliza (8) variables (oxígeno disuelto, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos, hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termo tolerantes), las cuales representan una calidad del agua en función de concentraciones de aceptación o rechazo, según los valores de referencia de normas nacionales o internacionales para la preservación de la flora y fauna.

Este indicador de calidad ha sido aplicado ampliamente en Colombia, su importancia radica en que facilita la interpretación de la calidad del ambiente marino, la evaluación del impacto de las actividades de contaminación ocasionada por las actividades de los seres humanos, así como la toma de medidas de prevención y recuperación para valorar la calidad de las aguas marinas, es decir, su capacidad de soportar la vida marina y los procesos biológicos (Vivas-Aguas & Navarrete-Ramírez, 2014).

El indicador es un número adimensional que representa la calidad del recurso hídrico marino, en forma de porcentaje (valores entre 0 y 100). Se califica de la siguiente forma:

Tabla 2. Escala de valoración del Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras (ICAM).

Escala de calidad	Color	Categorías	Descripción
Óptima	Azul	100-90	Calidad excelente del agua
Adecuada	Verde	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática
Aceptable	Amarillo	70-50	Aguas que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso
Inadecuada	Naranja	50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso
Pésima	Rojo	20-0	Aguas con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado

Fuente: Vivas-Aguas & Navarrete-Ramírez, 2014.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fisicoquímica y nutrientes

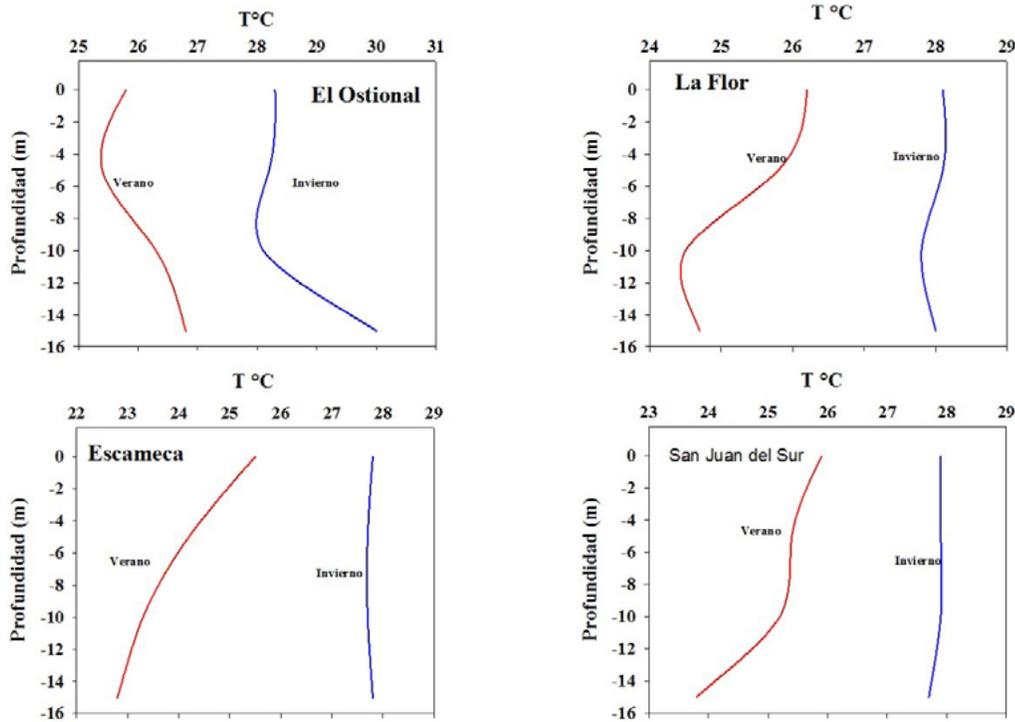
a) Temperaturas

Los perfiles de temperatura (Figura 2) muestran el comportamiento de esta, en las dos épocas de monitoreo. Existe diferencia en el comportamiento en los perfiles de temperatura, el sitio El Ostional tiene un comportamiento creciente en su temperatura ($>1\text{ }^{\circ}\text{C}$) a partir de los diez metros de profundidad en ambas fechas de muestreos, mientras que el resto de los sitios presenta un comportamiento decreciente en las temperaturas, donde en la termoclina, la temperatura tiende a ser decreciente a medida que aumenta la profundidad (Lizano, 2016) resulting in high concentrations of phytoplankton, sea birds, and large pelagics, such as tunas, dolphins and whales. Few publications have looks at the station variability of the water column of the CRTD. Here, horizontal and vertical distribution of some oceanic parameters was analyzed to show the dynamics of ETP, its influence on the CRTD, climatic variations and relationships that justify their distributions. Climatological monthly mean data of Ocean Data View (ODV).

Las temperaturas en noviembre promediaron $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, de los cuatro sitios, tanto El Ostional como La Flor presentan las mayores temperaturas con máximos $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $28.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, en este periodo las aguas en Escameca y San Juan del Sur tienden a ser más frías que los primeros sitios $27.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $27.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente, importante señalar las altas temperaturas registradas son propias de la temporada lluviosa (mayo-noviembre) en la zona pacífica (Amador, Alfaro, Lizano, & Magaña, 2006).

Mientras que, en el mes de abril, época de estiaje, las temperaturas promedian los $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, aunque los cuatro sitios presentan disminución de temperaturas, siempre las aguas de El Ostional y La Flor se registran temperaturas más altas, oscilando entre $25.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $24.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. A diferencia de Escameca y San Juan del Sur que registran temperaturas de $22.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $23.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Esta disminución de temperatura ha sido asociada a los afloramientos que se da en los meses de diciembre-abril donde se han registrados descensos de hasta $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Alfaro & Cortés, 2012), este afloramiento es muy característico en la zona del Pacífico sur de Nicaragua y Pacífico norte de Costa Rica (Lizano, 2008). Ocasionado por los vientos alisios que inciden del Pacífico oriental, influenciados por la topografía de Centroamérica, es decir, al pasar por la planicie de la Costa Caribe Sur nicaragüense inciden directamente sobre el área de estudio, desplazando las masas de agua de la superficie hacia adentro del mar, por lo que emergen aguas más profundas hacia la superficie, las cuales tienden a ser más frías (Kessler, 2006).

Figura 2. Perfiles de temperatura por sitio de estudio.



Nota: Líneas azules corresponden al mes de noviembre 2018 y líneas rojas al mes de abril 2019.

b) Transparencia

En periodo lluvioso la transparencia alcanza las mayores profundidades, estas superan los 10 m de profundidad en todos los sitios de medición. En época seca la transparencia disminuyó hasta los 4 m de profundidad en todos los sitios de estudio. Aunque la profundidad que penetra la luz está determinada por el fitoplancton, en las plataformas continentales es influenciada por las partículas terrestres y materia orgánica disuelta aportada por escorrentía superficial, aportadas por la desembocadura de ríos (He et al., 2017).

Al presentar mayor transparencia en época lluviosa y menor en época seca, indica que el aporte por escorrentía no influye en la transparencia del agua, la cual está más asociada a los afloramientos costeros, mismos que afectan al perfil térmico de los océanos por impedir el paso de la luz hacia las profundidades provocando enfriamiento en la columna de agua (Lewis, Kuring, & Yentsch, 1988). La transparencia de la columna de agua es importante para identificar las zonas óptimas para el desarrollo de la actividad fotosintética y para la vida acuática, debido a la penetración de luz, estas presentan variaciones estacionales e interanuales (He et al., 2017).

c) Salinidad

Salinidad presentó fluctuaciones entre estaciones, con máximos de 38‰ para el período de estiaje, en el que las altas concentraciones en la salinidad se asocian

a procesos de evaporación, ya que hay una estrecha correlación entre salinidad- evaporación (Stewart, 2008), aunque hay estudios que relacionan zonas con salinidades superiores a 34 ‰ son asociadas aguas con surgencia (Broenkow, 1959). Para el periodo de invierno se registró valores mínimos de salinidad de 30‰, dichas concentraciones son típicas de las zonas costera (Brenes et al., 2008), aunque también son asociadas a escorrentía terrestres por precipitaciones costeras locales (Amador et al., 2006; Brenes et al., 2008; Broenkow, 1959),.

Hay que mencionar que la columna de agua no presenta variaciones en las concentraciones de salinidad en ambos períodos, lo que contrasta con estudios previos como el realizado por Lizano (2016) en domo térmico de Costa Rica, en el que reporta para los meses de abril, julio y octubre inversiones en el gradiente de salinidad a medida que aumenta la profundidad, siendo más pronunciada en los primeros 10 m de profundidad, el comportamiento de la salinidad en las bahías costeras del pacífico de Nicaragua sujeta a estudio, puede deberse a su proximidad a la costa y a condiciones locales que no han sido estudiados con mayor exactitud.

d) pH

Los mayores valores de pH se reportaron en el sitio El Ostional y Escameca con 8.37 unidades de pH, estos valores se reportan en el mes de noviembre. En el mes de abril tiende a bajar un poco, en el sitio El Ostional se registró el valor más bajo con 7.93 Unidades de pH, en el resto de los sitios el valor promedio fue de 8.17 unidades de pH, la disminución de pH entre noviembre y abril osciló entre 0.4 unidades (El Ostional) y 0.3 unidades (La Flor y San Juan del Sur).

También se ha reportado caída del pH en la superficie de los océanos de 8.2 a 7.8 en los últimos 300 millones de años (Caldeira & Wickett, 2005). La norma de calidad para conservar la vida acuática recomienda rango para pH (6.0 -9.0) unidades pH (CAPRE, 1994). Las aguas de las cuatro bahías estudiadas registraron pH dentro del rango de aceptación.

e) Oxígeno

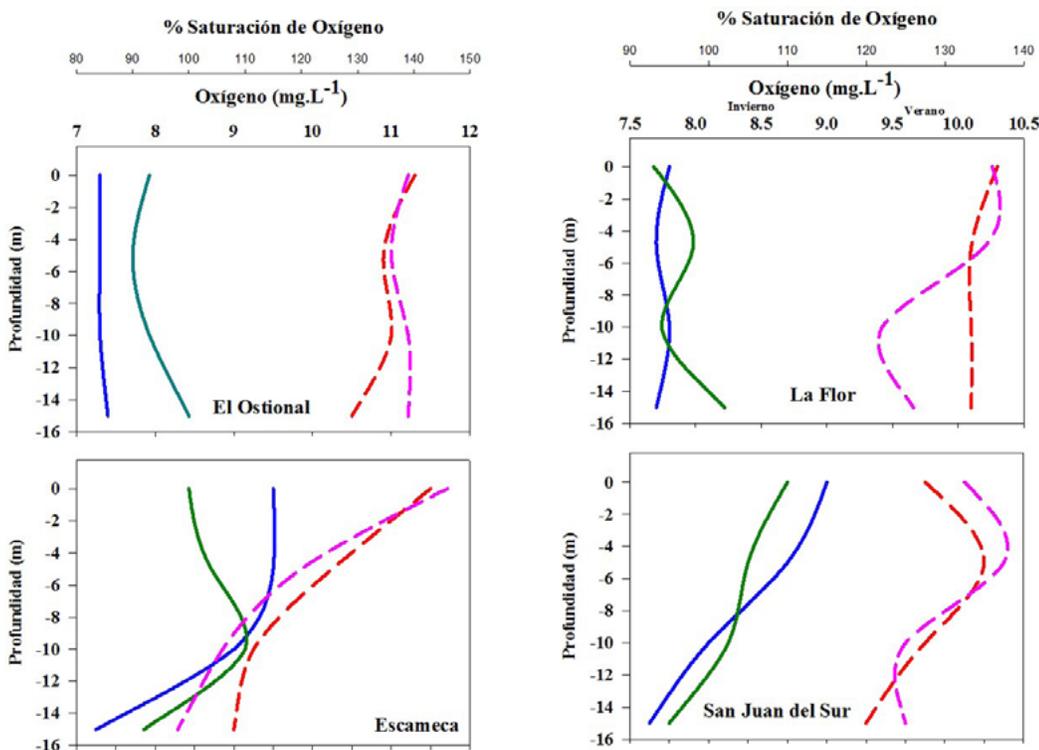
Oxígeno varió en los muestreos realizados (Figura 3), con máximos de 11.3 mg. L⁻¹ en El Ostional, seguido de 10.3 mg. L⁻¹ en La Flor en el mes de abril. Mínimos de 6.7 mg. L⁻¹ en San Juan del Sur en el mes de noviembre, para este mismo mes en los otros tres sitios presentaron en el rango entre 7.3-7.8 mg. L⁻¹. El porcentaje de saturación de oxígeno (Figura 3), presentó máximos de 139% y mínimos de 104%, el comportamiento es igual que el oxígeno disuelto.

Al igual que la temperatura y salinidad tanto el oxígeno disuelto como el porcentaje de saturación tienen a disminuir a medida que aumenta la profundidad. Estas altas concentraciones de oxígeno en la superficie son relacionadas con oxígeno producido biológicamente o mezcla del domo térmico de Costa Rica (Broenkow, 1959), así también son influidos por la corriente subsuperficial Ecuatorial (Bennett,

1963). Estas variaciones en los perfiles de temperaturas, salinidad y oxígeno disuelto en la columna de agua se dan en los primeros 200 m de profundidad, donde son influidos por los procesos atmosféricos y oceánicos (Lizano, 2016).

La mayor concentración de oxígeno disuelto se presenta en el periodo seco, la concentración más alta se registró en El Ostional (9.65 mg. L⁻¹), el incremento del oxígeno disuelto está relacionada con el moviendo de las aguas por la acción del viento, que provocan eventos de surgencia. En periodo lluvioso la concentración más baja se obtuvo en San Juan del Sur (7.18 mg. L⁻¹). En el periodo seco, se registran una sobre saturación de oxígeno, asociada a turbulencia y movimiento de las aguas por la surgencia, esto es corroborado por las altas concentraciones de oxígeno registradas en época seca.

Figura 3. Perfil somero de oxígeno y % de saturación de oxígeno en los cuatro sitios de monitoreo.



Nota: Líneas azules (mes de noviembre 2018) y líneas rojas (mes de abril 2019) corresponde al contenido de oxígeno. Líneas verdes (mes de noviembre 2018) y líneas rosas (mes de abril 2019) corresponde al % de saturación de oxígeno.

f) Sólidos totales disueltos

Los sólidos totales disueltos incluyen las sales, los minerales, los metales y cualquier otro compuesto orgánico o inorgánico que se encuentra disuelto en el agua. Los valores determinados en los cuatro sitios de muestreo y en ambos periodos estacionales, son representativos de las aguas de mar. Los mayores valores se registran en periodos secos y este aumento está relacionado a la ausencia de aportes agua dulce y concentraciones de sales.

g) DBO_5

La demanda bioquímica de Oxígeno DBO_5 , es un indicador de contaminación orgánica que se emplea para medir el contenido de materia orgánica y determina el oxígeno requerido por los organismos para su degradación. El aumento de la DBO ocasiona disminución del oxígeno disuelto, afectando la vida acuática. Las bahías de El Ostional y San Juan del Sur presentan las concentraciones más altas de DBO_5 en periodo seco y lluvioso. Si bien, la norma de calidad para aguas costeras no establece máximos admisibles (WHO, 2021). Se debe controlar la presencia de este parámetro por ser un indicador de mala calidad.

h) Nutrientes

La concentración de nutrientes en los sitios de monitoreo presentó variabilidad entre periodo de monitoreo, así como por el tipo de nutriente. Las formas nitrogenadas monitoreadas se muestran en Tabla 3. Se detectaron concentraciones de las formas nitrogenadas NT, NH_4 y NTD, en todos los sitios y en ambas campañas de muestreo. Bahía El Ostional y Escameca en periodo lluvioso registra la mayor concentración de nitrógeno total. Para las formas nitrogenadas como son nitratos y nitritos, las fosforadas y sílice no se detectaron concentraciones, lo que puede estar asociado a los límites de detección del método de análisis empleado, las bajas concentraciones de nutrientes indica que estas aguas no están sujeta a contaminación antrópica.

Las concentraciones de formas nitrogenadas en aguas costeras poco profundas (entre 0.5-50m) y en época lluviosa se relaciona a aportes de descarga de ríos, interacciones interfaz sedimento-agua o directamente fijación de nitrógeno atmosférico a través de las precipitaciones esto es importante ya que la presencia de especies nitrogenadas en los ecosistemas marinos poco profundo se ha relacionado a descargas fluviales e interacción de la interfaz sedimento-agua (Herbert, 1999; Jickells, 1998).

En periodo seco se registran concentraciones de formas nitrogenada, fosforadas y sílice en todos los sitios de monitoreo. Las concentraciones de NT y NTD disminuyen considerablemente, las concentraciones de nitrito, nitrógeno amoniacal, fósforo total, ortofosfato y sílice incrementan respecto a los valores que registran en invierno. Pese a que en este periodo no hay escorrentía superficial que pueda aportar a las concentraciones de estos nutrientes, por lo que los valores registrados pueden estar asociado al movimiento del viento sobre las capas superficiales de las costas, este movimiento del viento ocasiona que se produzca el bombeo de Ekman, un enfriamiento del agua por el desplazamiento de la termoclina, generando afloramientos costeros (Broenkow, 1959; Eppley & Peterson, 1979; Fiedler, 2002; Fiedler & Talley, 2006; Trasviña et al., 1995).

Tabla 3. Concentración de contenido de las distintas formas nitrógeno, fósforo y sílice.

Parámetro	Periodo lluvioso			
	El Ostional	Escameca	La Flor	San Juan del Sur
NT (mg. L ⁻¹)	6.054	3.953	1.854	1.859
N-NH ₄ (mg. L ⁻¹)	0.026	0.031	0.029	0.040
NTD (mg. L ⁻¹)	1.859	1.859	1.020	1.859
NO ₃ (mg. L ⁻¹)	<0.06	<0.060	<0.060	<0.060
NO ₂ (mg. L ⁻¹)	<0.020	0.050	<0.020	0.020
FT (mg. L ⁻¹)	<0.160	<0.160	<0.160	<0.160
FTD (mg. L ⁻¹)	<0.160	<0.160	<0.160	<0.160
FDR (mg. L ⁻¹)	<0.160	<0.160	<0.160	<0.160
SiO ₂ (mg. L ⁻¹)	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150
Periodo seco				
NT (mg. L ⁻¹)	1.4	1.4	2.247	2.247
N-NH ₄ (mg. L ⁻¹)	0.040	0.027	0.041	0.041
NTD (mg. L ⁻¹)	0.561	0.702	0.702	1.240
NO ₂ (mg. L ⁻¹)	0.160	0.007	0.026	0.020
FT (mg. L ⁻¹)	0.070	0.050	0.055	0.060
FTD (mg. L ⁻¹)	0.060	<0.160	<0.160	<0.160
FDR (mg. L ⁻¹)	<0.16	<0.160	<0.160	<0.160
SiO ₂ (mg. L ⁻¹)	0.210	0.170	0.210	0.190

Índice de calidad de agua marino-costera

La Bahía El Ostional corresponden a agua adecuada en periodo lluvioso y optima en periodo seco, es decir, oscilan entre agua de calidad deseada y agua de buenas condiciones y pocas limitaciones. La Bahía La Flor corresponden a agua optima en periodo lluvioso y en periodo seco, es decir corresponde a agua de calidad deseada. La Bahía de Escameca corresponden a agua adecuada en periodo lluvioso y optima en periodo seco, de modo que, oscilan entre agua de calidad deseada y agua de buenas condiciones y pocas limitaciones. Las aguas de la Bahía de San Juan del Sur, corresponden a agua adecuada en periodo lluvioso y en periodo seco, por lo que sus aguas presentan buenas condiciones y pocas limitaciones. Esto puede ocurrir debido al poder de dilución producto del dinamismo que tienen las corrientes oceánicas (Grey, Domínguez de Franco, & Castellero, 2014).

Tabla 4 Resultados de evaluación de índice ICAM para la preservación de Flora y Fauna de los sitios y periodos de monitoreo.

Parámetro Evaluado	Ostional Periodo Lluvioso			Ostional Periodo Seco		
	Resultados	ICAM/ Parámetro	ICAM	Resultados	ICAM/ Parámetro	ICAM
OD (mg. L ⁻¹)	8.44	Optima	Adecuada 82.8 %	9.70	Optima	Optima
pH (Unidades)	8.36	Adecuada		7.94	Optima	
DBO ₅ (mg. L ⁻¹)	1.82	Aceptable		1.00	Adecuada	
PO ₄ (mg. L ⁻¹)	<0.16	Optima		<0.16	Optima	
La Flor (Periodo Lluvioso)			La Flor (Periodo Seco)			
Resultados	ICAM/ Parámetro	ICAM	Resultados	ICAM/ Parámetro	ICAM	
OD (mg. L ⁻¹)	7.8	Optima	Optima 91.33 %	9.20	Optima	Optima 92.85 %
pH (Unidades)	8.35	Adecuada		8.01	Optima	
DBO ₅ (mg. L ⁻¹)	1.01	Adecuada		1.30	Adecuada	
PO ₄ (mg. L ⁻¹)	<0.16	Optima		<0.16	Optima	
Escameca (Periodo Lluvioso)			Escameca (Periodo Seco)			
Resultados	ICAM/ Parámetro	ICAM	Resultados	ICAM/ Parámetro	ICAM	
OD (mg. L ⁻¹)	7.52	Optima	Adecuada 86.59 %	8.00	Optima	Optima 94.69 %
pH (Unidades)	8.36	Adecuada		8.01	Optima	
DBO ₅ (mg. L ⁻¹)	1.52	Adecuada		1.00	Adecuada	
PO ₄ (mg. L ⁻¹)	<0.16	Optima		<0.16	Optima	

	San Juan del Sur (Periodo Lluvioso)			San Juan del Sur (Periodo Seco)		
	Resultados	ICAM/ Parámetro	ICAM	Resultados	ICAM/ Parámetro	ICAM
OD (mg. L ⁻¹)	7.17	Optima	Adecuada 89.29%	8.10	Optima	Adecuada 87.99%
pH (Unidades)	8.32	Adecuada		8.00	Optima	
DBO ₅ (mg. L ⁻¹)	1.13	Adecuada		1.77	Aceptable	
PO ₄ (mg. L ⁻¹)	<0.16	Optima		<0.16	Optima	

CONCLUSIONES

Tanto los parámetros fisicoquímicos y nutrientes muestran un comportamiento entre épocas de muestreos, estos influenciados por la dinámica de los vientos que producen un dinamismo entre las corrientes de las aguas en los sitios de monitoreos. Siendo aguas de las bahías corresponden a aguas de océanos saludables, que pese a los procesos de surgencias que experimentan, no se incrementan las concentraciones peligrosas los nutrientes. Las Bahías El Ostional, La Flor, Escameca y San Juan del Sur poseen agua de buena calidad, que oscila entre agua de la calidad deseada y agua de buenas condiciones y pocas limitaciones. La excelente calidad fisicoquímica y de nutrientes crean las condiciones para el desarrollo de la biodiversidad de las bahías y el área de tránsito de especies que migran desde largas distancias.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación ha sido posible gracias: al Programa de fondos concursables para el financiamiento de investigaciones, denominado Fondos Propios para la Investigación (FPI) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), coordinado por la Vicerrectoría de Investigación, Posgrado y Extensión Universitaria a través de la Dirección de Investigación, que financio este FPI 14201804. Al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), que actuó como contraparte a través de la asignación de tiempo para el desarrollo de la Investigación, logística y financiamiento para completar los análisis, lo cual fue coordinado por el Área de Investigación y Desarrollo del Centro. A PASO PACIFICO por su apoyo logístico y de acompañamiento a los sitios de monitoreo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, E. J., & Cortés, J. (2012). Atmospheric forcing of cool subsurface water events in Bahía Culebra, gulf of papagayo, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60(SUPPL. 2), 173–186. <https://doi.org/10.15517/rbt.v60i2.20001>
- Amador, J. A., Alfaro, E. J., Lizano, O. G., & Magaña, V. O. (2006). Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 101–142. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.007>
- Bennett, E. B. (1963). An oceanographic atlas of the eastern tropical Pacific Ocean, based on data from EASTROPIC expedition, October-December 1955. *Inter-Amer Trop Tuna Comm, Bull*, 8(2), 31–165.
- Brenes, C. L., Lavín, M. F., & Mascarenhas, A. S. (2008). Geostrophic circulation between the Costa Rica Dome and Central America. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55(5), 608–629. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2008.02.005>
- Broenkow, W. W. (1959). The Distribution of Nutrients in the Costa Rica Dome in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Limnol.Oceanogr.*, 10(1), 40–52. <https://doi.org/10.4319/lo.1965.10.1.0040>
- Caldeira, K., & Wickett, M. (2005). Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean. *Journal of Geophysical Research C: Oceans*, 110(9), 1–12. <https://doi.org/10.1029/2004JC002671>
- CAPRE. (1994). *Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano. Norma Regional CAPRE (Vol. 35)*. San José. Retrieved from <https://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/fnsp/article/viewFile/26353/20784405>
- Cromwell, T. (1958). Thermocline Topography, Horizontal currents and “Ridging” in the Eastern Tropical Pacific. *Inter-American Tropical Tuna Commision*, III(3), 135–164.
- Eppley, R. W., & Peterson, B. J. (1979). Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature*, 282(5740), 677–680. <https://doi.org/10.1038/282677a0>
- Fernández-Álamo, M. A., & Färber-Lorda, J. (2006). Zooplankton and the oceanography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 318–359. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.003>
- Fiedler, P. C. (2002). The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(2), 321–338. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(01\)00057-7](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(01)00057-7)
- Fiedler, P. C., & Lavín, M. F. (2017). Oceanographic Conditions of the Eastern Tropical Pacific, 8(October), 291–314. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4>
- Fiedler, P. C., & Talley, L. D. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 143–180. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.008>
- Grey, A., Domínguez de Franco, V., & Castillero, M. (2014). Determinación de Indicadores Físicoquímicos y Microbiológicos de calidad del agua superficial

- en la Bahía de Manzanillo. *I+D Tecnológico*, 10(1), 16–27. Retrieved from <http://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/1794>
- He, X., Pan, D., Bai, Y., Wang, T., Chen, C. T. A., Zhu, Q., ... Gong, F. (2017). Recent changes of global ocean transparency observed by SeaWiFS. *Continental Shelf Research*, 143, 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.09.011>
- Herbert, R. A. (1999). Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. *FEMS Microbiology Reviews*, 23(5), 563–590. [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(99\)00022-4](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(99)00022-4)
- Hinga, K. R. (2002). Effects of pH on coastal marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 238, 281–300. <https://doi.org/10.3354/meps238281>
- Jickells, T. D. (1998). *Nutrient Biogeochemistry of the Coastal Zone*. Science (Vol. 281). <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.217>
- Kessler, W. S. (2006). The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 181–217. <https://doi.org/10.1016/j.pcean.2006.03.009>
- Lewis, M. R., Kuring, N., & Yentsch, C. (1988). Global patterns of ocean transparency: Implications for the new production of the open ocean. *Journal of Geophysical Research*, 93(C6), 6847. <https://doi.org/10.1029/jc093ic06p06847>
- Lizano, O. G. (2008). Dinámica de aguas alrededor de la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 56(August), 31–48. Retrieved from http://piper.ots.ac.cr/tropiweb/attachments/suppls/sup56-2_Coco/03-Lizano- Algunas.pdf
- Lizano, O. G. (2016). Distribución espacio-temporal de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto alrededor del Domo Térmico de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), S135–S152. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.23422>
- Quesada-Alpízar, M. (2006). *Informe Técnico Ambientes Marino Costeros de Costa Rica*. Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica.
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to Physical Oceanography*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1969.1/160216>
- Trasviña, A., Barton, E. D., Brown, J., Velez, H. S., Kosro, P. M., & Smith, R. L. (1995). Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: The asymmetric circulation. *October*, 100(95), 649–663.
- Vivas-Aguas, L. J., & Navarrete-Ramírez, S. M. (2014). *Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP)*. (S. de P. G. del Invermar, Ed.) (INVERMAR.). Santa Marta. Retrieved from <http://www.invermar.org.co/documents/10182/14479/04+ProtocoloIndicadorCalidaddeAguaDigital.pdf/c16bd915-0b24-446b-9fe0-dbbc239111dd>
- Wang, C., & Enfield, D. B. (2001). The tropical western hemisphere warm pool. *Geophysical Research Letters*, 28(8), 1635–1638. <https://doi.org/10.1029/2000GL011763>
- WHO. (2021). *Guidelines on recreational water quality. Volume 1: Coastal and fresh waters* (Vol. 1). Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789240031302>