

## Aguas Costera y Marinas

### Índice: Calidad Ambiental del Agua (ICAMPFF)

El índice de calidad ambiental de agua (ICAM) es un indicador de estado que facilita la interpretación de las condiciones naturales y el impacto antropogénico de las actividades humanas sobre el recurso hídrico marino y costero, con un enfoque para la preservación de flora y fauna (ICAMPFF).

La REDCAM evalúa la calidad de agua marina y costera con el índice de calidad (ICAM), el cual utiliza de manera integral (ecuación 1) las ocho variables mínimas oxígeno disuelto, pH, nitratos, fosfatos, sólidos suspendidos, hidrocarburos disueltos y dispersos, y Coliformes termotolerantes (Vivas-Aguas, 2011), como determinantes de procesos naturales y antropogénicos en aguas marino-costeras. Cada variable dentro de la ecuación se califica por la concentración medida, según sus valores de aceptación o de rechazo de calidad que debe cumplir con los estándares preestablecidos y que son considerados aptos para proteger el hábitat de una especie o una comunidad en los ecosistemas costeros (Beamonte *et al.*, 2004; Bianucci *et al.*, 2005). Esta calificación se ajusta a las curvas de calidad con valores entre 0 y 100 de acuerdo a la escala de descriptiva del ICAM (Tabla 1), para preservación de flora y fauna (ICAMPFF) en aguas marino-costeras.

- Promedio Geométrico ponderado: mejor ecuación de agregación por ser más sensible a cambios en las variables ambientales.

$$ICAM = \left( \prod_{i=1}^n x_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum_i w_i}}$$

### Dónde:

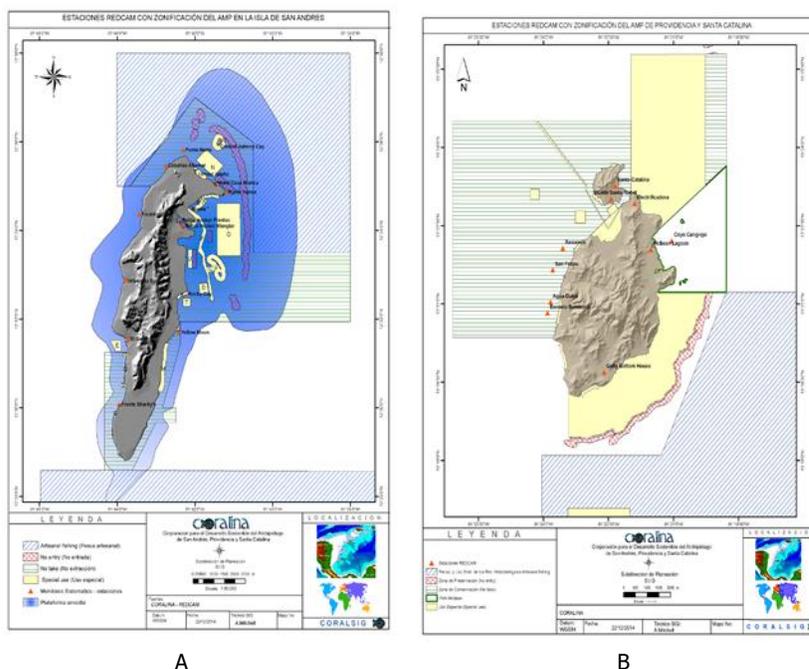
ICAM = calidad del agua en función de la destinación del recurso.

### Ecuación 1

$$ICAM = [(X_{OD})^{0.16} \times (X_{pH})^{0.12} \times (X_{SST})^{0.13} \times (X_{DBO})^{0.13} \times (X_{CTE})^{0.14} \times (X_{HAT})^{0.12} \times (X_{NO3})^{0.09} \times (X_{PO4})^{0.13}] / W_i$$

$X_i$  = subíndice de calidad de la variable  $i$

$W_i$  = factor de ponderación para cada subíndice  $i$  según su importancia dentro del ICAM, el cual es ponderado entre cero y uno.



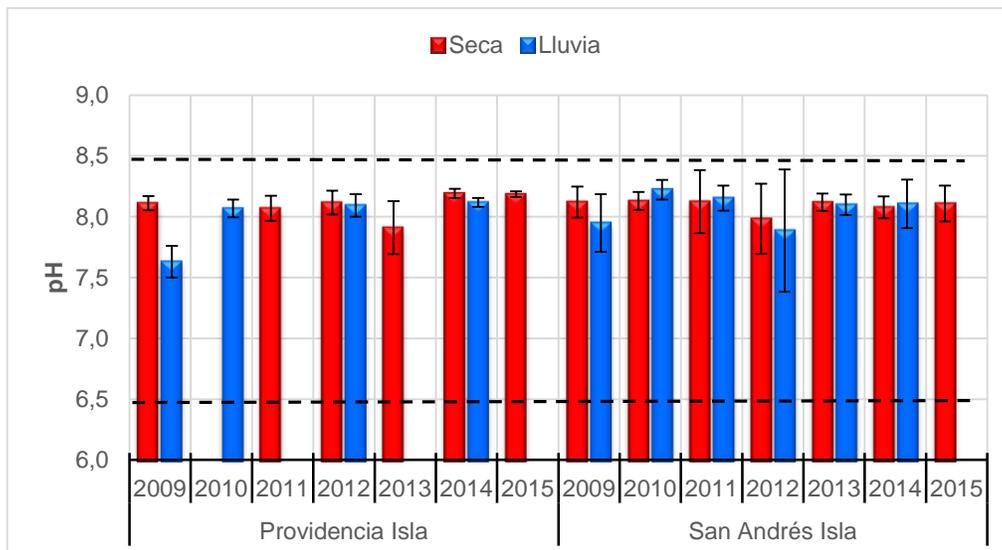
**Mapa 1.** (A.) Ubicación de las estaciones REDCAM en la isla de San Andrés, DMI Seaflower MPA. (B). Ubicación de las estaciones REDCAM en las Islas de Providencia y Santa Catalina, DMI Seaflower MPA

**Tabla 1.** Escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas – ICAM (Vivas-Aguas, 2011)

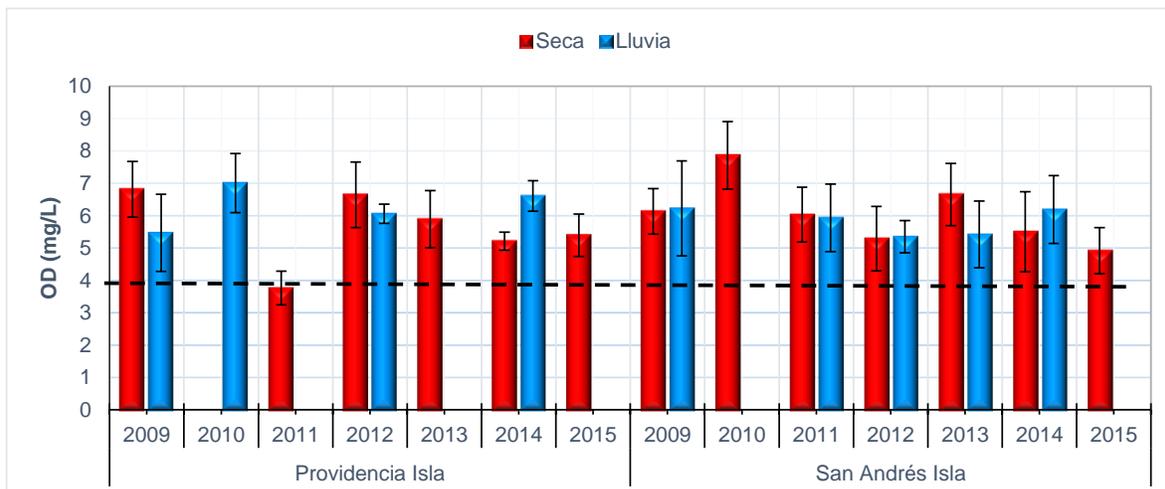
ESCALA DE CALIDAD	COLOR	CATEGORÍAS	DESCRIPCIÓN
Optima	Azul	100-90	Calidad excelente del agua
Adecuada	Verde	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática
Aceptable	Amarillo	70-50	Agua que conserva buenas condiciones pero pocas restricciones uso
Inadecuada	Naranja	50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso
Pésima	Rojo	25-0	Agua con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado

**Tabla 2.** Indicadores que conforman el ICAM, Descripción, unidad de medida, años y gráfica correspondiente

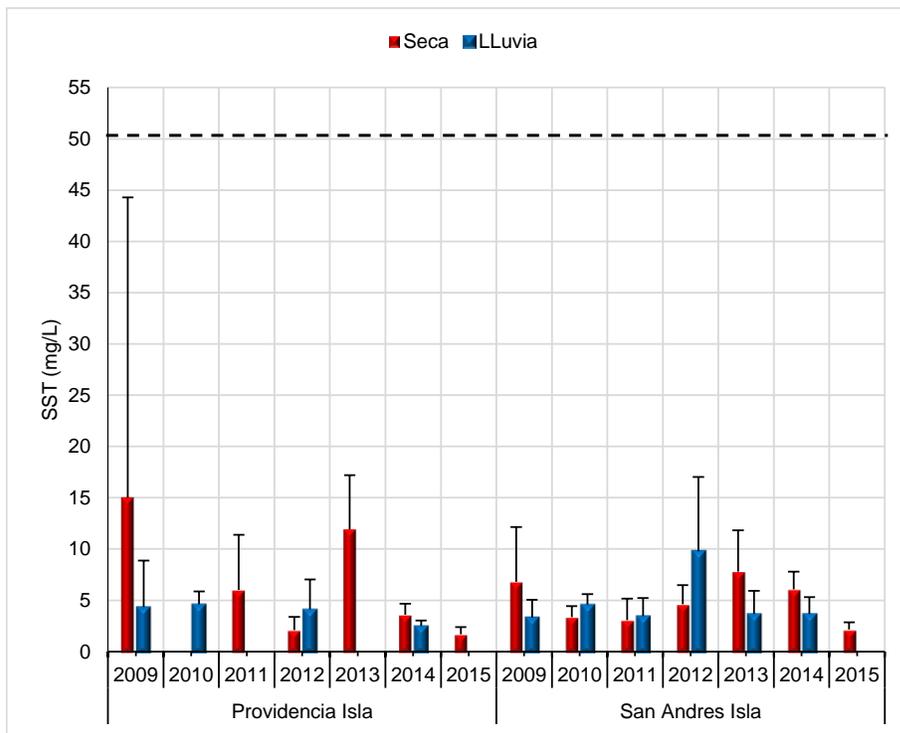
Indicador	Descripción	Expresión	Años	Gráfica
pH	Medición potenciométrica con sonda portátil (Standard Methods 4500-H B; APHA et al., 2012).	Unidad	2009 a 2015	1
Oxígeno Disuelto (OD)	Medición en campo con electrodo de membrana (Standard Methods 4500-O G; APHA et al., 2012).	(mg/L)	2009 a 2015	2
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Filtración en membrana de fibra de vidrio, secado 103-105°C y gravimetría (Standard Methods N° 2540-D, APHA et al., 2012).	mg/L	2009 a 2015	3
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	Método colorimétrico basado en la reducción con cadmio y reacción por sulfanilamida (Garay et al., 2003).	(µg/L)	2009 a 2015	4
Fosfatos (P-PO <sub>4</sub> )	Método colorimétrico del ácido ascórbico (Garay et al., 2003).	(µg/L)	2009 a 2015	5
Coliformes termotolerantes (CTE)	Fermentación en tubos múltiples método de número más probable (Standard Methods 9221-E, APHA et al., 2012).	(NMP/100mL)	2009 a 2015	6



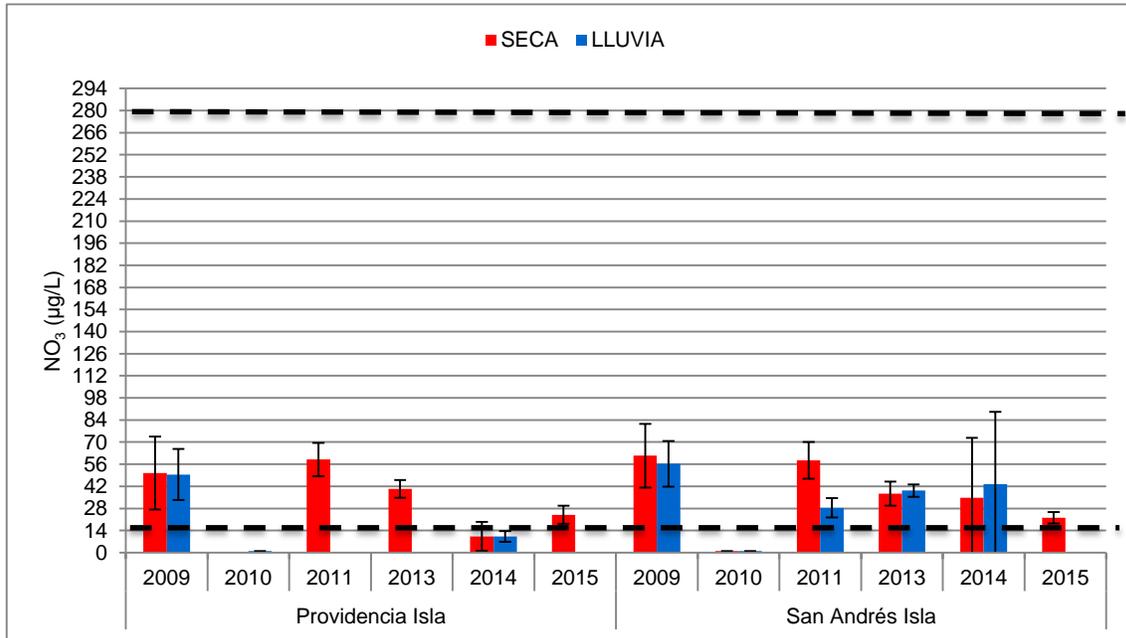
**Gráfica 1.** Variación de pH promedio del agua superficial en época seca y lluviosa en las islas de Providencia y San Andrés entre 2009 a 2015. Las barras negras representan la desviación estándar. Las líneas punteadas negras presentan los límites para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 de 1984 (6,5 – 8,5; Minsalud, 1984), tomado y modificado de Vivas- Aguas et al., (2012)



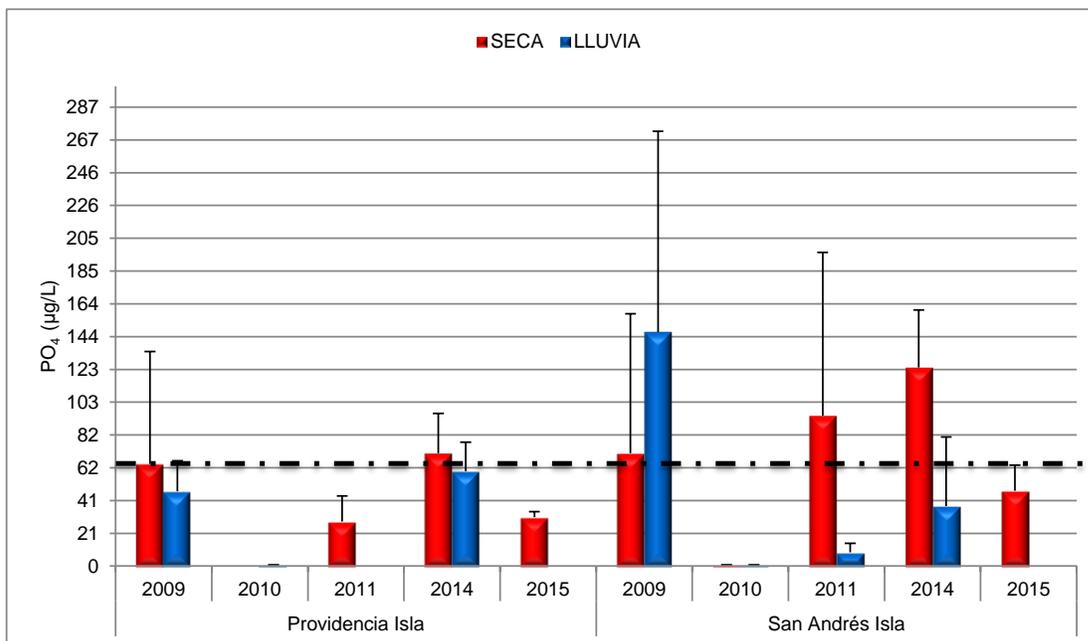
**Gráfica 2.** Variación de oxígeno disuelto (mg/L) promedio del agua superficial en época seca y lluviosa en las islas de San Andrés y Providencia entre 2009 y 2015. Las barras negras representan la desviación estándar y la línea punteada el valor de referencia (4,0 mg/L) establecido por el Decreto 1594 de 1984 para preservación de fauna y flora, tomado y modificado de Vivas- Aguas et al., (2012).



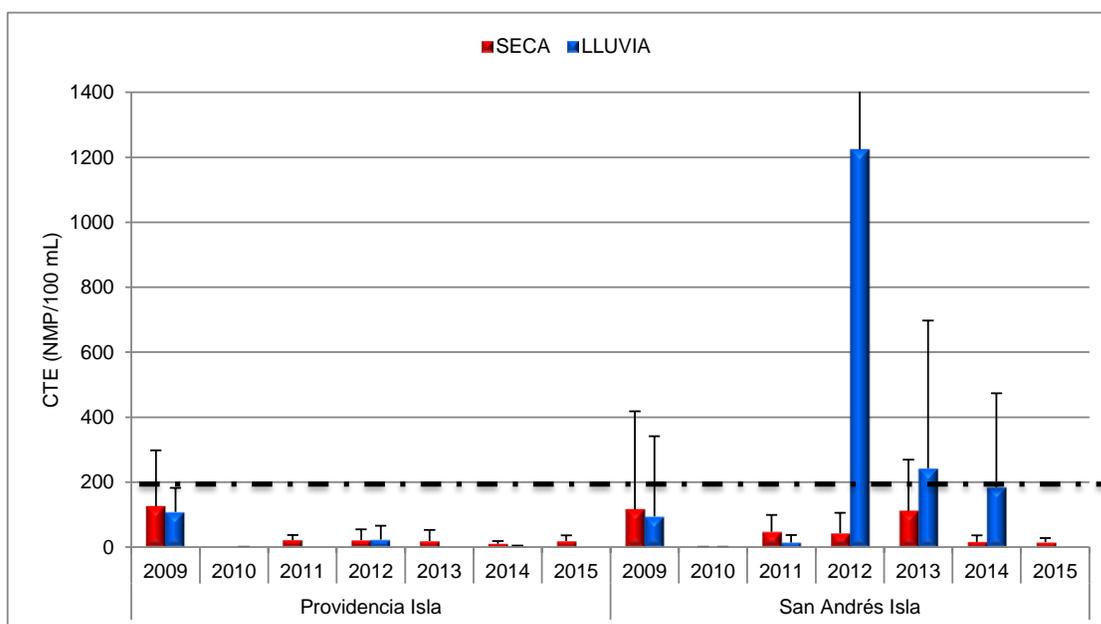
**Gráfica 3.** Variación de sólidos suspendidos totales (SST) promedio (mg/L) del agua superficial en época seca y lluviosa en las islas de Providencia y San Andrés entre 2009 y 2015. Las barras negras representan la desviación estándar. La línea negra punteada denota el valor límite para la Preservación de corales <50,0 mg/L (Fabricius, 2005), tomado y modificado de Vivas- Aguas et al., (2012)



**Gráfica 4.** Promedios históricos de la concentración de Nitratos (NO<sub>3</sub>), en las estaciones de Providencia y San Andrés entre 2009 a 2015. Las barras negras representan la desviación estándar. La línea negra punteada denota los límites de los valores para la Preservación de corales 14- 280 µg/L (Fabricius, 2005), tomado y modificado de Vivas- Aguas et al., (2012)



**Gráfica 5.** Promedios históricos de Fosfatos (P-PO<sub>4</sub>), medidos en Providencia y San Andrés entre 2009 a 2015. Las barras negras representan la desviación estándar. La línea negra punteada presenta el valor límite para la conservación de corales 62 µg/L (Fabricius, 2005), tomado y modificado de Vivas- Aguas et al., (2012)

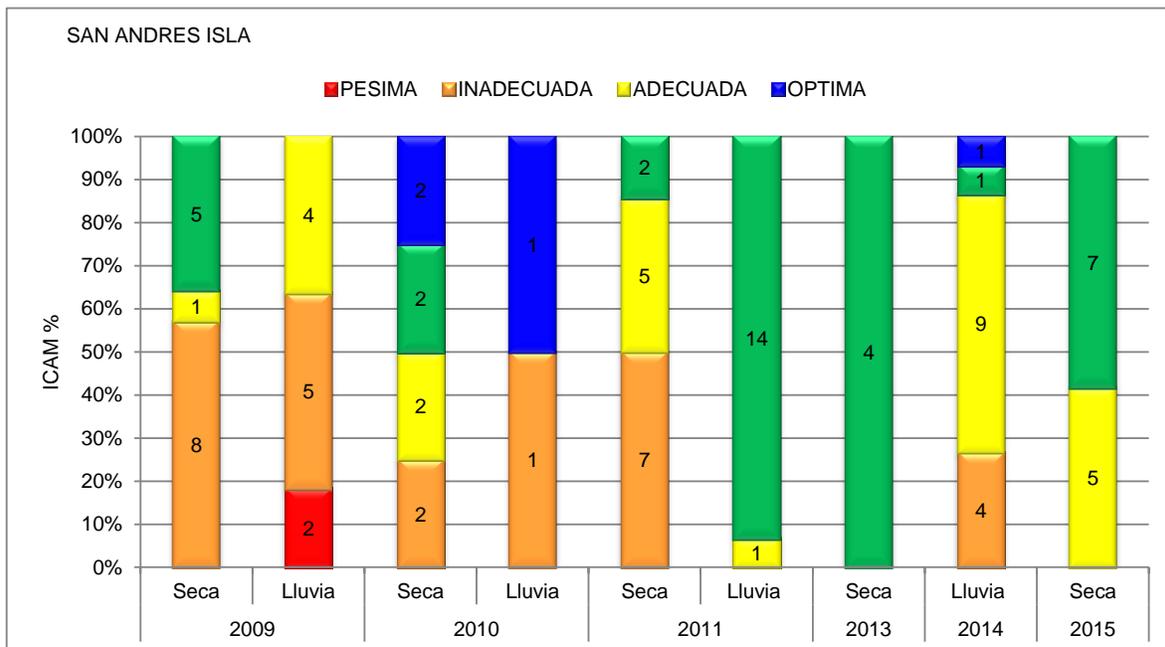


**Gráfica 6.** Concentraciones de Coliformes termotolerantes (CTE) NMP/100 mL medidas en San Andrés y Providencia entre el año 2009 y 2015 en la época lluviosa y la época seca. Las barras negras representan la desviación estándar. La línea cortada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario <200 Contacto Primario (MinSalud, 1984). Tomado y modificado Abdul-Azis et.al, 2012.

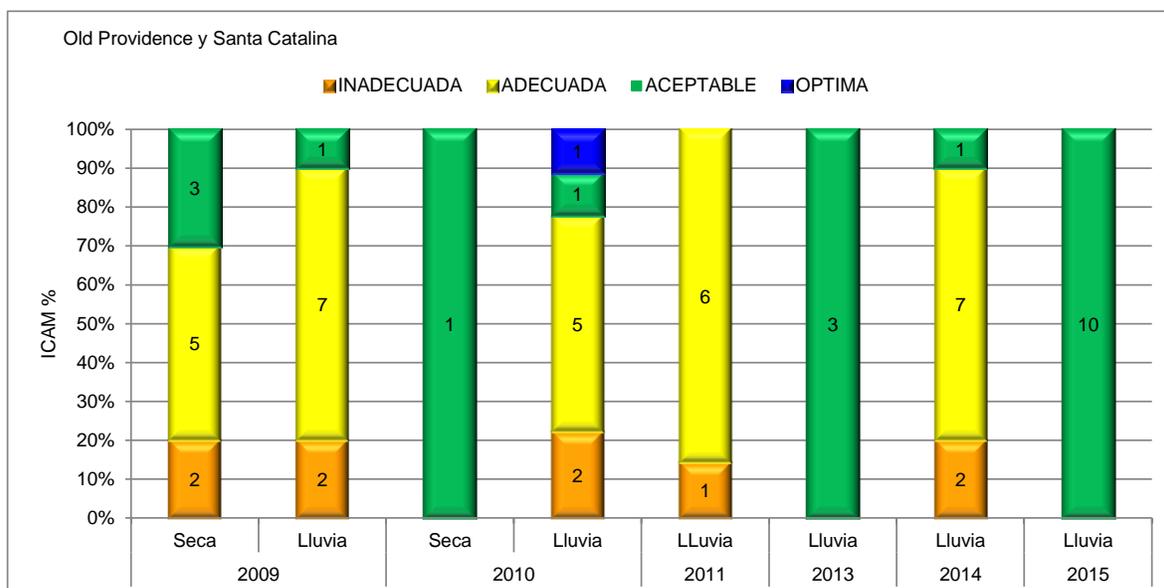
En la isla de San Andrés se muestrearon 15 estaciones en el periodo comprendido entre 2009 a 2015 durante las temporadas Seca y Lluvia; los **ICAMPFF** fluctuaron entre 19,4 y 90,4 representando las cinco categorías de calidad además se encontró el mayor número de estaciones con condición adecuada (Seca 38;5% y Lluvia 34,8%), seguido de las estaciones con condición aceptable (Seca 25% y Lluvia 32,6%), las estaciones con condición optima presentaron el 3,8% (Seca ) y 4,7% (Lluvia), las estaciones con condición inadecuada presentaron el 32,7 % (Seca) y 23,2% (Lluvia), las estación con condición pésima solo se presentaron en época de Lluvia y representan un 4,6% (gráfica 7).

En Old Providence y Santa Catalina se muestrearon 10 estaciones en el periodo comprendido entre 2009 a 2015 durante las temporadas Seca y Lluvia; los ICAMPFF

fluctuaron entre 25,2 y 93,6 representando las cinco categorías de calidad de aguas, además se encontró el mayor número de estaciones con condición Aceptable (Seca 45,5 % y Lluvia 51%), seguido de las estaciones con condición Adecuada (Seca 36,4% y Lluvia 32,7%), las estaciones con condición Inadecuada presentaron el 18,1% (Seca ) y 14,3% (Lluvia), la estación con condición Optima solo se presentó en época de Lluvia y representa el 2 % (gráfica 8).



**Gráfica 7.** Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAMPFF) durante el periodo 2009 a 2015 en las épocas de lluvia y seca en las estaciones de San Andrés Isla. Los valores en las barras representan el número de estaciones en cada categoría; los colores de las barras representan la calidad de acuerdo con la escala indicativa (Tabla 3). Tomado y modificado de Vivas-Aguas et.al, 2014



**Gráfica 8.** Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAMPF) durante el periodo 2009 a 2015 en las épocas de lluvia y seca en las estaciones de las Islas de Old Providence y Santa Catalina . Los valores en las barras representan el número de estaciones en cada categoría; los colores de las barras representan la calidad de acuerdo con la escala indicativa (Tabla 1). Tomado y modificado de Vivas-Aguas et.al, 2014.

## BIBLIOGRAFÍA

Abdul Asís y O. Bent. 2012. Contaminación Microbiológica en las islas de San Andrés y Providencia. 71-73 pp En: CORALINA – INVEMAR (Ed.).2012 Atlas de la Reserva de Biosfera Seaflower.

APHA, AWWA y WEF. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. Edición 20. American Public Health Association, American Water Works Associations y Water Environment Federation, Washington, D. C. 1325 p.

Beamonte, E., A. Casino, E. Veres y J. Bermúdez. 2004. Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana. Estadística Española. 46 (156): 357 - 384

Bianucci, S.P., A.R. Ruperto, C.A. Depettris y M.T. Clemente. 2005. Aplicación de indicadores de impacto ambiental al estudio de calidad de aguas continentales: caso de la laguna Los Lirios,



Resistencia, Argentina. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Resumen T-0.38. UNNE: [www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-038.pdf](http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-038.pdf)

Fabricius, K.E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 125–146.

Garay, J., G. Ramírez; J. Betancourt; B. Marín; B. Cadavid; L.Panizzo; J. Lesmes; H. Sánchez y A. Franco. 2003. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta, 177p

Vivas-Aguas, L.J. 2007. Calibración, validación e implementación de la batería de indicadores de la calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia. Informe Técnico de consultoría No. 0550-06. Convenio No. 001/04 OEI- MAVDT-IDEAM-INVEMAR. 41 p

Vivas-Aguas L.J. 2011. Formulación del índice de calidad de aguas costeras -ICAM para los países del Pacífico Sudeste. Documento Metodológico. Proyecto Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la Gestión Integrada del Área Costera -SPINCAM. INVEMAR. Santa Marta, 40 p

Vivas-Aguas, L.J., J.A. Garay, L.F. Espinosa, P. Abdul Asís y O. Bent. 2012. Estado de la calidad ambiental de las aguas marino-costeras y del aire en las islas de San Andrés y Providencia. En: CORALINA – INVEMAR (Ed.).2012 Atlas de San Andrés.

Vivas-Aguas, L.J., J. Sánchez J. J. Betancourt, M. Quintero, Y. Moreno, C. Santana, I. Cuadrado, K. Ibarra, M. Ríos, P. Obando y D Sánchez. 2014. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico Colombiano. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No 4 (2014). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. Informe técnico 2013. INVEMAR. Santa Marta, 314 p