

Establecimiento de una línea base de parámetros de calidad de agua marina costera para la evaluación de los posibles efectos del cambio climático en Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera

Establishing baseline parameters of coastal seawater quality for the evaluation of possible climate change effects at Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa and Playa La Marinera

Verónica Castillo¹, Gisselle Guerra², Kathia Broce³

¹Universidad Tecnológica de Panamá, ²Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá,

³Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá

¹veronica.castillo@utp.ac.pa, ²gisselle.guerra@utp.ac.pa, ³kathia.broce@utp.ac.pa

Resumen— Una de las formas de ver un cambio en un proceso ambiental, es la utilización de parámetros adecuados que nos indiquen un antes y un después de estos procesos. Con esto abordamos principalmente el estudio del cambio climático, específicamente en zonas costeras. Por ello, se ha establecido una línea base de parámetros de calidad de agua marina costera con el fin de evaluar la posible relación con el cambio climático y sus efectos sobre los ambientes marinos en las costas del Pacífico y el Caribe del istmo de Panamá. Por consiguiente, se colectaron muestras de aguas marinas costeras en Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera, cuatro veces al año, dos veces por temporada desde el año 2013. Estas muestras fueron analizadas según parámetros físico-químicos y microbiológicos, siguiendo metodologías estandarizadas. Los resultados obtenidos permiten la realización de un análisis descriptivo de la calidad del agua marina costera en cada sitio de muestreo en un tiempo y espacio determinado. Se concluye que sí existe una posible relación entre la calidad del agua marina costera y la influencia de las condiciones climáticas sobre la concentración de los parámetros y su comportamiento estacional en las costas del Pacífico y Caribe de Panamá. Este estudio permite establecer una investigación a largo plazo que contribuye al conocimiento científico sobre la calidad del agua en las costas de Panamá, impulsando nuevos estudios de investigación sobre estos ecosistemas y permitiendo conocer la vulnerabilidad a la que están expuestas para prevenir y mitigar los posibles efectos del cambio climático.

Palabras claves— Agua marina costera, cambio climático, costas, parámetros de calidad.

Abstract— One way to see a change in environmental process is the use of appropriate parameters to tell us before and after these processes. With this we address primarily the study of climate change, particularly in coastal areas. Therefore, we have established a base of quality parameters of seawater coastline in order to evaluate the possible relation to climate change and its effects on marine environments in the Pacific and the Caribbean, the Isthmus of Panama. Therefore, samples of coastal seawater at Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa and Playa La Marinera, four times a year, twice per season since 2013. These samples were analyzed by physical, chemical and microbiological parameters, following standard methodologies. The results allow carrying out a descriptive analysis of the coastal marine water quality sampling at each site on a given time and space. We conclude that there exists a possible link between the coastal marine water quality and the influence of climatic conditions on the concentration of the parameters and their seasonal pattern in the Pacific and Caribbean coasts of Panama. This study allows to establish a long-term research that contributes to scientific knowledge about water quality off the coast of Panama, promoting new research on these ecosystems and allowing to know the vulnerability to which they are exposed to prevent and mitigate the possible effects of climate change.

Keywords— Coastal marine water, climate change, coasts, quality parameters.

Tipo de artículo: Original

Fecha de recepción: 13 de noviembre de 2015

Fecha de aceptación: 7 de abril de 2016

1. Introducción

Los ambientes marino-costeros incluyen diferentes tipos de hábitat, albergan una enorme riqueza de especies, son parte fundamental en

la regulación hidrológica y climática, y constituyen una importante fuente de carbono y oxígeno [1], que son elementos necesarios para la vida en la Tierra.

Debido a sus características físico-naturales y las actividades humanas que en ellas influyen, estos ambientes son altamente vulnerables a los impactos adversos de los fenómenos climáticos. Estos impactos no solo se dan en la dirección que señala el ascenso acelerado del nivel del

mar, sino también por los impactos sobre los recursos hídricos, las actividades agropecuarias, ecoturísticas, los asentamientos humanos, la diversidad biológica, migraciones humanas, migraciones de faunas, etc. [2].

Panamá tiene costas a ambos lados de su territorio, por lo tanto, es de vital importancia contar con una base de datos que describa la calidad del agua y llevar a cabo un mejor manejo y gestión sobre estos ecosistemas.

El propósito de esta investigación es el de establecer una línea base de parámetros de calidad de agua marina costera, con el fin de evaluar los posibles efectos del cambio climático en Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera. Se realizó bajo los lineamientos de la Red Mesoamericana de la Calidad de las Aguas (REMECA) y representando el inicio de las mediciones de aguas marinas costeras en Panamá.

La REMECA fue establecida en el año 2012 tras la culminación del Primer Curso Internacional sobre Monitoreo de la Calidad de las Aguas Costeras en la Región Mesoamericana y el Caribe para la medición de parámetros indicadores del Cambio Climático, organizado por la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA) con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXID) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT).

2. Áreas de estudio

Las muestras de agua de mar fueron colectadas en Punta Galeta (Costa Caribe) y Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera (Costa Pacífica). La ubicación geográfica de los puntos de muestreo se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Puntos de muestreo.

2.1 Generalidades de los sitios de muestreo

La preselección de los sitios de muestreo se realizó siguiendo los criterios de accesibilidad, seguridad, representatividad y trazabilidad establecidos en el Manual Calibrador de la red primaria de monitoreo de la calidad del agua, CONAGUA.

Posteriormente para la selección final de los sitios de muestreo se realizaron evaluaciones ambientales de sitio donde se identificaron las características básicas del lugar (tipo, posición, límites), características del hábitat (parámetros físicos, vegetación, fauna), características del cuerpo de agua (viento, fauna marina), alteraciones del cuerpo de agua (desechos, olores, color), relación de actividades humanas con el cuerpo de agua, croquis y fotografías.

2.1.1 Punta Galeta

Se localiza en el Corregimiento de Cristóbal, Provincia de Colón. Según la clasificación climática de A. McKay el clima es tropical oceánico con estación seca corta, caracterizado por una temperatura media anual de 25.6 °C en las costas y unas precipitaciones máximas de 4,760 mm y mínimas entre 40 mm y 90 mm [3].

Presenta una baja intervención antropogénica, este sitio forma parte del Paisaje Protegido Isla Galeta establecido bajo la ley 21 de 1997, con una superficie de 6.05 km² encontrándose dentro de la clasificación de bosque Húmedo Tropical [4].

2.1.2 Playa Teta

Se encuentra en el Corregimiento de San José, Provincia de Panamá Oeste. Según la clasificación climática de A. McKay el clima es tropical con estación seca prolongada, caracterizado por tener promedios anuales de temperaturas de 27 a 28°C y una precipitación anual inferior a 2,500 mm [3].

Playa Teta es drenada por el río Teta y es una zona de importancia turística por las fuertes olas.

2.1.3 Playa Hermosa

Se ubica en el Corregimiento de Boca Chica, Provincia de Chiriquí. Según la clasificación climática de A. McKay el clima es subecuatorial con estación seca, caracterizado por tener promedios anuales de temperatura de 26.5 a 27.5 °C en las tierras bajas (< 20 msnm) y una precipitación anual superior a los 2,500 mm [3].

Playa Hermosa se encuentra en una zona rural con baja actividad antropogénica y desarrollos urbanísticos, es una playa de poca pendiente y se encuentra dentro de la Ensenada de Chuchecal.

2.1.4 Playa La Marinera

Se localiza en el Corregimiento de Guánico, Provincia de Los Santos. Según la clasificación climática de A. McKay el clima es tropical con estación seca prolongada, caracterizado por tener promedios anuales de temperaturas de 27 a 28°C y una precipitación anual inferior a 2,500 mm [3].

Esta playa es una zona de anidamiento de tortugas, específicamente la *Lepidochelys olivácea* que realiza sus arribadas desde mediados del mes de julio hasta mediados del mes de diciembre, por lo tanto, se declara Zona de Reserva el 12 de agosto de 2010, contando con una superficie de 9.68 km² de los cuales 9.29 km² corresponden al área marina [5].

2.2 Zona de convergencia intertropical (ZCIT)

Según la presencia y ubicación de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en Panamá, la temporada seca se extiende desde finales del mes de diciembre hasta el mes de abril, cuando la ZCIT se desplaza hacia el sur del país y dominan los vientos intensos que provienen normalmente del Noroeste, por consiguiente, la temporada lluviosa se presenta desde el mes de mayo hasta mediados de diciembre, cuando la ZCIT se localiza al norte del país y los vientos son suaves y moderados [6].

Estas temporadas pueden variar sustancialmente de año en año y afectar los patrones de precipitación, las descargas de agua dulce proveniente de los ríos y el patrón de los vientos [7].

2.3 Geología costera

En general, los resultados obtenidos muestran que los parámetros físico-químicos presentan una mayor variación en el Litoral del Pacífico que en el Caribe.

Esto puede explicarse desde el punto de vista de la geología costera, según estudios previos citados [6], se aprecian diferencias marcadas en cuanto a la estructura de la plataforma continental, que conlleva a condiciones oceanográficas específicas para cada uno de los litorales. En el litoral del Caribe, donde se ubica Punta Galeta,

la formación es reducida y similar a lo largo de toda la costa, sin embargo, en el litoral del Pacífico, presenta una mayor variedad en la forma.

La plataforma continental a lo largo de la costa del Pacífico se encuentra entre las más dinámicas de la región; la zona del Golfo de Panamá, donde está ubicada Playa Teta, se caracteriza por una plataforma continental amplia, las regiones costeras de la Península de Azuero, donde encontramos a Playa La Marinera, presentan una plataforma continental relativamente pequeña y en la zona del Golfo de Chiriquí, donde está ubicada Playa Hermosa, el zócalo continental es mucho más variado en su extensión [8].

2.4 Fenómeno de afloramiento marino-costero

Estas características propias de cada litoral, conducen a condiciones oceanográficas distintas, que en algunos casos son más marcadas. Por ejemplo, en la Costa del Pacífico, específicamente en el Golfo de Panamá, se presenta el fenómeno de afloramiento costero, durante la temporada seca, trayendo consigo variaciones en los parámetros físico-químicos de las aguas superficiales como: disminución significativa de la temperatura del agua, aumento pronunciado de la salinidad, aumento significativo en la concentración de nitrato, fósforo total y clorofila *a* y una disminución del oxígeno disuelto por debajo de la termoclina.

Este afloramiento periódico es responsable por la alta productividad biológica de la Bahía de Panamá [7], su intensidad está correlacionada directamente, con la fuerza y tiempo de permanencia de los vientos alisios provenientes del noroeste [8].

En el Golfo de Chiriquí no se presenta este fenómeno, porque estos vientos son atravesados por la cordillera central, lo que impide el desplazamiento de la capa superficial de las aguas marino-costeras [8]. En ambos golfos durante las condiciones de no afloramiento el nivel de nutrientes en la superficie es pobre y el máximo de clorofila sucede alrededor de los 30 m, donde la termoclina intersecta la zona eutrófica y aguas pobres en oxígeno bajo la termoclina [9].

En la Costa del Caribe, estudios previos han determinado que no se presenta el fenómeno de afloramiento, por lo tanto, existe muy poco cambio en la temperatura, los nutrientes y en los organismos. Esto favorece las condiciones oligotróficas y el desarrollo

de los arrecifes de coral, los cuales son un componente importante en los hábitats de esta costa [10].

2.5 Descargas continentales y precipitación

Las descargas continentales y los niveles de precipitación son aspectos importantes que afectan las propiedades del agua marina. Según el IGNTG, la vertiente del Caribe abarca el 30% del territorio nacional, con 18 cuencas hidrográficas, mientras que la del Pacífico abarca el 70% restante, con 34 cuencas hidrográficas.

Según datos hidrometeorológicos históricos registrados por ETESA, la región del Pacífico se caracteriza por abundantes lluvias, de intensidad entre moderada a fuerte, esto se asocia, generalmente, con los sistemas atmosféricos bien organizados, como las ondas y ciclones tropicales (depresiones, tormentas tropicales y huracanes), y a la ZCIT.

La región del Caribe se caracteriza por registrar lluvias durante todo el año, asociadas a los sistemas atmosféricos tropicales que se desplazan sobre la cuenca del Caribe, a la brisa marina y al calentamiento diurno de la superficie terrestre.

2.6 Mareas y corrientes costeras

Otros aspectos importantes son las mareas y las corrientes costeras. La costa del Pacífico presenta una marea semi-diurna, dependiendo de la zona litoral, la amplitud de la marea puede alcanzar 6 o 7 m, mientras que la costa del Caribe presenta una marea mixta (diurna/semi-diurna), poco predecible, muy influenciada por las condiciones meteorológicas estacionales, con una amplitud máxima de unos 50 centímetros [6]. Estas variaciones tienen impacto sobre la calidad del agua [7].

En cuanto a las corrientes en la costa del Pacífico se observan dos patrones de corrientes dominantes que viajan en direcciones opuestas. La corriente de Colombia que asciende por la provincia de Darién y realiza un recorrido en dirección este-oeste, atenuándose en la provincia de Los Santos; en términos generales, se presenta con más fuerza durante la estación lluviosa y la corriente que prima en el Golfo de Chiriquí proviene de Costa Rica, viaja en dirección oeste-este, comienza su recorrido en la Península Burica y termina en la región de la Península de Azuero [6].

En la Costa del Caribe, la Corriente de Panamá es la principal corriente oceánica que ejerce influencia sobre esta costa. Consiste de una deriva superficial con

dirección Este, producto de la colisión de la corriente del Caribe (que tiene dirección preponderantemente Oeste) con las costas de Nicaragua y Costa Rica.

Este fenómeno crea un contragiro perpetuo, que ejerce una gran influencia en la distribución de los organismos en las costas de Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Colombia, habitualmente las corrientes oceánicas se acercan más a la costa durante la estación seca, cuando los vientos predominantes del norte, la empujan contra las costas del Caribe panameño [6], estas corrientes afectan la calidad del agua.

3. Cambio climático

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC) define el cambio climático como una alteración sobre los parámetros meteorológicos con respecto al historial climático local, regional o global, por causas naturales y antropogénicas. Sin embargo, la definición dada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), describe el término solo para referirse al cambio climático atribuido por causas humanas.

De esta manera, se entiende por cambio climático como: “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables” [11].

Un cambio en el clima puede ser ocasionado por: forzamientos externos que incluye inestabilidad en la atmósfera o el océano y forzamientos internos que incluyen cambios en la intensidad de la radiación solar recibida o cambios provenientes de las actividades humanas [12].

3.1 Cambio climático en las regiones costeras

Los océanos forman parte de un sistema climático global en conjunto con el aire, la tierra, el hielo y la vegetación, siendo el sol la principal fuente de energía. Los océanos también sustentan el ciclo hidrológico de la Tierra por su interacción constante con la atmósfera por medio de la precipitación, la evaporación, los vientos y la radiación solar [13].

Las variaciones inusuales que pueda experimentar esta interacción entre el océano y la atmósfera producto del uso de combustibles fósiles y de la gran contaminación que están

sufriendo nuestros océanos entre otros factores, pueden propiciar cambios en el sistema climático global, por lo tanto, puede afectar a los sistemas sociales y económicos.

Para conocer, medir y describir de manera apropiada la variabilidad oceánica que pudiera identificarse como una manifestación del cambio climático, es necesaria la medición y el registro sistemático regularizado de variables hidrográficas, de superficie, cinemáticas y de condición de frontera [12].

- Variables Hidrográficas Físicas, Químicas y Biológicas: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes (nitratos, fosfatos, etc.), clorofila y productividad primaria.
- Variables de Superficie: nivel del mar, temperatura del aire, presión atmosférica, radiación incidente, emitida y neta; nubosidad, evaporación, precipitación y temperatura de la superficie del mar.
- Variables Cinemáticas: perfiles de la velocidad del agua de mar (corrientes marinas).
- Variables de Condición de Frontera: viento y esfuerzo del viento sobre el mar, descarga de ríos y batimetría de alta resolución.

4. Metodología

Siguiendo los criterios que desarrolla la REMECA, la colecta de las muestras para el estudio de la calidad del agua se realizó cuatro veces al año, dos veces por cada temporada desde el año 2013.

4.1 Colecta y medición de las muestras

- Como reconocimiento del sitio se midieron las siguientes condiciones ambientales: temperatura, humedad relativa y presión barométrica, además se determinó el color aparente del agua utilizando tablas de color para el agua de mar, se anotó en la bitácora de campo.
- Las coordenadas de los puntos de muestreo se determinaron utilizando la modalidad de navegación del GPS.
- Las muestras de agua se colectaron en la zona de subida y bajada de las olas a una profundidad de 30 cm desde la superficie del agua, utilizando botellas de plásticos estériles de 250 mL para el parámetro de enterococos, de vidrio color ámbar de 1 L para el parámetro de clorofila *a* y de plástico de boca grande de 1 L para los nutrientes inorgánicos.
- Las botellas para las muestras de agua se llenaron en

el siguiente orden: enterococos, clorofila *a*, nitrito, nitrato y fósforo total. Cada envase con su etiqueta indicado las características de cada muestra.

- Se realizaron blancos de campos y duplicados de muestras para cada uno de parámetros con el propósito de garantizar la calidad analítica.
- En campo se midieron los siguientes parámetros físico-químicos: potencial de hidrógeno, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y temperatura del agua, se anotó en la bitácora de campo.
- Las muestras colectadas para el análisis de enterococos, clorofila *a* y nitrito fueron preservadas con hielo para mantenerlas a una temperatura menor de 4°C y las muestras para el análisis de nitrato y fósforo total con 2 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) por litro a una temperatura menor de 4°C.

4.2 Análisis de las Muestras

- Los métodos analíticos de laboratorio se realizaron siguiendo las metodologías estandarizadas que se describen en el Manual establecido en el Curso Internacional sobre monitoreo de la Calidad de las Aguas Costeras en le Región Mesoamericana para la Medición de Parámetros Indicadores del Cambio Climático, bajo la dirección del Centro de Referencia Especializada de Aguas Salinas (CREAS), fundamentados en metodologías estandarizadas de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y el Standard Methods para el análisis de aguas y aguas residuales [14], como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Métodos analíticos

Parámetro	Prueba y Nomenclatura
Potencial de Hidrógeno	Análisis de agua - Determinación del pH (SM-4500HB).
Salinidad / Conductividad	Análisis de agua - Determinación de la Conductividad Electrolítica (SM-2510B).
Oxígeno Disuelto	Análisis de agua - Determinación de Oxígeno Disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas (SM-4500).

Enterococos	Establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de Calidad de Playa (SM 9223-B).
Clorofila <i>a</i>	Determinación de Clorofila <i>a</i> , <i>b</i> , <i>c1</i> + <i>c2</i> y Feopigmentos por In Vitro en alga marina y de agua dulce por electrofotometría visible (EPA-446.0).
Nitrógeno de Nitritos	Análisis de Agua - Determinación de Nitrógeno de Nitritos en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas (SM-4500-NO ₂ B).
Nitrógeno de Nitratos	Análisis de Agua – Nitrógeno; Nitratos – Nitritos (Espectrofotométrico, Reducción con Cadmio) (EPA-353.3).
Fósforo Total	Análisis de Agua – Medición de Fósforo (en todas sus formas) Colorimetría, Ácido Ascórbico, 2 Reactivos (EPA-365.3).

5. Resultados y discusión

Los resultados de las mediciones y los análisis correspondientes a los muestreos realizados durante los meses de marzo, mayo, agosto y octubre del año 2014

fueron complementados con datos previos obtenidos durante los meses de marzo, mayo y septiembre del año 2013, correspondientes a la temporada seca y lluviosa. En la tabla 2 se presenta el promedio y la desviación estándar de los resultados medidos durante los años 2013 y 2014.

A continuación, se presenta un análisis descriptivo de los datos preliminares obtenidos en la implementación de la línea base de los parámetros de calidad de agua marina costera en Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera.

5.1 Temperatura

La temperatura del agua de mar en Punta Galeta estuvo entre un rango de 28.20 °C hasta 29.80 °C y en las Playas de la costa del Pacífico, estuvo entre un rango de 24.4 °C hasta 31.9 °C. Es notable que las temperaturas en la superficie del agua de mar sean siempre cálidas, por la incidencia directa de los rayos del sol, el agua de mar es un parámetro conservativo muy importante, ya que solo varía al ocurrir una mezcla entre masas de agua diferentes, por lo tanto, puede presentar variaciones en la temporada lluviosa al ocurrir una mayor incidencia de agua dulce [15]. Según ETESA las temporadas seca y lluviosa son más marcadas en la costa del Pacífico

Tabla 2. Media y desviación estándar de los resultados

Parámetros	Punta Galeta	Playa Teta	Playa Hermosa	Playa La Marinera
	Media ± DS	Media ± DS	Media ± DS	Media ± DS
pH	8.049 ^a ± 0.245	7.503 ^{ab} ± 0.648	7.118 ^b ± 0.362	7.433 ^{ab} ± 0.614
Salinidad (ppm)	33.689 ^a ± 1.192	30.995 ^a ± 3.735	29.132 ^a ± 4.158	32.132 ^a ± 4.101
Temperatura del Agua (°C)	29.214 ^a ± 0.537	29.338 ^a ± 2.695	30.190 ^a ± 1.306	27.937 ^a ± 1.079
OD (mg/L)	8.034 ^a ± 0.438	7.743 ^a ± 1.754	6.484 ^a ± 0.981	7.023 ^a ± 1.066
Chl <i>a</i> (mg/L)	0.034 ^a ± 0.039	0.069 ^a ± 0.032	0.099 ^a ± 0.031	0.044 ^a ± 0.052
NO ₂ (mg/L)	0.005 ^a ± 0.001	0.003 ^a ± 0.002	0.002 ^a ± 0.001	0.004 ^a ± 0.002
NO ₃ (mg/L)	0.006 ^a ± 0.006	0.108 ^a ± 0.098	0.014 ^a ± 0.008	0.100 ^a ± 0.089
PT (mg/L)	0.030 ^a ± 0.040	0.188 ^a ± 0.261	0.124 ^a ± 0.144	0.261 ^a ± 0.199

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (a,b).

El análisis de Tukey no muestra diferencias significativas entre los sitios de muestreo, con excepción del pH que sí mostró diferencias significativas entre Punta Galeta y Playa Hermosa, los demás parámetros no mostraron diferencias significativas.

panameño que en la Costa del Caribe, por lo tanto, existe una mayor variación en la costa del Pacífico en relación a la Costa del Caribe.

Además de lo anteriormente expuesto, la temperatura puede variar en consecuencia al fenómeno de afloramiento, el cual se registra durante los meses correspondientes a la temporada seca en el Golfo de Panamá, bajando la temperatura a menos de 20 °C [16].

Por esta razón para la medición de marzo de 2013 la temperatura registrada en Playa Teta fue de 24.4 °C. Esta disminución de temperatura en comparación con las temperaturas registradas en los demás meses del año, podría ser consecuencia de la reciente presencia del afloramiento en los meses de enero y febrero; sin embargo, en el Golfo de Chiriquí no se observa este fenómeno y la temperatura del agua se mantiene entre 27 y 29 °C [16], por esta razón, para esta misma fecha en Playa Hermosa la temperatura registrada fue de 28.8 °C.

En un estudio realizado por Kwiecinski y D' Croz (1994), en la Bahía de Panamá, durante la temporada lluviosa, sus resultados indicaron una distribución uniforme de las propiedades físico-químicas, los nutrientes y la clorofila *a*, además de presentar una ausencia de estratificación térmica, con una temperatura cerca de 29 °C desde la superficie al fondo de las estaciones en el área. Esta característica es completamente normal para el área y la temporada del año [17].

Para este mismo estudio, durante la temporada seca, los datos hidrometeorológicos históricamente indican una fuerte correlación entre el promedio anual de índice de vientos del norte y la disminución del nivel medio del mar en la Bahía de Panamá, esto es seguido por una disminución simultánea en la temperatura, sus resultados mostraron una disminución de ± 28 °C en noviembre de 1992 a 24 °C en marzo de 1993.

5.2 Potencial de hidrógeno

El valor de pH es un dato de importancia en la oceanografía, establece las características de alcalinidad o acidez de las aguas. Para el agua oceánica está establecida entre 7.5 y 8.4. La costa del Caribe tiende a ser más alcalina que la Costa del Pacífico. El pH puede variar en función de la temperatura, la salinidad, la profundidad y de las actividades de los organismos vivos [18].

Punta Galeta presentó los promedios de pH más altos en la estación seca y lluviosa con un promedio anual de

8.05 en comparación con los demás sitios de muestreo, localizados en la vertiente del Pacífico.

Playa Teta en el muestreo correspondiente a marzo de 2013 registró un valor de pH bajo durante la estación seca de 2013, esto podría ser a consecuencia del fenómeno de afloramiento [18].

Todos los valores medidos de pH se encuentran dentro de los rangos establecidos para aguas marinas y costeras; según los requisitos de calidad permisibles para las aguas marinas y costeras destinadas para uso recreativo mediante contacto directo o indirecto, establecidos en el Anteproyecto de Norma de Calidad de Aguas Marinas y Costeras de Panamá, los valores de pH deben ser menores a 6.0 o mayores a 9.0.

Un estudio realizado en la Bahía de Manzanillo, mostró valores promedios de pH entre 6.5 a 8.3, considerados dentro de los valores normales para aguas marino-costeras [19].

5.3 Salinidad

La salinidad es el parámetro más notable desde el punto de vista químico en el agua de mar y su distribución se caracteriza por incrementarse al aumentar la profundidad [15].

La salinidad es el resultado de la combinación de diferentes sales que se encuentran en las aguas marinas, siendo el cloruro de sodio conocido como sal común, que se encuentra en una mayor cantidad ocupando un 80% del total de las sales. En estudios anteriores se ha determinado que la salinidad en la costa del Caribe fluctúa entre 24.5 ppm a 37.2 ppm, mientras que, en la costa del Pacífico la misma fluctúa entre 21.5 ppm a 34.9 ppm [6].

En términos generales la salinidad también puede sufrir variaciones según la temperatura y las aportaciones de agua dulce, por lo tanto, en las zonas costeras de los trópicos la salinidad presenta variaciones estacionales notables, aumentando en la temporada seca y disminuyendo en la temporada lluviosa [18].

En la costa del Caribe no se registraron grandes fluctuaciones de salinidad en comparación con la Costa del Pacífico, que presenta mayores fluctuaciones entre las temporadas.

En la Costa del Pacífico, los sitios que presentan una salinidad más baja, están sujetos a descargas de agua dulce como pequeñas quebradas en Playa Hermosa y el Río Teta en Playa Teta.

En un estudio realizado por Kwiecinski y D' Croz (1994), en la Bahía de Panamá para la temporada lluviosa, el promedio de salinidad fue de 30 ppm, concluyéndose que esto se relaciona a la influencia del drenaje continental, proveniente de los ríos más cercanos. Esta característica es completamente normal para el área y la temporada del año [17].

Para este mismo estudio, durante la temporada seca, debido al afloramiento, se registró un aumento en la salinidad de ± 27 ppm en noviembre de 1992 a ± 34 ppm en marzo de 1993.

Para la costa del Caribe, específicamente en la Bahía de Limón, para la temporada lluviosa, se observó una muy baja salinidad variando entre 25 y 20 ppm.

Los resultados de un estudio realizado en el Golfo de Panamá y el Golfo de Chiriquí, mostraron que las características de las aguas superficiales en el Golfo de Chiriquí son cálidas y de baja salinidad durante todo el año [8].

5.4 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en el agua de mar puede ser un indicador del grado de contaminación y de su capacidad para dar soporte a la vida vegetal y animal.

Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica que el agua es de mejor calidad, por el contrario, si el nivel de oxígeno es demasiado bajo, algunos peces y otros organismos no podrían sobrevivir. El rango de oxígeno disuelto en los océanos puede variar entre 0 a 11.9 mg/L [18].

El oxígeno es uno de los factores que relacionan los océanos con la atmósfera formando un ciclo. Cuando el oxígeno llega al mar, este se disuelve y es utilizado por los vegetales y animales para su respiración, luego el ciclo se completa con el proceso de fotosíntesis donde los vegetales verdes absorben el carbono y liberan el oxígeno nuevamente a la atmósfera, esta producción orgánica recibe el nombre de producción primaria. Por lo tanto, a una menor profundidad la cantidad de oxígeno disuelto en el mar es mayor [18].

En la tabla 2, se observa que los valores de oxígeno disuelto siguieron un patrón típico de las aguas superficiales bien oxigenadas en la superficie del mar y esto se debe a que se mantiene un equilibrio con la cantidad de oxígeno que existe en la atmósfera, caso contrario ocurre en las profundidades donde la cantidad de oxígeno depende de la temperatura [18].

En un estudio realizado en la Bahía de Panamá para la temporada lluviosa, la concentración del oxígeno disuelto en el agua varió entre 6.0 y 8.0 mg/L y para la temporada seca disminuyó en la columna de agua, por efecto del afloramiento estacional [7]. Para la costa del Caribe, específicamente en la Bahía de Limón, para la temporada lluviosa, la concentración del oxígeno disuelto en el agua superficial varió entre 5.7 a 7.0 mg/L.

Según los requisitos de calidad permisibles para las aguas marinas y costeras destinadas para uso recreativo mediante contacto directo o indirecto, establecidos en el Anteproyecto de Norma de Calidad de Aguas Marinas y Costeras de Panamá, los valores de oxígeno disuelto deben ser menores a 3.0 mg/L.

5.5 Enterococos

Los enterococos son el indicador bacteriológico más eficiente para evaluar la calidad del agua de mar para uso recreativo de contacto primario [20].

Según la Organización Mundial de la Salud, los enterococos resisten las condiciones del agua de mar y están relacionados directamente con las enfermedades gastrointestinales, respiratorias, de la piel, entre otras [21].

Tabla 3. Niveles de enterococos

Enterococos NMP/100 ml	Clasificación de la playa
0 - 500	Para uso Recreativo
> 500	No apta para uso Recreativo

La Secretaría de Salud de México establece que los criterios para clasificar las playas son de acuerdo a los niveles de la tabla 3 sobre la calidad de las aguas en cuanto al número más probable de enterococos en 100 mL. Las playas de Punta Galeta en el Caribe y Playa Hermosa y Playa La Marinera son aptas para uso recreativo, debido a que su clasificación se encuentra entre 0 y 500 NMP/100 mL.

Las playas que presentaron una baja presencia de enterococos fueron: Punta Galeta y Playa La Marinera, estos sitios se caracterizan por la conservación de la vida acuática, ya que existen normativas nacionales que velan por su protección.

Sin embargo, en Playa Teta para la medición realizada en agosto de 2014 correspondiente a la temporada lluviosa, se presentan valores de números más probable mayores a 500, posiblemente por las aportaciones de

agua dulce provenientes del Río Teta y sus tributarios, ya que para esta temporada el caudal de aportación es mayor y lleva consigo grandes cantidades de nutrientes.

En general, desde el punto de vista de calidad del agua, los cuatro sitios de muestreo, presentaron durante la temporada seca condiciones óptimas para propósitos recreativos.

5.6 Clorofila *a* y nutrientes inorgánicos (nitrito, nitrato y fósforo total)

La clorofila *a* es el principal pigmento fotosintético presente en las algas, es también un indicador del grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos y un importante índice del estado fisiológico del fitoplancton. La concentración de clorofila *a* en las costas depende en gran medida de los niveles de precipitación y del drenaje continental. En condiciones generales la mayor cantidad de clorofila *a* se presenta por encima de la termoclina [22].

Los elementos llamados nutrientes son indispensables para la producción de alimento en los océanos, están compuestos de nitrógeno, fósforo, sílice, manganeso, cobre y hierro. Estos nutrientes se encuentran en el agua de mar de una manera extremadamente diluida, pero en cantidad suficiente para cubrir las necesidades nutritivas de las plantas marinas [15].

El nitrógeno es el elemento principal de estos nutrientes y por la acción de las bacterias puede encontrarse en forma de nitritos y de nitratos participando en reacciones tanto químicas como biológicas. Este nitrógeno en el mar representa el 35% del total del océano y el otro 65% se presenta en forma de nitrógeno gaseoso [18].

El fósforo total es un parámetro crítico en la calidad de aguas, es un nutriente esencial para los organismos vivientes, ya que influye en el proceso de fotosíntesis.

Entre las fuentes antropogénicas de fósforo se consideran las aguas servidas domésticas e industriales y las fuentes no puntuales se asocian a las escorrentías provenientes de áreas agrícolas y domésticas [23].

Según Kwiecinski y D' Cruz (1994), las concentraciones de clorofila *a* y nutrientes en la bahía de Panamá dependen en gran medida de las lluvias y del drenaje superficial, ya que disminuyen, por dilución, la concentración de los nutrientes en el agua. En este estudio, en la bahía de Panamá para la temporada lluviosa, la concentración de nutrientes fue muy baja y

bastante uniforme en cuanto a su distribución vertical y horizontal; sin embargo, para la temporada seca, por efecto del afloramiento, la concentración de nutrientes aumentó en todos los niveles.

En la Bahía de Limón ubicada en la Costa del Caribe, para este mismo estudio, la temporada lluviosa, la concentración de nitratos, clorofila *a* y fósforo total fueron bastante bajas y muy uniformes. Además, las mediciones indicaron una zona costera caribe oligotrófica en el que el nitrato-nitrito se repone a través de entrada terrestre por la escorrentía de agua dulce. Sin embargo, no hubo evidencia notable de la entrada de fósforo total a través de tal escorrentía.

Las mediciones por temporada de la calidad de agua en los cuatro sitios de muestreo no revelaron un marcado patrón estacional en los parámetros de nutrientes, sin embargo, son evidentes las diferencias entre la costa del Caribe y del Pacífico.

Como se aprecia en la tabla 2, se presentaron valores de clorofila *a*, nitrato y fósforo total, mayores en la costa del Pacífico. En un estudio realizado en áreas costeras de San Blas y la Bahía de Panamá concluye que la clorofila *a* es más abundante en el Pacífico donde el agua de mar es más turbia, menos salada y ligeramente más fría. En la estación seca durante el fenómeno de afloramiento en el Golfo de Panamá, estas diferencias se amplifican y las condiciones pueden llegar a ser eutróficas [10].

La concentración de clorofila *a* en la superficie del agua de mar se mantuvo en valores muy bajos en los cuatro puntos de muestreo, siendo el valor más alto registrado de 0.137 mg/L en Playa Hermosa para la temporada lluviosa.

Punta Galeta en el Caribe tuvo una menor concentración de NO_3 , sin embargo, las concentraciones de NO_2 fueron más altas, en comparación con los puntos de muestreo en el Pacífico durante la temporada seca y lluviosa.

Las concentraciones de nitrato más altas se registraron en Playa Teta y Playa La Marinera con valores de hasta 0.120 mg/L en comparación con los valores registrados para Punta Galeta y Playa Hermosa con valores por debajo de los 0.020 mg/L.

Según los Criterios de Calidad de Agua Marina de la región ASEAN (Association of Southeast Asian Nations) para la protección de la vida acuática los valores de N-NO_2 deben ser menores a 0.055 mg/L. En cuanto a los valores de N-NO_3 , un estudio realizado en la bahía de

Panamá y el golfo de Chiriquí mostraron valores entre 0.022 a 0.891 mg/L [8].

Las concentraciones de fósforo total en Punta Galeta, Playa Teta y Playa Hermosa para la temporada lluviosa fueron valores menores a 0.042 mg/L. Comparando ambas costas los niveles de fósforo total fueron más bajos en la Costa del Caribe que en la Costa del Pacífico.

6. Conclusiones

El establecimiento de una línea base de parámetros de calidad de agua marina costera fue satisfactorio. A partir de los datos obtenidos, se concluye que sí existe una posible relación entre la calidad del agua marina costera y la influencia de las condiciones climáticas sobre la concentración de los parámetros y su comportamiento estacional, se logró comparar los resultados obtenidos con estudios previos realizados en Panamá y conocer con mayor claridad los ambientes marino-costeros estudiados al igual que ahora se cuenta con una información valiosa que puede ser perfectamente continuada y utilizada inclusive en otros contextos.

Los resultados obtenidos sobre la calidad de agua muestran que en la costa del Caribe en comparación con la costa del Pacífico hubo una distribución más uniforme de las propiedades físico-químicas, en la costa del Pacífico se presentaron diferencias más marcadas entre la temporada seca y lluviosa, esto puede deberse a las características propias de cada litoral y las condiciones climáticas, terrestres y antropogénicas que inciden en ellas. Se recomienda la continuación de este proyecto a largo plazo con el fin de evaluar los posibles efectos del cambio climático en Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera.

7. Referencias

- [1] Fraga, J., & Jesús, A. (2008). Coastal and Marine Protected Areas in Mexico. Chennai, India: International Collective in Support of Fishworkers.
- [2] Red Española de Ciudades por el Clima. (2006). Cambio Climático en las Ciudades Costeras. Madrid, España: FEMP.
- [3] ANAM. (2010). Atlas Ambiental de Panamá. Panamá.
- [4] CREHO. (2010). Inventario de los Humedales Continentales y Costeros de Panamá. Panamá: AVINA.
- [5] MarViva. (2011). Diagnóstico de las áreas marinas protegidas y de las áreas marinas para la pesca responsable en el Pacífico Panameño. Panamá: Fundación MarViva.
- [6] ARAP. (2010). Documento de Referencia para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) en zonas Marino Costeras y Aguas Continentales. Panamá.
- [7] Kwiecinski, B., & D' Croz, L. (1994). Oceanografía y Calidad del Agua. Scientia, Vol.8 No.2, 31-49.
- [8] D' Croz, L., & O' Dea, A. (2007). Variability in upwelling along the Pacific shelf of Panama and implications for the distribution of nutrients and chlorophyll. Estuarine, Coastal and Shelf Science 73, 325-340.
- [9] D' Croz, L., & O' Dea, A. (2009). Nutrient and Chlorophyll Dynamics in Pacific Central America (Panama). Smithsonian Contributions to the Marine Sciences. Number 38, 335-344.
- [10] D' Croz, L., & Robertson, D. (1997). CARICOMP.1997. Coastal Oceanographic Conditions Affecting Coral Reef on both sides of the Isthmus of Panamá. Proc. 8th Int. Coral Reef Symp. 2:2053-2058. Panamá.
- [11] UNFCCC. (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. Obtenido de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- [12] Martínez, J., Fernández Bremauntz, A., & Osnaya, P. (2004). Cambio climático: una visión desde México. México.
- [13] Siedler, G., Church, J., & Gould, J. (2001). Ocean Observation and Climate. Barcelona: Grafos SA Arte sobre Papel.
- [14] APHA, AWWA, WEF. (2005). Standar Methods. United States of America.
- [15] Donoso, J., & Ventura, P. (1985). Parámetros Físico-Químicos en la Bahía de Panamá durante la temporada de afloramiento. Panamá.
- [16] D' Croz, L., & Maté, J. (2004). Experimental responses to elevated water temperature in genotypes of the reef coral *Pocillopora damicornis* from upwelling and non-upwelling environments in Panama. Coral Reefs 23, 473-483.
- [17] Forsbergh, E. (1969). On the climatology, oceanographic and fisheries of the Panamá Bight. Bull Inter-Amer Trop Tuna Comm, 14:49-259.
- [18] Cifuentes, J., Torres-García, M., & Frías Mondragón, M. (2002). El Océano y sus Recursos, II. Las Ciencias del Mar: Oceanografía Geológica y Oceanografía Química. México: FCE, SEP, CONACyT.
- [19] Grey G., A., Domínguez de Franco, V., & Castellero, M. (2014). Determinación de Indicadores Físicoquímicos y Microbiológicos de calidad del agua superficial en la Bahía de Manzanillo. I+D Tecnológico, 16-27.
- [20] CEPIS. (2000). Historia y Aplicación de Normas Microbiológicas de Calidad de Agua en el Medio Marino. Panamá.
- [21] COFEPRIS. (2004). Lineamientos para determinar la calidad de

agua de mar para uso recreativo con contacto primario. México: Secretaría de Salud.

[22] Rivera, C., Zapata, A., Pinilla, G., Donato, J., Chaparro, B., & Jiménez, P. (2005). Comparación de la Estimación de la

Clorofila "a" mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 10 No. 2, 95.

[23] Sánchez de Fuentes, J. (2001). El Fósforo, parámetro crítico de calidad de agua, técnicas analíticas y de muestreo. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental.