

Study of the Water Quality of the Bay of Chame located in the Gulf of Panama, Western Panama Province from the Coastal Marine Water Quality Index - ICAMpff.

Roselvy K. Barrios O., M.Sc.¹, Ariel A. Grey G., Dr.-Ing.²

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, rosely.barrios@utp.ac.pa

² Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, ariel.grey@utp.ac.pa

Abstract– Two sampling campaigns (dry period and rainy period) were carried out in seven points located within the Bay of Chame, province of Panama Oeste.

The objective was to determine the water quality of this site, subject to different pressures such as: large number of urban settlements, construction of large tourism projects, presence of high amounts of fecal coliforms, enterococci and total coliforms, using the quality index of Coastal marine water (ICAMpff) which is a status indicator, through which a general analysis of water quality can be performed at different levels, as it facilitates the interpretation of natural conditions and determines the vulnerability of the marine water resource and coastal, facing potential threats such as the anthropogenic impact of human activities, and is focused on the preservation of flora and fauna. In the seven points chosen seven variables were analyzed between physicochemical and biological to know the quality of the water.

Statistical analysis was also carried out whose results indicate that the variables that most influence ICAMpff are dissolved oxygen and fecal coliforms (E. coli). In general, it was concluded that the waters of Chame Bay obtained a score of 72.44, which according to ICAMpff are classified as adequate to sustain high aquatic biodiversity.

Keywords: water, biodiversity, quality index, coliforms, pollution.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.166>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Calidad del Agua de la Bahía de Chame ubicada en el Golfo de Panamá, provincia de Panamá Oeste a partir del Índice de Calidad de Agua Marino-Costera, ICAM_{PFF}.

Roselvy K. Barrios O., M.Sc.¹, Ariel A. Grey G., Dr.-Ing.²

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, roselvy.barrios@utp.ac.pa

² Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, ariel.grey@utp.ac.pa

Resumen– Las aguas marino-costeras con buena calidad son imprescindibles para sostener una alta biodiversidad. La evaluación de la calidad del agua es indispensable para conocer las condiciones del recurso hídrico y adoptar las medidas necesarias en caso de contaminación. El objetivo de este estudio fue determinar la calidad del agua de la bahía de Chame, para ello se realizaron cuatro muestreos en el año 2019, dos veces por periodo estacional, en siete puntos donde se analizaron siete variables entre fisicoquímicas y biológicas, utilizando el índice de calidad de agua marino-costera (ICAM_{PFF}) que es un indicador de estado, que realiza un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles, ya que facilita la interpretación de las condiciones naturales y determina la vulnerabilidad del recurso hídrico marino-costero, frente a amenazas potenciales como el impacto antropogénico de las actividades humanas, y está enfocado a la preservación de flora y fauna. También se realizó un ANOVA que indica que las variables que más influyen sobre el resultado del ICAM_{PFF} son el oxígeno disuelto y *E. coli*. De acuerdo con el ICAM_{PFF}, la Bahía de Chame mantiene una calidad de agua adecuada para sostener una alta biodiversidad acuática, pero presenta periodos donde algún indicador muestra peligros para el ecosistema. Este estudio contribuye al conocimiento científico sobre la calidad del agua marino-costera de la Bahía de Chame y demuestra la importancia de la implementación del ICA como una herramienta de utilidad para la categorización, gestión, preservación y toma de decisión sobre las áreas marino-costeras.

Palabras clave: agua, biodiversidad, índice de calidad, coliformes, contaminación.

I. INTRODUCCIÓN.

Las huellas de las actividades humanas se encuentran en todos los océanos, aunque las áreas oceánicas aún se encuentran relativamente limpias, en la mayoría de las áreas costeras del mundo han sido reportados daños por contaminación.

Particularmente las bahías y estuarios, debido a sus múltiples usos como proveedor de diferentes bienes y servicios a las poblaciones, son objeto de presiones ambientales, así como graves conflictos, que afectan significativamente las pesquerías costeras y marinas y los recursos a nivel mundial [1]. Por consiguiente, el control de la contaminación acuática, sedimentos y la protección de los organismos, se han identificado como una necesidad inmediata para el manejo sostenible y conservación de los recursos acuáticos y los hábitats [2]; [3].

En la valoración de la calidad del agua marino-costera se han planteado estrategias complejas como los índices de calidad, que se basan en ponderaciones de múltiples variables seleccionadas de acuerdo con el uso del agua [4]; [5]. El desarrollo de estos índices conlleva a una categorización de las áreas y constituye una herramienta útil en la toma de decisiones.

Con este estudio se contribuye al conocimiento de la condición actual del agua marino-costera de Panamá, específicamente de la Bahía de Chame.

Se comprobó la hipótesis de que la Bahía de Chame exhibe una mejor calidad de su agua en el periodo seco, en comparación con el periodo lluvioso y se tiene por objetivo, analizar la calidad del agua marino costera de la Bahía de Chame a partir de la identificación y medición de las principales variables fisicoquímicas y microbiológicas que influyen en su calidad en diferentes condiciones de marea y periodos estacionales; mostrar los efectos que tienen las actividades humanas sobre las áreas marino costeras de la Bahía de Chame.

II. METODOLOGÍA.

Para el desarrollo de este estudio se utilizó el índice de calidad de agua marino costera (ICAM_{PFF}) que, es un indicador de estado, desarrollado en Colombia, a través del INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas Costeras), por medio del cual se puede realizar un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles, ya que facilita la interpretación de las condiciones naturales y determina la vulnerabilidad del recurso hídrico marino y costero, frente a amenazas potenciales como el impacto antropogénico de las actividades humanas, y está enfocado a la preservación de flora y fauna [6].

La formulación tiene una escala de cinco categorías de calidad definidas entre 0 y 100 (Tabla I) y permite resumir la información de ocho variables, las cuales son: Oxígeno disuelto (OD en mg/L), Potencial de Hidrógeno (en unidades de pH), Nitratos (NO₃⁻ en µg/L), Fosfatos (PO₄³⁻ en µg/L), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅ en mg/L), Sólidos suspendidos totales (SST en mg/L), Hidrocarburos disueltos y dispersos (en µg/L), Coliformes fecales (*E. coli*) (en NMP/100 mL), integradas con ponderaciones en la ecuación (1) de promedio geométrico ponderado. Así que las variables representan según sus valores de aceptación o rechazo una calidad o

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.166>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

condición del agua tomando en cuenta los valores de las normas nacionales o internacionales tomadas como referencia y considerados aptos para proteger el hábitat de una especie o una comunidad en los ecosistemas costeros [6].

$$ICAM = \left(\prod_{i=1}^n X_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i}} \quad (1)$$

Dónde: $ICAM_{PFF}$ = calidad del agua en función de la destinación del recurso.

$$ICAM_{PFF} = [(X_{OD})^{0.17} \times (X_{pH})^{0.14} \times (X_{SST})^{0.14} \times (X_{DBO})^{0.15} \times (X_{CTE})^{0.16} \times (X_{NO3})^{0.11} \times (X_{PO4})^{0.13}]^{1/w_i}$$

X_i = subíndice de calidad de la variable i

w_i = factor de ponderación (peso) para cada subíndice i , según su importancia dentro del $ICAM_{PFF}$, el cual es ponderado entre cero y uno.

TABLA I
ESCALA DE VALORES DEL $ICAM_{PFF}$ Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AGUA PARA LA VIDA ACUÁTICA.

Escala de calidad	Categorías del $ICAM_{PFF}$	Descripción
Óptima	Entre 100-90	Calidad excelente del agua. No presenta peligros para el ecosistema. Es adecuada para el desarrollo de todas las especies.
Adecuada	Entre 90-70	Agua con buenas condiciones para sostener una alta biodiversidad acuática. Se presentan periodos donde algún indicador muestra peligros para el ecosistema.
Aceptable	Entre 70-50	Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso. Existen signos de contaminación, como aumento en la concentración de nutrientes.
Inadecuada	Entre 50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso. Manifiesta problemas con fuentes de contaminación puntuales y no puntuales.
Pésima	Entre 25-0	Agua con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado. Posibilita el crecimiento de poblaciones elevadas de un limitado número de organismos resistentes a aguas muy contaminadas.

Fuente: Grey, Domínguez, & Castillero (2014); (Vivas-Aguas L., 2011) Wills & Irvine (1996); House (1990).

Se realizó el índice de calidad de agua para preservación de flora y fauna con siete (7) de los parámetros estipulados, redistribuyendo proporcionalmente los pesos de cada componente (Tabla II), ya que no se obtuvieron valores de hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos en los puntos de muestreo. Luego de realizar los cálculos correspondientes, se analizaron los resultados obtenidos para darle una clasificación al cuerpo de agua.

TABLA II
PESOS RELATIVOS PARA CADA PARÁMETRO DEL $ICAM_{PFF}$.

i	X_i	Unidades	w_i	Redistribución de pesos
1	Oxígeno Disuelto	mg/L	0.16	0.17
2	Coliformes Fecales (<i>E. coli</i>)	NMP/100 mL	0.14	0.16
3	DBO ₅	mg/L	0.13	0.15
4	pH	Unidades de pH	0.12	0.14
5	Fosfatos	µg/L	0.13	0.13
6	Hidrocarburos	µg/L	0.12	-
7	Nitratos	µg/L	0.09	0.11
8	Sólidos suspendidos Totales	mg/L	0.13	0.14

III. ÁREA DE ESTUDIO - BAHÍA DE CHAME.

Está ubicada en la parte occidental de la provincia de Panamá Oeste, en la estribación oriental de la Cordillera Central en la vertiente del Pacífico, con coordenadas UTM 630,197.91E - 956,299.45N y se encuentra a unos 50 km al Suroeste de la ciudad de Panamá. Es un humedal marino costero, rodeado de manglares que abarcan unos 59.576 km² y una extensión de 39.00 km² de fangales en la desembocadura del río Chame [7]; [8]. El humedal mantiene influencia mareal, siendo los principales ríos que desembocan en estos manglares: Chame, Sajalices, Capira, Camarón y Lagarto, con un área de drenaje total de 1,476 km².

Se escogieron siete (7) puntos de la bahía donde se llevara a cabo los muestreos, en función del auge de actividades humanas como el tránsito de embarcaciones, la modificación de la línea de costa, la actividad industrial, la actividad recreativa, las comunidades en desarrollo (por las descargas de aguas residuales) y de las descargas de agua natural proveniente de ríos, arroyos, etc. (Fig. 1).



Fig. 1 Área de estudio – Bahía de Chame.

Fuente: ArcGIS, 2019.

Debido a que en general, los cuerpos de agua no son homogéneos en cuanto a sus propiedades microbiológicas se realizaron cuatro (4) muestreos en cada punto, los cuales se relacionan con el auge de las actividades antes descritas.

A. Fase de campo.

Las salidas de campo se realizaron durante dos campañas: se efectuaron dos (2) muestreos durante el periodo seco, uno en el mes de enero de 2019 y uno en el mes de marzo de 2019, tomando como referencia el periodo estacional y las condiciones de mareas; se ejecutaron dos (2) muestreos durante el periodo lluvioso, uno en el mes de junio de 2019 y uno en el mes de julio de 2019, tomando como referencia el periodo estacional y las condiciones de mareas.

Quedando de esta manera:

a. Enero, un muestreo en marea alta, y un muestreo en marzo en marea baja; periodo seco.

b. Junio, un muestreo en marea alta, y un muestreo en julio en marea baja; periodo lluvioso.

Es importante resaltar que el periodo de toma de muestras estuvo influenciado por la ocurrencia del fenómeno de El Niño, según indicó la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), "que dio por hecho de octubre de 2018 a junio de 2019 las temperaturas de la superficie del mar en las partes oriental y central del Pacífico tropical fueron correspondientes a un episodio débil de El Niño"; y por el fenómeno del afloramiento costero, este último, específicamente en el periodo seco.

B. Colecta de las muestras.

En todas las estaciones de muestreo, se colectaron las muestras de agua usando la metodología de muestreo hasta la cintura que consta en que el colector se introduzca en el mar hasta la cintura y se sumerge el frasco en la columna de agua hasta unos 10-15 cm de la superficie [9].

La variable temperatura se midió in situ con un termómetro de mercurio, y se tomaron muestras de agua en cada punto para el análisis en laboratorio de pH, salinidad, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, nitratos, fosfatos, DBO₅, coliformes totales y fecales (*E. coli*), enterococos y vibrio, utilizando una botella de polietileno de alta densidad de 250 ml, dos envases estériles desechables con tapa y rosca y un frasco Winkler de 300 ml.

Entre puntos se procedió a rotular todos los envases con la fecha, la hora y el sitio; colocar en el cuaderno de anotaciones la temperatura de cada punto; se limpió el termómetro con agua destilada; se añadió solución de sulfato de manganeso y solución álcali-yoduro a la muestra del frasco Winkler para fijar el oxígeno disuelto y se conservaron los envases con hielo a una temperatura de 1° C a 5° C y en oscuridad durante su transporte al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Tecnológica de Panamá en una hielera para detener los

procesos biofísicos de las muestras. No pasando de un periodo de 24 horas desde la primera toma de la muestra.

C. Análisis de las muestras en el laboratorio.

Una vez las muestras fueron llevadas al laboratorio, se inició el proceso de análisis y medición de las variables fisicoquímicas y microbiológicas de cada punto, mediante las técnicas recomendadas y establecidas por el Standards Methods of Examination of Water and Wastewater [10]

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A. Parámetros fisicoquímicos.

Oxígeno disuelto: Los valores promedios de oxígeno disuelto observados en Bahía de Chame oscilaron entre 4.70 y 6.85 mg/L en el periodo seco y de 4.10 a 6.35 mg/L en el periodo lluvioso. Cabe señalar que en los dos periodos se registraron valores aceptables, adecuados y óptimos durante el muestreo, con respecto a la escala de valoración para OD del ICAM_{PPF} (Tabla III).

Nitratos: En promedio osciló entre 0.65 y 0.85 µg/L para el periodo seco, en el periodo lluvioso varió entre 0.15 y 0.45 µg/L, dando como resultado la mínima en el periodo lluvioso en el punto 6 y la máxima en el periodo seco en el punto 3 (Tabla III).

Sólidos suspendidos totales: Los SST presentaron en promedio para el periodo seco valores entre 12.00 y 121.50 mg/L y para el periodo lluvioso valores entre 10.00 y 41.50 mg/L. Se registraron valores pésimos, aceptables y adecuados durante el muestreo, con respecto a la escala de valoración para SST del ICAM_{PPF} (Tabla III).

Potencial de hidrógeno: Sus valores promedios se mantuvieron entre 7.58 y 7.87 en el periodo seco y en el periodo lluvioso entre 7.19 y 7.78. En los dos periodos se registraron valores adecuados y óptimos durante el muestreo, con respecto a la escala de valoración para pH del ICAM_{PPF} (Tabla III).

Demanda bioquímica de oxígeno: Registró valores entre 0.22 y 0.88 mg/L en el periodo seco y de 0.11 a 0.45 mg/L en el periodo lluvioso. Es importante destacar que durante el muestreo se obtuvieron valores óptimos, con respecto a la escala de valoración para DBO₅ del ICAM_{PPF} (Tabla III).

Fosfatos: Los valores promedios registrados durante el muestreo oscilaron entre 1.77 y 5.61 µg/L y entre 0.12 y 0.37 µg/L para el periodo seco y el periodo lluvioso, respectivamente. Se alcanzaron valores óptimos, con respecto a la escala de valoración para DBO₅ del ICAM_{PPF} y otros por bajo de los valores de esta escala (Tabla III).

B. Parámetro biológico.

Coliformes fecales (*E. coli*): Se presentan valores promedios que oscilan entre 10.00 y 82.00 NMP/100 ml en el periodo seco, mientras que en el periodo lluvioso se presentan valores que oscilan entre 212.00 y 4003.00 NMP/100 ml. El valor más alto obtenido se registra en el punto 7 en el periodo lluvioso y el más bajo se presenta en el punto 6 durante el periodo lluvioso. Se presentaron valores pésimos, inadecuados,

adecuados y óptimos, con respecto a la escala de valoración para Coliformes fecales (*E. coli*) del ICAM_{PF} (Tabla III).

TABLA III
PROMEDIO DE LAS VARIABLES UTILIZADAS PARA EL DESARROLLO DEL ICAM_{PF} PARA LA BAHÍA DE CHAME, MEDIDAS DURANTE EL PERIODO SECO Y LLUVIOSO.

Punto de muestreo	OD		Nitratos		SST		Coliformes F. (<i>E. coli</i>)		pH		DBO ₅		Fosfatos	
	mg/L		µg/L		mg/L		Unidades de (NMP/100 ml)		Unidades de pH		mg/L		µg/L	
PERIODO SECO / PERIODO LLUVIOSO														
	Per. seco	Per. Lluv.	Per. seco	Per. Lluv.	Per. seco	Per. Lluv.	Per. seco	Per. Lluv.	Per. seco	Per. Lluv.	Per. seco	Per. Lluv.	Per. seco	Per. Lluv.
1	6.45	5.85	0.65	0.40	12.00	11.50	82.00	1112.00	7.71	7.64	0.35	0.22	1.77	0.13
2	6.80	6.00	0.75	0.40	19.50	10.00	72.00	1198.00	7.77	7.78	0.55	0.27	2.27	0.13
3	6.40	6.35	0.85	0.45	18.00	13.50	82.00	1710.00	7.82	7.66	0.39	0.40	1.86	0.12
4	6.35	5.95	0.75	0.40	16.00	25.50	50.00	212.00	7.79	7.61	0.56	0.45	1.90	0.31
5	6.15	5.35	0.80	0.40	15.50	25.00	81.00	238.00	7.79	7.64	0.43	0.18	1.86	0.31
6	6.85	5.85	0.75	0.15	41.50	30.00	10.00	762.00	7.87	7.48	0.88	0.32	1.99	0.34
7	4.70	4.10	0.65	0.25	121.5	41.50	60.00	4003.00	7.58	7.19	0.22	0.11	5.61	0.37
Promedio	6.24	5.64	0.74	0.35	34.86	22.43	62.43	1319.29	7.76	7.57	0.48	0.28	2.47	0.24
Prom.Total	5.94		0.55		28.64		690.86		7.67		0.38		1.35	

C. Evaluación del ICAM_{PF}.

Al analizar el índice de calidad en cada punto muestreado en la Bahía de Chame, considerando el periodo estacional, se obtuvo que la calidad del agua de cada punto presentó un valor más elevado en el periodo seco y se mantuvo en el rango de adecuada, presentando una variación en el punto 7, donde el rango fue aceptable; mientras que en el periodo lluvioso la calidad del agua de los puntos varió entre los rangos de adecuada, aceptable e inadecuada (Tabla IV).

En promedio, para el periodo seco el índice de calidad del agua fue adecuado y para el periodo lluvioso fue aceptable. La mayor calidad de agua se presentó en el punto 4 (manglar) con un índice de 83.53, seguido del punto 5 (manglar) con un índice de calidad 82.05 y la menor calidad se presenta en el punto 7 (estuario) con un índice de calidad 53.71 (Tabla IV).

TABLA IV
ICAM_{PF} PROMEDIO POR PUNTOS DE MUESTREO PARA EL PERIODO SECO Y EL PERIODO LLUVIOSO.

ICAM _{PF} promedio por puntos de muestreo para el periodo seco y el periodo lluvioso.					
Puntos	Periodo Seco		Periodo Lluvioso		Promedio
	Valor del ICAM _{PF}	Σ	Valor del ICAM _{PF}	Σ	
1. Playa	87.27		70.13		76.06
2. Playa	87.12		69.89		75.66
3. Playa	86.41		66.36		72.62
4. Manglar	87.63		80.26		83.53*
5. Manglar	86.10		78.47		82.05**
6. Manglar	87.33		70.89		76.43
7. Estuario	67.94		37.62		53.71***
Promedio	84.51		66.64		
	Valor del ICAM _{PF} Σ				72.44

El ICAM_{PF} para la Bahía de Chame corresponde a 72.44, el cual se encuentran en una calidad de agua adecuada que corresponde al intervalo entre 70 – 90.

D. Análisis estadístico.

Se utilizó para el análisis de los datos el coeficiente de correlación de Spearman, ρ (rho), que es una medida no paramé-

trica de la correlación de rango (dependencia estadística o la asociación) entre dos variables aleatorias [11].

El coeficiente de correlación de Spearman mide la fuerza y la dirección de la asociación entre dos variables clasificadas [12].

Después se realizó una transformación de raíz cuadrada a todos los valores de las variables utilizadas para el ICAM_{PF} y se hizo un *ajuste por mínimos cuadrados*, este método se utiliza comúnmente para analizar una serie de datos que se obtengan de algún estudio, con el fin de expresar su comportamiento de manera lineal y así minimizar los errores de la data [13]. A partir de este ajuste se realizó un *modelo de regresión lineal*. Se obtuvo un gráfico que unifica el conjunto de datos y predice el valor medio de la variable Y (ICAM_{PF}) a partir del valor de otras variables X (las siete variables usadas para el ICAM_{PF}), el cálculo de la correlación ajustada o R ajustado expresa la influencia que tienen todas las variables sobre el ICAM_{PF}. En este caso la correlación ajustada o R ajustado es de 0.86, es decir que todas las variables utilizadas para realizar el ICAM_{PF} influyen sobre el mismo en un 86%. Esto indica también que, para la correlación hay solo un 14% de datos o variables que no fueron incluidos en el estudio, que también influyen en la calidad del agua del sitio estudiado.

Luego se obtuvo el R² ajustado, este es un valor de dependencia, por lo que, indica cuánto depende el ICAM_{PF} de cada variable utilizada para su cálculo; es una medida de precisión del modelo, un valor cerca de 1 significa que el modelo predice bien. Para el ICAM_{PF} de la Bahía de Chame el R² ajustado es de 0.75 y es significativo (p<0.0001), lo que quiere decir que, todas las variables utilizadas contribuyen en un 75% a que el índice de calidad tenga el valor que presenta (Fig. 2).

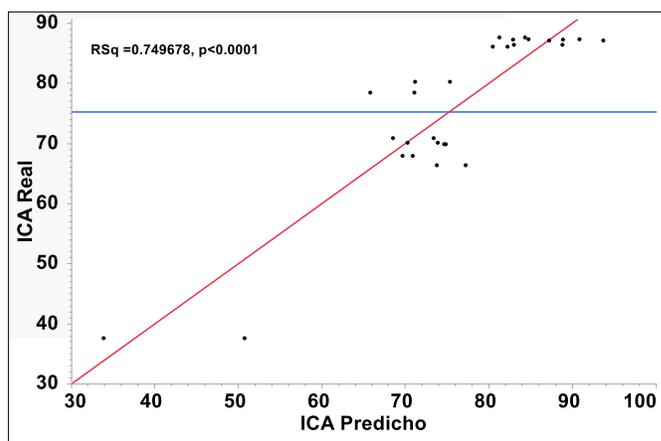


Fig. 2 Datos observados frente a predichos.

Asimismo, se logró conocer que las variables que más influyen directamente sobre el ICAM_{PF} son el oxígeno disuelto y los coliformes fecales (*E. coli*), a través de un análisis de varianza, utilizando los datos transformados a raíz cuadrada (Tabla V).

TABLA V
ANOVA DE INFLUENCIA DE LAS VARIABLES SOBRE EL ICAM_{PFF}.

ANOVA					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Modelo	7	16.031752	2.29025	12.5516	<0.0001*
Error	20	3.649333	0.18247		
C. Total	27	19.681085			
PRUEBA DE EFECTOS					
Fuente	N parámetros	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Razón F	Prob > F
OD (mg/L)	1	1	2.3702432	12.99	0.0018*
pH	1	1	0.2150343	1.1785	0.2906
Nitratos (µg/L)	1	1	0.0007986	0.0044	0.9479
Fosfatos (µg/L)	1	1	0.2735112	1.499	0.2351
SST (mg/L)	1	1	0.0067987	0.0373	0.8489
DBO5 (mg/L)	1	1	0.2972098	1.6288	0.2165
Colif. fecales (<i>E. coli</i>) (NMP/100 ml)	1	1	1.1918192	6.5317	0.0188*

Por último, se realizó la *Prueba de Wilcoxon* y *Kruskal-Wallis*, que es un análisis estadístico general para conocer si existe diferencia entre el periodo seco y el periodo lluvioso, para determinar donde existe específicamente la diferencia se realizó la *Prueba de cada par por el método de Wilcoxon*. A continuación, se muestran ejemplos de ambas pruebas con la Fig. 3 y la Tabla VI, respectivamente.

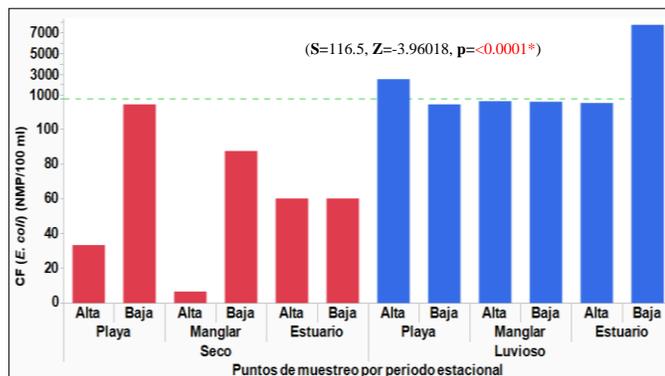


Fig. 3 Prueba de Wilcoxon y Kruskal-Wallis para coliformes fecales (*E. coli*) vs Puntos de muestreo por periodo estacional.

TABLA VI
PRUEBA DE CADA PAR POR EL MÉTODO DE WILCOXON PARA CF (*E. coli*).

Prueba de cada par por el método de Wilcoxon para CF.		
Término	S	Valor p
Periodo [Seco]	10.912828	0.0018*
Tipo_punto [Estuario]	9.4325303	0.1223
Tipo_punto [Manglar]	-8.428217	0.0705
Marea [Alta]	0.5484601	0.8605

La línea punteada en la fig. 3 corresponde a la media de coliformes fecales (*E. coli*) (690.86 NMP/100 ml). Hay diferencia entre el periodo seco y el periodo lluvioso. Los coliformes fecales (*E. coli*) en el periodo lluvioso son más altos que en el periodo seco.

E. Discusión

La Bahía de Chame comprende un agua con buenas condiciones para sostener una alta biodiversidad acuática, pero presenta periodos donde algún indicador muestra peligros para el ecosistema.

Tomando como base los resultados de los análisis estadísticos que arrojaron que los coliformes fecales (*E. coli*) y el oxígeno disuelto son las variables que más influyen directamente sobre el ICAM_{PFF}, se puede inferir que, coliformes fecales (*E. coli*) es el indicador que muestra peligro para el equilibrio del ecosistema. En la evaluación que se hizo a la Bahía de Chame durante los meses de enero a julio de 2019, se demostró que el agua de todos los puntos, considerando los promedios, exhibían altos niveles de coliformes fecales (*E. coli*), coliformes totales y enterococos, principalmente en el periodo lluvioso.

En la referencia [14], observaron que los coliformes fecales y los enterococos son los indicadores más apropiados para determinar la presencia de contaminación de origen fecal en el cuerpo de agua.

Aunque es cierto que los mares tienen una enorme capacidad para dispersar tales materiales y volverlos inocuos, la gama de la actividad humana ha tenido efecto perjudicial sobre las aguas costeras [15].

Sólo un 59% de la población local posee letrinas y, a su vez, existen varias comunidades que carecen completamente de este servicio. Aunado a esto, en los puntos de playa, se observó que a solo metros de la misma existen asentamientos humanos y negocios, lo cual afecta a los mares por aportes de microorganismos terrestres y esto repercute en la salud pública.

La excesiva entrada de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua ha llegado a convertirse en un serio problema de contaminación en zonas estuarinas semicerradas como bahías y ensenadas, ya que su forma natural evita una buena circulación de las corrientes marinas, favoreciendo así, la estada o presencia de estas bacterias en las aguas interiores [16]; [17].

Otro aspecto importante está relacionado con las lluvias, ya que durante este periodo las aguas costeras reciben un mayor volumen de aguas de escorrentía, la intensidad de las lluvias hace que fluyan los microorganismos y los nutrientes del suelo, lo cual provoca un incremento en las densidades de bacterias indicadoras de contaminación fecal y microorganismos patógenos [18].

El fenómeno del afloramiento costero tuvo influencia sobre los datos obtenidos durante los muestreos del periodo seco.

Esto se confirma en el estudio de la referencia [19] realizado en el Golfo de Panamá, donde se evidenció que notables cambios en las variables hidrológicas ocurren durante el periodo seco (enero-abril), como consecuencia del afloramiento en el Golfo de Panamá. Entre estos: la temperatura superficial del mar generalmente disminuye por debajo de 25° C entre febrero y marzo; la salinidad se incrementa en el periodo seco y la capa superficial del mar queda bien provista de nutrientes. En el presente estudio se obtuvo un promedio de 25.04° C en el periodo seco con relación al periodo lluvioso que fue de 30.25° C; la salinidad y los nutrientes tuvieron un incremento en el periodo seco 34.11ppt, 0.74µg/L (nitratos), 2.47µg/L (fosfatos) en comparación con los 30.82ppt, 0.35µg/L y 0.24 µg/L, respectivamente para el periodo lluvioso.

En el estudio de la referencia [19] también se indica que el mejor estimado cuantitativo de la intensidad de afloramiento periódico en el Golfo de Panamá es a través del efecto (temperatura). Con temperaturas más cálidas generalmente durante años de El Niño (afloramientos débiles) y temperaturas más frías durante años de La Niña (afloramientos fuertes).

En este caso el afloramiento estuvo impactado por el episodio débil de El Niño ocurrido entre octubre de 2018 a junio de 2019.

El oxígeno disuelto es esencial para la vida acuática. Está involucrado en casi todos los procesos biológicos y químicos en los cuerpos de agua. Puede ser usado para determinar el grado de contaminación por materia orgánica [20].

Las concentraciones de oxígeno disuelto en los ambientes costeros tropicales pueden exhibir importantes variaciones espaciales y temporales, reflejando cambios en la salinidad, la temperatura, la profundidad, la turbulencia, la hora del día y época del año, y la actividad biológica [21]; [22].

Aunque en condiciones de afloramiento es más bajo el contenido de oxígeno disuelto, en el periodo seco el valor promedio fue ligeramente más alto que para el periodo lluvioso, esto puede deberse a la influencia del El Niño sobre el afloramiento, ya que hace que el afloramiento sea débil, por lo tanto, el agua que surge es mucho más cálida y baja en nutrientes, lo que resulta en una fuerte reducción de la producción primaria y de la fotosíntesis [23]; también el periodo de muestreo se realizó tomando en cuenta las mareas, factor que pudo haber intervenido en los valores obtenidos.

En las referencias [24] y [25] se establece que, el oxígeno disuelto en la superficie del mar frente a las costas del Ecuador, Colombia y Golfo de Panamá presentan valores promedio de 4.0 a 5.0 ml/L. Sin embargo, puede observarse algunas veces valores menores de 4.0 ml/L y mayores de 5.0 ml/L, debido a los procesos de afloramiento y fotosíntesis, respectivamente.

La variable sólidos suspendidos totales se refiere a la cantidad de sólidos suspendidos que corren o se encuentran en un cuerpo de agua. Su principal causa la constituyen los procesos erosivos y extractivos [26].

Aunque se registraron valores pésimos, aceptables y adecuados durante el muestreo, con respecto a la escala de valoración

para SST del ICAM_{PPF}, los valores promedios para ambos periodos se posicionan como adecuados.

Los altos niveles de sólidos suspendidos totales pueden resultar dañinos a los hábitats y causar condiciones anaerobias en lagos, ríos y mares, debido a la descomposición de los sólidos, además disminuye la columna de agua, genera problemas de colmatación y reduce la penetración de luz solar al cuerpo de agua y con ello la disminución en la fotosíntesis, lo que se ve reflejado directamente sobre la cantidad de oxígeno disuelto [27].

En la evaluación de la calidad del agua es importante la variable pH, ya que influye en muchos procesos biológicos y químicos dentro de los cuerpos de agua y todos los procesos asociados con el suministro y tratamiento de esta [28].

Los cambios en el pH pueden indicar el ingreso de fertilizantes, particularmente cuando se registran mediciones continuas junto con la conductividad del cuerpo de agua y; de procesos de eutrofización, si se asocian con los ciclos de fotosíntesis y respiración de las algas. En caso de la presencia de pH bajo es indicativo de problemas muy específicos, como descargas procedentes de minerías o lluvia ácida [29].

Si bien el promedio de pH para el periodo seco fue ligeramente más alto que para el periodo lluvioso, los valores obtenidos se ajustan a los observados en condiciones de afloramiento que, siendo este un proceso natural de acidificación permite que el pH disminuya. Como los datos presentados en la referencia [30] donde el pH es menor en la zona costera con valores de 7.6 a 7.9, que coincidió con los núcleos de afloramiento y el valor más bajo de pH que se evidenció a nivel superficial fue de 7.52.

La demanda bioquímica de oxígeno es un indicador de contaminación orgánica que se usa para medir el contenido de materia orgánica y determina el oxígeno requerido por los organismos para su degradación misma. El aumento de la DBO ocasiona disminución del oxígeno disuelto, afectando la vida acuática [31].

Se obtuvieron valores óptimos durante el muestreo, con respecto a la escala de valoración para DBO₅ del ICAM_{PPF}, no obstante, es importante tener en cuenta que la DBO afecta directamente la cantidad de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua. A mayor DBO, el oxígeno se agota más rápido esto se debe a que la demanda de oxígeno por parte de las bacterias es alta y toman el oxígeno disuelto en el agua; significa que menos oxígeno está disponible para formas más complejas de vida acuática. Las consecuencias de una alta DBO son las mismas que estas para bajo oxígeno disuelto: los organismos acuáticos se estresarán, sofocarán y morirán [32].

Estimar los efectos del cambio climático en los ecosistemas marinos y sus procesos, es complejo, debido a las distintas formas en que se manifiesta mundialmente. A pesar de que existen evidencias claras de los profundos cambios en las dinámicas de ecosistemas, el conocimiento actual no permite predicciones concretas [33].

No obstante, la continua influencia de los humanos en el clima traerá como consecuencia cambios mayores en cuanto a la abundancia y a la distribución de especies marinas, con alta

implicación en la pesca, turismo, los “bienes y servicios” brindados y sobretodo en el equilibrio de los ecosistemas marinos [34]; [35]; [36].

Los impactos ecológicos de un clima cálido son ya evidentes en ecosistemas terrestres y marinos [37], con claras señales por parte de la flora y de la fauna, en todos los niveles. Por lo tanto, resulta imperante tomar conciencia y acciones en pro de mitigar las consecuencias ecológicas del cambio climático, para desarrollar estrategias que nos permitan adaptar y administrar mejor nuestros recursos, a fin de salvaguardar la tierra.

V. CONCLUSIONES

El índice de calidad de aguas marino-costeras ICAM_{PPF}, es un indicador que permite evaluar adecuadamente el estado de la calidad general del agua de la Bahía de Chame, que mantiene una adecuada calidad en sus aguas para sostener una alta biodiversidad acuática. Sin embargo, la influencia de las descargas tiene un impacto en la zona costera, donde el aumento de la concentración bacteriológica merma significativamente la calidad de las aguas, ya que la presencia de altos niveles de coliformes fecales (*E. coli*), coliformes totales y enterococos, sobrepasa los estándares internacionales para uso recreativo o de contacto.

Por esta razón y tomando en cuenta las medidas que se deben adoptar según el resultado de la calidad del agua luego de realizado el análisis mediante el ICAM_{PPF}, es necesario realizar una caracterización, diagnóstico y verificación anual del área para monitorear su calidad.

Al realizar la evaluación del ICAM_{PPF} sobre ambos periodos estacionales, se observó que existe una mejor calidad del agua en el periodo seco, en comparación con el periodo lluvioso.

Según el análisis estadístico, las siete variables utilizadas para el desarrollo del ICAM_{PPF} de la Bahía de Chame, influyen sobre el mismo en un 86%, esto indica que hay solo un 14% de datos o variables que no fueron incluidos en el estudio, que también influyen en la calidad del agua del sitio estudiado. Es por ello que para futuras investigaciones se deben incorporar además de las variables utilizadas, variables como hidrocarburos y enterococos para estudiar de forma más amplia la calidad de las aguas marino-costeras.

También es importante implementar muestreos con la finalidad de ejecutar análisis de metales pesados, análisis bacteriológicos, microalgales, de tejidos en muestras de peces y realizar un inventario de la biodiversidad acuática presente en el área.

Es necesario continuar este tipo de investigaciones y que la información generada de los resultados sirva de insumo para que las entidades responsables de elaborar y ejecutar las normas panameñas, para la calidad de aguas naturales y aguas marino-costeras, incluyan en ellas límites permisibles, registros, monitoreos, procedimientos y métodos estandarizados para garantizar el desarrollo y sostenimiento de la vida acuática y la salud de la población.

REFERENCIAS

- [1] L. Vivas-Aguas, S. Narváez-Flórez y L. Espinosa, Calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombiano. 55-71. En: Invemar (Ed.). Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2009. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No. 8, Santa Marta. 3, 2010. M. King, B. Zhu, and S. Tang, “Optimal path planning,” *Mobile Robots*, vol. 8, no. 2, pp. 520-531, March 2001.
- [2] M. Islam y M. Tanaka, Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine? sheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*. 48: 624-649, 2004.
- [3] L. Burke, Y. Kura, K. Kassem, C. Revenga, M. Spalding y D. McAllister, Coastal ecosystems. Pilot Analysis of Global Ecosystems. World Resources Institute. 50 p, 2001.
- [4] M. Miravet, O. Ramírez, J. Montalvo, Y. Delgado y E. Perigó, Índice numérico cualitativo para medir la calidad de las aguas costeras cubanas de uso recreativo. Cuba, 2009.
- [5] INVEMAR, Red de Información y Datos del Pacífico sudeste para el apoyo a la gestión integrada del Área Costera. Fase I; Informe Técnico de Avance CPPS Fase I. Santa Marta, 17p. Colombia., 2011.
- [6] L. Vivas-Aguas y S. Navarrete-Ramírez, Protocolo Indicador Calidad de Agua (ICAMPFF). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 69. Santa Marta., Colombia. 32 p, 2014.
- [7] G. Angehr, Directorio de áreas importantes para aves en Panamá. Sociedad Audubon de Panamá. Panamá, 2003.
- [8] CONFOREC, Plan de manejo de los manglares de la bahía de Chame, ubicados en las comunidades de Monte Oscuro, Sajalices, El Espavé y El Líbano, distritos de Capira y Chame, provincia de Panamá. Panamá, 2007.
- [9] J. Jover y M. García, Manual de Auxiliar de Farmacia. Módulo II. Sevilla, España, 2004.
- [10] APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, DC, United States: 22nd edition, American Public Health Association., 2012
- [11] P. Lizama, Guía de Asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS). Universidad de Chile. Chile, 2014.
- [12] R. Martínez y L. Tuya, El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman. La Habana, Cuba, 2009.
- [13] Universidad San Francisco Xavier, Regresión por mínimos cuadrados. Bolivia, 2019.
- [14] A. Herrera y P. Suarez, Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera. INCI, 30 (3):171-176., 2005.
- [15] M. Adams y M. Moss, Microbiología de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia S.A. España, 1997.
- [16] D. Justic, N. Rabalais, R. Turner y Q. Dortch, Change in nutrient structure of river dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 40: 339-356, 1995.
- [17] J. Day, J. Martin, L. Cardoch y P. Templet, System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coast. Manage.* 25: 115-153, 1997.
- [18] M. González, T. Torres y S. Chiroles, Calidad microbiológica de aguas costeras en climas tropicales. Cuba, 2003.
- [19] L. D’Croz, B. Kwiecinski, J. Maté, J. Gómez y J. Del Rosario, El Afloramiento Costero y el fenómeno de El Niño: implicaciones sobre los recursos biológicos del Pacífico de Panamá. *Tecnocencia*, Vol. 5, N°2. Panamá, Panamá, 2003.
- [20] G. Pickard, y W. Emery, Descriptive Physical Oceanography. Ed. 5. Pergamon Press. New York. 320 p, 1990.
- [21] D. Chapman y V. Kimstach, The selection of water quality variables. 51-119 En: Water quality assessments. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. D. Chapman (ed.), UNESCO/WHO/UNEP, Chapman and Hall, New York. 305p, 1992.

- [22] M. Chiappone, Conservación de la calidad del agua en áreas marinas protegidas. Estudio del Parque Nacional del Este, República Dominicana. The Nature Conservancy. 149 p. República Dominicana, 2001.
- [23] N.Gajardo, M. Marchant y D. Hebbeln, Variación temporal de los afloramientos costeros frente a Chile Central (36°S; 74°W), mediante los isótopos estables de oxígeno de foraminíferos planctónicos, durante El Niño 2006. *Gayana (Concepc.)* Vol.77 N°.1. Concepción, 2013.
- [24] O. Guillén, Condiciones oceanográficas y sus fluctuaciones en el pacífico sur oriental. Instituto del Mar del Perú. FAO, Informes de Pesca, N° 291, Volumen 3: 51-105, 1983
- [25] J. Soto, Influencia de la alta frecuencia del viento en la dinámica del afloramiento costero. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima, Perú, 2018.
- [26] Fundación Fondo Agua por la Vida y la Sostenibilidad, Protocolo Hidrológico, Protocolo Biodiversidad, Protocolo Socioeconómico. Protocolos Elaborados para Medir el Impacto de las Intervenciones del Fondo Agua por la Vida y la Sostenibilidad. Cali, Colombia, 2012.
- [27] L.Vivas-Aguas, M. Tosic, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista y L. Espinosa, Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. –REDCAM. Informe técnico 2011. INVEMAR. Santa Marta, Colombia. 229 p, 2012.
- [28] V. Chapman, Water Quality Assessments - A Guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring - Second edition, UNESCO/WHO/UNEP. Chapman & Hall, 1992.
- [29] A. Pérez y A. Rodríguez, Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.* 56 (4): 1905-1918, 2008.
- [30] V. León, A. Paulmier, J. Ledesma, P. Croot, M. Graco, G. Flores, O. Morón y J. Tenorio, pH como un trazador de la variabilidad biogeoquímica en el Sistema de Humboldt. *Bol Inst Mar Perú*, 26(1-2): 19-24, 2011.
- [31] J. Garay, G. Ramírez y J. Betancour, J, Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). Invemar, Santa Marta, Colombia, 148 p, 2003.
- [32] J. Corbit, Manual Ambiental de Referencia de la Ingeniería Ambiental. Mc Graw – Hill. España, 2003.
- [33] A. Bertranda, P. Fréona, A. Chaigneau, V. Echevinc, C. Estrella, D. Gutiérrez y J. Sueiro, Impactos del cambio climático en las dinámicas oceánicas, el funcionamiento de los ecosistemas y las pesqueras en el Perú: proyección de escenarios e impactos socio económicos. Perú, 2010.
- [34] R. Costanza, R. D'Arge y R. De Groot, R, The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387. *Nature*, 253–260, 1997.
- [35] J. Field, G. Hempel y C. Summerhayes, OCEANS 2020: Science, Trends, and Challenge of Sustainability. Washington, DC, Island Press, 2002.
- [36] B. Clark, Climate change: a looming challenge for fisheries management in southern Africa. *Marine Policy*, 30: 84–95, 2006.
- [37] P. Fréon, F. Werner y F. Chávez, Conjectures on the influence of climate change on ocean ecosystems dominated by small pelagic fish. In D. Checkley, C. Roy, J. Alheit, editors, Predicted effects of climate change on SPACC systems. Cambridge University Press, pp. 312-343, 2009.