



KFW



# SISTEMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA MARINA

Zona de protección especial  
marina Sandy Bay West  
End, Roatan, Honduras

Realizado por: Virginia Mosquera Salles

Junio, 2017

PROYECTO CONSERVACIÓN DE RECURSOS MARINOS EN CENTROAMÉRICA

## 1 INDICE

1	INDICE.....	i
2	Resumen ejecutivo.....	1
3	Lista de abreviaciones y acrónimos .....	3
4	Introducción.....	4
4.1	Objetivos de la consultoría.....	4
4.1.1	Objetivo General.....	4
4.1.2	Objetivos Específicos.....	4
4.2	Metodología de trabajo .....	4
5	Objetivo de monitoreo de calidad de agua marina.....	8
5.1	Recomendaciones .....	8
5.2	Objetivos de incidencia a partir de los resultados del sistema de monitoreo de calidad de agua marinas.....	9
6	Descripción del sistema de monitoreo.....	11
6.1	Identificación de puntos.....	11
6.1.1	Recomendación .....	13
6.2	Parámetros .....	21
6.2.1	Recomendaciones.....	22
6.3	Frecuencia.....	24
6.3.1	Número de datos producidos.....	24
6.4	Recomendación.....	25
7	Análisis de resultados.....	28
7.1	Fluctuaciones intra-anales.....	28
7.1.1	Enterococci.....	28
7.1.2	Temperatura.....	31
7.1.3	Oxígeno.....	32
7.2	Diferencias estadísticas entre temporadas.....	33
7.3	Tendencias inter-anales .....	34
7.3.1	Enterococci.....	34
7.3.2	Nitratos .....	36
7.3.3	pH.....	37
7.4	Diferencia entre puntos en serie.....	38
7.5	Diferencias entre parámetros superficiales-profundidad.....	38
8	Recomendaciones generales.....	41
8.1	Recomendación para construcción/llenado de base de datos.....	41
8.2	Recomendación para el seguimiento del sistema de monitoreo .....	43

8.2.1	Toma de muestras y parámetros .....	43
8.2.2	Parámetros de calidad de agua .....	43
8.2.3	Frecuencia .....	44
8.3	Recomendación para análisis de datos .....	44
8.4	Recomendación para la sostenibilidad del sistema de monitoreo de calidad de agua marina	44
8.5	Recomendación para mejorar el impacto de los resultados producidos en el sistema de monitoreo de calidad de agua marina.....	45
9	Percepciones de actores.....	47
10	Referencias Bibliográficas .....	52
11	ANEXOS.....	53
11.1	Breve Reporte de Visita a Campo.....	53
11.1.1	Salida a diferentes puntos de monitoreo .....	54
11.1.2	Guía de preguntas para diferentes actores.....	59

### Lista de Figuras

Figura 1. Promedio del periodo de monitoreo (2013-2016) de los sitios de monitoreo bacteriológico .....	14
Figura 2. Parámetros fisicoquímicos In-situ para la columna de agua (Lozano, 2013) .....	26
Figura 3. Promedio mensual entre 2013-2016 de Enterococci en los puntos RBN1-a y RBN2-a .....	29
Figura 4. Promedio mensual entre 2013-2016 de Enterococci en los puntos RB8.....	30
Figura 5. Promedio mensual entre 2013-2016 de Enterococci en los puntos RB8 (eliminando el pico de 08-2016) .....	31
Figura 6. Tendencia de la temperatura en los puntos fisicoquímicos (RM).....	31
Figura 7. Análisis del aumento de la temperatura marina.....	32
Figura 8. Niveles de oxígeno superficial para puntos fisicoquímicos.....	33
Figura 9. Evolución inter-anual de la concentración de enterococci en aguas marinas .....	35
Figura 10. Resultados de enterococci para el punto RBN3-a.....	36
Figura 11. Resultados de enterococci para el punto RB8 .....	36
Figura 12. Resultados de nitratos para diferentes sitios fisicoquímicos .....	37
Figura 13. Resultados de pH para diferentes sitios fisicoquímicos.....	37
Figura 14. Resultados de enterococci de puntos en serie .....	38
Figura 15. Diferencia de temperatura entre superficial y profundidad .....	39
Figura 16. Percepción e interés de los resultados del sistema de monitoreo de calidad de agua marina.....	50
Figura 17. Percepción del modo de uso de los resultados sistema de monitoreo de calidad de agua marina.....	51
Figura 18. Fotografía que presenta la transparencia en los sitios someros (RB) .....	54
Figura 19. Fotografía que presenta la distancia entre los sitios y la bahía .....	55
Figura 20. Fotografía que presenta la transparencia en los sitios profundos (RM).....	55
Figura 21. Fotografía que presenta la distancia entre los sitios y la bahía .....	56
Figura 22. Fotografía que presenta la distancia entre los sitios y la salida a alta mar.....	56

Figura 23. Fotografía que presenta la calidad de agua en la bahía de Mangrove Bight, altamente influenciada por drenajes humanos sin conexión o tratamiento.....57

Figura 24. Fotografía que presenta la bahía de Mangrove Bight. ....57

Figura 25. Fotografía que presenta la comunidad de pasto marino.....58

Figura 26. Fotografía que presenta la Bahía de West End desde distancia .....58

Figura 27. Fotografía que presenta el punto Mud Hole, influenciado fuertemente por el vertedero a cielo abierto de la Isla de Roatán.....59

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Descripción del código de los sitios de muestreo. ....11

Tabla 2. Sitios de muestreo en la zona de Coxen Hole.....12

Tabla 3. Sitios de muestreo West Bay .....12

Tabla 4. Sitios de muestreo West End.....13

Tabla 5. Sitios de muestreo Sandy Bay.....13

Tabla 6. Sitios de muestreo Gravel Bay .....13

Tabla 7. Sitios de muestreo Mudhole.....13

Tabla 8. Parámetros de calidad de agua por sitio. En donde <sup>2</sup>Unidades formadoras de colonia, <sup>3</sup>Número más probable, <sup>4</sup>miligramos por litro, <sup>5</sup>partes por mil, <sup>6</sup> mili voltios.....21

Tabla 9. Número de análisis in-situ.....24

Tabla 10. Número de análisis de parámetros bacteriológicos .....25

Tabla 11. Número de análisis de parámetros fisicoquímicos.....25

Tabla 12. Diferencia estadística entre época seca-lluviosa para enterococci en puntos bacteriológicos.....33

Tabla 13. Diferencia estadística entre época seca-lluviosa para temperatura en puntos fisicoquímicos .....34

## 2 Resumen ejecutivo

El presente trabajo realiza una sistematización del monitoreo de calidad de agua marina que BICA-Roatán con el apoyo financiero de MAR FUND ha realizado en el periodo del 2013-2016, en la parte oeste de la isla de Roatan, Honduras; la cual incluye el área protegida de Zona de Protección Especial Marina Sandy Bay West End. La sistematización del monitoreo de calidad de agua marina tiene como objetivo general el evaluar las acciones de este proyecto no solo para normalizarlo y mejorarlo dentro de la isla de Roatan sino para lograr utilizar este como una guía para la implementación en las demás islas de las Islas de la Bahía, Honduras.

La sistematización del sistema de monitoreo de calidad de agua marina tiene tres fases de elaboración: fase de gabinete (para revisión de documentos), visita a campo (para entrevistas con actores ejecutores y posible usuarios) y fase de cierre (orden de base de datos, elaborar el informe que incluye la evaluación del objetivo del sistema de monitoreo, descripción del sistema de monitoreo, análisis de resultado, presentación de recomendaciones y presentación de percepciones de los actores).

Se presentan cuatro grandes resultados: primero la evaluación y reestructuración del objetivo, ya que el sistema de monitoreo no responde a los objetivos planteados inicialmente. Esto debido a que para lograr completar los objetivos iniciales el sistema de monitoreo tenía que abarcar más puntos (no solo marinos), tener mayor frecuencia e identificar más parámetros a medir. Esto no significando que el sistema de monitoreo actual tiene grandes fortalezas para describir el deterioro de la calidad de agua y empezar a analizar tendencias. Así, se presentan los nuevos objetivos del sistema de monitoreo de calidad de agua marina:

- 1. Establecer una base datos de calidad de agua marina para la Zona de Protección Especial Marina Sandy Bay-West-End y Cordelia Banks**
- 2. Evaluar la calidad de agua marina basado en posibles impactos en la salud de la población durante actividades recreacionales en la Zona de Protección Especial Marina Sandy Bay-West-End y Cordelia Banks**
  - a. Analizar tendencias tempo-espaciales de los parámetros bacteriológicos en las aguas marinas
  - b. Establecer de acuerdo a normas internacionales (EPA y Blue Flag) sitios y temporadas con posibles impactos en la salud de la población.
  - c. Identificar las causas (antropogénico o natural) de la contaminación bacteriológica

El segundo resultado importante fue el análisis de resultados del sistema de monitoreo realizado del 2013-2016. En general, el trabajo realizado por BICA durante dichos año es sumamente importante para la incidencia en la toma de decisiones para la protección de la salud humana en áreas recreacionales y la protección de los arrecifes de coral.

Los datos ya muestran un claro incremento en el deterioro de la calidad de agua a través del tiempo con posibles impactos en la salud de la población que realizan actividades de recreación en las bahías. Se presenta que en los puntos analizados, en el periodo se tienen sistémicamente elevación en los niveles de enterococci (jul-ago & feb.). Los puntos en serie presentan que conforme se alejan de la bahía la concentración de enterococci si cambia significativamente, denotando el claro

impacto antropogénico. Y se muestra que, a pesar que la tendencia anual es al incremento, existen meses en donde la concentración de enterococci no sobrepasa los límites máximos permisibles.

Dentro de los parámetros fisicoquímicos evaluados no se nota en el tiempo una clara elevación de concentraciones, nitratos, pH, temperatura. Parámetros que, como se explica en el documento, tienen gran impacto en la salud del coral. Pero, esta línea de investigación debe continuar, no solo con los parámetros ya establecidos sino agregando otros de suma importancia para la evaluación del posible impacto de la calidad de agua en la salud de los arrecifes de coral; como profundidad secchi, fosforo total, clorofila, entre otros que se presentan en el documento.

Y el tercer resultado es la evaluación del sistema de monitoreo en donde se presentan las recomendaciones técnicas para mejorar el sistema de monitoreo. Entre los que se deben resaltar son:

1. Las tomas de muestras en puntos fisicoquímicos deben ser realizadas a diferentes profundidades, evaluando la columna de agua.
2. En los puntos bacteriológicos (RB) por ser tan someros no es necesario el tomar superficial y a profundidad ya que no habrá diferencia.
3. Los parámetros de calidad de agua que mejor indican contaminación fecal en las aguas para recreación, tanto en aguas marinas como en aguas dulces son *e.coli* y enterococci
4. Para evaluar los resultados del monitoreo de calidad de agua con guías internacionales se debe verificar que las dimensionales sean iguales
5. Se debe poner más énfasis en el monitoreo de calidad de agua marina en los puntos fisicoquímicos, ya que este análisis tienen como objeto el evaluar posibles impactos en el arrecife de coral.

Y, cuarto, se presentan los resultados de las percepciones de los diferentes actores. En general, ninguno de los actores tiene una percepción negativa del sistema de monitoreo de calidad de agua marina. Pero, no todos tienen el mismo interés en los datos producidos; distinguiéndose entre aquellos actores que requieren la base de dato (ej. Coral Reef Alliance) y aquellos actores que prefieren únicamente recibir información en breves reportes trimestrales/semestrales (ej. Ministerio de salud). Es importante denotar que la mayoría de actores reportaron que es de suma importancia que los datos no sean públicos y de libre acceso ya que si dichos datos no se distribuye acompañado de una capacitación técnica se puede volver un tema perjudicial para la isla (principalmente para la afluencia de turistas).

Un sistema de monitoreo de calidad de agua marina resulta ser de suma importancia para la toma de decisiones y la necesidad que el mismo sea a largo plazo. Pero, es necesario resaltar que el principal fallo de la mayoría de los sistema de monitoreo resulta ser la sostenibilidad (principalmente monetaria). Para esto se presentan dos grandes recomendaciones, en donde se buscan alianzas con diferentes actores para mantener dicho monitoreo y se trata de volver más eficiente los costos a través del establecimiento de un laboratorio en la isla.

### 3 Lista de abreviaciones y acrónimos

BICA	Bay Islands Conservation Association
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FEE	Foundation for Environmental Education
ICF	Instituto nacional de conservación y desarrollo forestal, áreas protegidas y vida silvestre
IHT	Instituto Hondureño de Turismo
M	Metros
MAR FUND	Mesoamerican Reef Fund
Mg/l	Miligramos por litro
NMP	Número más probable
NTU	Unidad nefelométrica de turbidez
OMS	Organización mundial de la salud
ONG	Organización no gubernamental
ORP	Potencial de óxido-reducción
pH	Potencial de hidrógeno
PMAIB	Plan de Manejo Ambiental de las Islas de la Bahía
PTAR	Planta de tratamiento de Aguas residuales
RB	Código dado (por el PMAIB) a los puntos de monitoreo bacteriológicos
RM	Código dado (por el PMAIB) a los puntos de monitoreo fisicoquímicos
RBN	Código dado (por BICA) a los puntos de monitoreo bacteriológicos agregados a partir del 2013
RMN	Código dado (por BICA) a los puntos de monitoreo fisicoquímicos agregados a partir del 2013
RMC	Código dado (por BICA) a los puntos de monitoreo fisicoquímicos agregados a partir del 2013 en Cordelia Banks
SAG	Secretaría de Agricultura y Ganadería
STP	Sewage treatment plant
SB	Sandy Bay
SERNA	Secretaría de Energía, recursos naturales, Ambiente y
UFC	Unidades formadoras de colonas
UMA	Unidad de Medio ambiente de la municipalidad
WE	West End
WB	West Bay
WTP	Wastewater treatment plant
ZOLITUR	Zona Libre Turística
ZPEM	Zona de Protección Especial Marina
ZPEMSW	Zona de Protección Especial Marina Sandy Bay , West End
‰	Partes por mil

## 4 Introducción

El presente trabajo pretende realizar una sistematización del monitoreo de calidad de agua marina que BICA-Roatán con el apoyo financiero de MAR FUND ha realizado en el periodo del 2013-2016, en la parte oeste de la isla de Roatan, Honduras; la cual incluye el área protegida de Zona de Protección Especial Marina Sandy Bay West End. La sistematización del monitoreo de calidad de agua marina tiene como objetivo general el evaluar las acciones de este proyecto no solo para normalizarlo y mejorarlo dentro de la isla de Roatan sino para lograr utilizar este como una guía para la implementación en las demás islas de las Islas de la Bahía, Honduras.

De acuerdo a la FAO una sistematización se define como el “Ordenamiento y clasificación de datos e informaciones, estructurando de manera precisa categorías y relaciones, posibilitando de esta manera la constitución de bases de datos organizados” (Acosta, 2005). Pero, el proceso de sistematización puede tener varios y diferentes objetivos dependiendo del momento en que se implementa dicha acción. Para el caso de la sistematización presentada a continuación el momento en el que se realizó la sistematización es ya terminado el proyecto de monitoreo de calidad de agua por lo que se ajustan los tres grandes objetivos del proceso:

1. Ordenar las acciones realizadas en la preparación, ejecución y análisis de datos en el sistema de monitoreo
2. Generar procesos de aprendizaje para los ejecutores y futuros ejecutores
3. Dar recomendaciones basadas en los hallazgos relacionados con la sistematización del sistema de monitoreo de calidad de aguas

### 4.1 Objetivos de la consultoría

#### 4.1.1 Objetivo General

Sistematización y evaluación del programa de monitoreo de calidad del agua implementado por BICA en el área de influencia del Proyecto en Roatán, Honduras.

#### 4.1.2 Objetivos Específicos

- a. Identificar las fortalezas y las debilidades del programa de monitoreo de calidad de agua en la ZPEM Sandy Bay West End.
- b. Identificar el alcance y la metodología utilizada para el programa de monitoreo de calidad de agua.
- c. Identificar el impacto que el programa de monitoreo de calidad de agua tiene dentro del área protegida.
- d. Desarrollar recomendaciones para la sostenibilidad del programa de monitoreo de calidad de agua en el mediano y largo plazo.

### 4.2 Metodología de trabajo

Para lograr alcanzar dichos objetivos se realizó una visita a Bay Islands Conservation Association (BICA) en Roatán, en donde se logró establecer por parte de los actores ejecutores un análisis en respuesta a las preguntas claves de: lo que realizaron, cómo lo realizaron y el porqué. Además, a



partir de la visita y gracias al acompañamiento de MAR Fund y Licda. Gisselle Brady (BICA) se obtuvo la documentación necesaria, que incluye:

- Base de datos del monitoreo de calidad de agua hasta diciembre del 2016,
- Reporte anual elaborado por BICA de diciembre 2016,
- Informe Técnico No. CAC04. Informe complementario al Diagnóstico de calidad de las aguas de las Islas de la Bahía (octubre 2001),
- Informe Técnico No. CAC05. Informe Final sobre el Laboratorio y el Programa de Monitoreo de la Calidad de las Aguas en las Islas de la Bahía (septiembre 2001),
- Evaluación anterior realizada por Sara Bort del Arco
- Plan de manejo del Parque Nacional Marino Islas de la Bahía
- Otros.

La sistematización presentada a continuación se re-estructura, luego de la visita con diferentes actores de la isla, en respuesta a las diferentes peticiones realizadas. Se toma en cuenta, no solo lo requerido por MAR FUND, el actor ejecutor (BICA) sino también por los diferentes posibles usuarios (ej. Healthy Reefs Initiative). En dichas entrevistas salen a relucir los temas abordados:

- Orden de la base de datos, para la facilidad de uso y análisis de datos (desde la base de datos en Excel). Se evaluó el migrar la base de datos a un software estadístico (ej. SPSS) o de procesamiento de datos online (ej. Tableau); siendo el resultado más aceptado por los diferentes actores el dejar la base de datos en excel pero ordenada para su mejor y fácil procesamiento. Para esto se tomó la base de datos, se ordenó y se deja un modelo de análisis en Excel.
- Objetivo del sistema de monitoreo. Establecer claramente el objetivo del sistema de monitoreo para lograr orientar mejor las acciones de monitoreo presentes y futuras; lograr justificar mejor los parámetros y puntos monitoreados en el presente y en el futuro; y lograr entender más claramente la diferenciación de resultados.
- Descripción del sistema de monitoreo. Para lograr ordenar la base de datos, evaluar los resultados, evaluar el sistema de monitoreo y darle una mejor continuidad al sistema de monitoreo (de la isla o posibles nuevos monitoreos en las otras islas) se realizó una sección completa de descripción del sistema de monitoreo de calidad de agua marina (parámetros, puntos, frecuencia, etc.)
- Análisis de resultados. Se presenta un análisis representativo de los resultados que se pueden evaluar con base en la base de datos de calidad de aguas marinas. Se menciona un análisis representativo ya que la base de datos puede responder a muchas más interrogantes por parte de diferentes actores para diferentes tomas de decisiones; pero, a través del análisis de resultados presentado en el reporte se puede dar una idea de la versatilidad e importancia de la forma de presentación y análisis de la base de datos.
- Recomendaciones. Se realiza un breve resumen de las recomendaciones dadas a través de las secciones del reporte.

Para el caso de la sistematización presentada a continuación, por petición de MAR Fund, se agrega una parte de percepción del sistema de monitoreo por actores locales, externos a la realización del monitoreo de calidad de agua. El objetivo de dicha actividad es logara percibir por parte de los

posibles usuarios no solo la imagen general del monitoreo sino también las posibles necesidades de presentación e información del sistema de monitoreo de calidad de agua.

La forma de presentación de resultados en el reporte a continuación, en búsqueda de un documento más dinámico se divide en 6 diferentes secciones, cada una de las secciones tiene una descripción del actual sistema de monitoreo y de ser necesario luego tiene una sección de comentarios/recomendaciones que tratan de resaltar los puntos positivos, así como los puntos a mejorar de la sección. En la parte de recomendaciones, luego se justifica mejor el comentario con base en el análisis de la misma base de datos o documentos de referencia.

## OBJETIVOS DEL SISTEMA DE MONITOREO

## 5 Objetivo de monitoreo de calidad de agua marina

El sistema de monitoreo de calidad de agua marina tiene tres objetivos de acuerdo al reporte presentado por BICA:

1. Establecer una base de datos de calidad de agua marina para la Zona de Protección Especial Marina Sandy Bay-West-End y Cordelia Banks
2. Evaluar las causas naturales y antropogénicas
3. Determinar las causas de las variaciones tiempo espaciales
4. Determinar una solución factible para el problema de saneamiento encontrado.

Los objetivos anteriores no se cumplen en su totalidad al finalizar el proyecto ya que el sistema de monitoreo no responde a dichos objetivos. El sistema de monitoreo fue diseñado para evaluar tendencias de la degradación de las aguas marinas dentro de la Zona de Protección Especial Marina a través del análisis de los resultados; el determinar una solución factible o el evaluar las causas sería parte de otro proyecto (tal vez ejecutado por diferentes actores) para el cual los resultados del sistema de monitoreo sería un insumo primordial e imperativo.

Las posibles causas de dicho deterioro pueden ser mencionadas, cosa que sucede en el reporte, y puede ser evaluado al analizar cambios antes/después de ciertas actividades antropogénicas (ej. construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales –PTAR-) o naturales (ej. cambios entre época lluviosa-seca). Pero, evaluar las causas requiere el trabajo de investigación específico de cada causa ya mencionada. Siguiendo el mismo orden lógico, el determinar una solución factible para el problema de saneamiento requiere de un trabajo multidisciplinario con diferentes actores de las diferentes áreas de la isla; basados en la evidencia científica de la degradación de la calidad de agua en los diferentes puntos.

En resumen, el sistema de monitoreo en sí no busca responder el objetivo 2 y 3; el sistema de monitoreo busca dar insumos científicos para identificar el tipo de contaminación que se encuentra tiempo-espacialmente, qué está impactando dicha contaminación (salud de la población y/o salud del arrecife de coral) y de donde proviene.

### 5.1 Recomendaciones

El Sistema de monitoreo de calidad de agua marina de acuerdo a cómo se presentan los parámetros, organización de puntos y resultados en la base de datos y de acuerdo a conversación con actores debería de dividirse en tres objetivos generales:

- 1. Establecer una base datos de calidad de agua marina para la Zona de Protección Especial Marina Sandy Bay-West-End y Cordelia Banks**

Este objetivo está claro ya que determina el trabajo de realizar la base de datos del monitoreo de calidad de agua.

- 2. Evaluar la calidad de agua marina basado en posibles impactos en la salud de la población durante actividades recreacionales en la Zona de Protección Especial Marina Sandy Bay-West-End y Cordelia Banks**

- a. Analizar tendencias tempo-espaciales de los parámetros bacteriológicos en las aguas marinas
- b. Establecer de acuerdo a normas internacionales (EPA y Blue Flag) sitios y temporadas con posibles impactos en la salud de la población.
- c. Identificar las causas (antropogénico o natural) de la contaminación bacteriológica

En este caso el objetivo responde a los puntos de monitoreo bacteriológicos (RB), los cuales buscan evaluar parámetros (coliformes totales, coliformes fecales, enterococci) con posibles impactos en la salud de la población dentro de las zonas de recreación (muy cercanas a la playa). Este objetivo se vincula al objetivo inicial 2 en donde se puede determinar que al existir altos niveles de contaminación bacteriológica en zonas con actividad antropogénica la causa de dicha contaminación proviene de la falta de saneamiento en dichas zonas; así como se ha realizado en el reporte de Dic.2016.

**3. Evaluar la calidad de agua marina basado en posibles impactos en la salud del arrecife de coral en la Zona de Protección Especial Marina Sandy Bay-West-End y Cordelia Banks**

- a. Analizar tendencias tempo-espaciales de los parámetros fisicoquímicos en las aguas marinas
- b. Evaluar posibles impactos de la calidad de agua marina en la salud del coral
- c. Identificar las causas (antropogénico o natural) de la contaminación físico química

En este caso el objetivo responde a los puntos de monitoreo fisicoquímicos (RM), los cuales buscan evaluar parámetros (nitritos  $-\text{NO}_2^-$ , nitratos  $-\text{NO}_3^-$ , ortofosfatos  $-\text{PO}_4^-$ , turb) con posibles impactos en la salud del arrecife de coral (adyacente a la isla). Este objetivo se vincula al objetivo inicial 2 en donde se puede determinar que al encontrar fluctuaciones en época seca-lluviosa con impactos en la salud del coral se vincula con causas naturales; que puede encontrarse vinculado a actividades antropogénicas de deforestación/urbanización.

**5.2 Objetivos de incidencia a partir de los resultados del sistema de monitoreo de calidad de agua marinas**

Es de suma importancia el trabajo de incidencia realizado y que realiza BICA con múltiples actores de la isla basado en los resultados del sistema de monitoreo de calidad de agua marina. Es por ello que el trabajo de incidencia debe ser identificado como un diferente objetivo de trabajo además del de producir y analizar los datos del sistema de monitoreo.

# DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

## 6 Descripción del sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo de calidad de agua marina realizado por BICA empieza en el 2013 en el área denominada Zona de Protección Especial Marina (ZPEMSW), la cual incluye Sandy Bay, West End, West-Bay, Mud Hole, Key Hole; además del sitio de importancia por vida silvestre en el suroeste de la isla: Cordelia Banks

El sistema de monitoreo adapta su metodología y toma como línea base al "Plan de Manejo Ambiental de las Islas de la Bahía" (PMAIB). El PMAIB fue elaborado en 1999 por una consultora internacional con el objetivo de realizar un diagnóstico ambiental de las islas, evaluar posibles rutas de acción y dar recomendaciones. Dentro del PMAIB se elaboró un diagnóstico de calidad de las aguas de las islas de la bahía, Roatán y una sección de preconización de lucha contra la contaminación de las islas de la Bahía. En la primera sección mencionada se evaluó la calidad de agua dulce en el sistema terrestre, agua marina en el sistema marino y sedimentos. Como menciona BICA en su reporte (BICA, 2016), dicho estudio presentó áreas críticas de contaminación en donde era de urgencia implementar proyectos de saneamiento para asegurar la calidad del ecosistema marino.

### 6.1 Identificación de puntos

El sistema de monitoreo de calidad de agua marina toma los puntos y códigos de muestreo propuestos por el PMAIB y los adapta agregando puntos considerados de importancia. La codificación que resulta de dicha adaptación se presenta en la Tabla 1.

Código	Fuente	Descripción
<b>RB</b>	PMAIB (Línea base 1999)	Sitios cercanos a la playa (muy someros), con medición de parámetros bacteriológicos <b>(B)</b> e <i>in-situ</i>
<b>RBN</b>	Adaptación BICA (a partir de 2013)	Sitios cercanos a la playa (muy someros), con medición de parámetros bacteriológicos e <i>in-situ</i> agregados por BICA <b>(N)</b>
<b>RBN-vocal</b>	Adaptación BICA (a partir de 2013)	Sitios en seria para evaluar degradación, con medición de parámetros bacteriológicos e <i>in-situ</i>
<b>RBC</b>	Adaptación BICA (a partir de 2013)	Sitios agregados para evaluar Cordelia Banks <b>(C)</b> , con medición de parámetros bacteriológicos e <i>in-situ</i>
<b>RM</b>	PMAIB (Línea base 1999)	Sitios en aguas abiertas (profundas), con medición de parámetros fisicoquímicos <b>(M)</b> e <i>in-situ</i> .
<b>RMN</b>	Adaptación BICA (a partir de 2013)	Sitios en aguas abiertas (profundas), con medición de parámetros fisicoquímicos e <i>in-situ</i> agregados por BICA

Tabla 1. Descripción del código de los sitios de muestreo.

Los puntos identificados con el código RB, cercanos a la playa, someros y en donde se toma únicamente parámetros bacteriológicos e *in-situ*, tienen como objetivo evaluar la calidad del agua marina relacionada con posibles impactos en la salud de la población (principalmente que realizan actividades de recreación en el área). Los puntos identificados con el código RM, lejanos a la playa, profundos y en donde se toma únicamente parámetros fisicoquímicos e *in-situ*, tienen como objetivo evaluar la calidad del agua marina relacionada con posibles impactos en la salud del arrecife de coral.

Luego, cada una de las áreas de importancia dentro de la ZPEMSW tiene uno o varios puntos de muestreo ya sea para análisis bacteriológico o para análisis fisicoquímicos. El resumen de dichos puntos con sus descripciones se presenta en la Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7.

Código	Referencia	Localización	Descripción
RB1	Consolation Bight	Coxen Hole-Flowers Bay	Urban zone next to Coxen hole
RBN3-a	WTP, Coxen Hole	Coxen Hole	Closest to the WTP Coxen Hole
RBN3-b	WTP, Coxen Hole	Coxen Hole	Middle to the WTP Coxen Hole
RBN3-c	WTP, Coxen Hole	Coxen Hole	Farthest to the WTP Coxen Hole
RB10	Radio Coral	Coxen Hole	Urban zone- Coxen Hole
RB11	Coxen Hole	Coxen Hole	Mouth of Big run creek
RBN12	La Punta, CH	Coxen Hole	Next to the airport
RBN13	Flying Fish, CH	Coxen Hole	The Creek- Community "El Swampo",
RBN14	STP, Coxen Hole	Coxen Hole	Effluent of WTP-Coxen Hole
RBC1	ROA19 Cordelia Banks	Coxen Hole	Cordelia Banks-Importance for Wildlife
RBC2	ROA18 Cordelia Banks	Coxen Hole	Cordelia Banks-Importance for Wildlife
RBC3	ROA20 Cordelia Banks	Coxen Hole	Cordelia Banks-Importance for Wildlife
RM18	Bay Sites	Coxen Hole	
RM19	Bay Sites	Coxen Hole	
RM20	Open lagoon sites	Coxen Hole	
RM21	Open lagoon site	Coxen Hole	
RM22	Open lagoon sites	Coxen Hole	
RMC1	Oceanic Sites	Coxen Hole-Cordelia Banks	
RMC2	Oceanic Sites	Coxen Hole-Cordelia Banks	
RMC3	Oceanic Sites	Coxen Hole-Cordelia Banks	

Tabla 2. Sitios de muestreo en la zona de Coxen Hole

Código	Referencia	Localización	Descripción
RB2	Neptuno, WB	West Bay	Creek West Bay
RB3	Island Pearl, WB	West bay	
RBN4-a	Laguna WB, enfrente de río	West Bay Creek	Closest to the mouth of the creek
RBN4-b	Laguna WB, enfrente de río	West Bay Creek	Middle to the mouth of the creek
RBN4-c	Laguna WB, enfrente de río	West Bay Creek	Closest to the reef from the creek
RBN5	Infinity Bar, WB	West Bay	
RM25	Oceanic Sites	West Bay	
RM26	Open lagoon sites	West Bay	
RM27	Open lagoon sites	West Bay	
RM46	Punta de West Bay	West Bay	

Tabla 3. Sitios de muestreo West Bay

Código	Referencia	Localización	Descripción
RBN2-a	WTP, Mangrove Bight	West End_Mangrove Bight	Closest to the WTP West End
RBN2-b	WTP, Mangrove Bight	West End_Mangrove Bight	Middle to the WTP West End



Código	Referencia	Localización	Descripción
RBN2-c	WTP, Mangrove Bight	West End_Mangrove Bight	Farthest to the WTP West End
RB4	Lost Paradise, WE	West End	Open Water West End
RB5	Fosters, WE	West End	Open Water West End
RB6	Eagle Ray, WE	West End	Open Water West End
RB7	Pura Vida, WE	West End	Open Water West End
RBN7	STP, West End	West End	Effluent of WTP-West End
RB8	Dolphin Resort, WE	West End_Half Moon Bay	Close Bay of West End
RB9	Woodies Groceries, WE	West End_Half Moon Bay	Close Bay of West End
RM28	Open lagoon sites	West End	
RM29	Oceanic Sites	West End_Half Moon Bay	
RMN1	Bay Sites	West End_Mangrove Bight	

Tabla 4. Sitios de muestreo West End

Código	Referencia	Localización	Descripción
RBN1-a	Colonia Balfate Creek	Sandy Bay	Closest to the mouth of the creek
RBN1-b	Colonia Balfate Creek	Sandy Bay	Middle to the mouth of the creek
RBN1-c	Colonia Balfate Creek	Sandy Bay	Closest to the reef from the creek
RBN6	AKR, SB	Sandy Bay	Next to the Dive resort
RM30	Oceanic Sites	Sandy Bay	
RM31	Open lagoon sites	Sandy Bay	

Tabla 5. Sitios de muestreo Sandy Bay

Código	Referencia	Localización	Descripción
RM23	Oceanic Sites	Gravel Bay	
RM24	Oceanic Sites	Gravel Bay	

Tabla 6. Sitios de muestreo Gravel Bay

Código	Referencia	Localización	Descripción
RM32	Mangrove Sites	Mudhole (landfill)	Adyacente al vertedero de Roatán

Tabla 7. Sitios de muestreo Mudhole

### 6.1.1 Recomendación

Es importante denotar que el sistema de monitoreo de calidad de agua marina tiene dos objetivos clave: uno el evaluar la calidad de agua para identificar posibles impactos en la salud y dos el evaluar la calidad de agua para identificar posibles impactos en la salud del arrecife de coral. Esto, se puede identificar desde la evaluación de los puntos de monitoreo en donde existen dos sets (RM & RB) con diferentes parámetros a medir. Ambos objetivos tienen la misma importancia con relación a los posibles impactos en la calidad de vida de los habitantes de la isla de Roatan, desde la perspectiva que si la salud de los arrecifes de coral se ve afectados y/o la calidad del agua en las playas recreacionales se ven afectadas la visita de turistas a la isla se vería disminuida.

El número de muestras para los sitios bacteriológicos es bastante alta y representativa de diferentes puntos de contaminación de la isla. De poder ser, se recomienda que la cantidad de puntos no solo bacteriológicos sino también fisicoquímicos se mantengan. Si existiera el momento en que se deben

priorizar puntos es posible evaluar puntos de monitoreo a eliminar sin perder la “representatividad” de los puntos.

Si fuese necesario disminuir la cantidad de puntos de acuerdo a la similitud en sus promedios del periodo se puede basar en una esquematización de los posibles puntos a eliminar. En la Figura 1 se presentan los promedios de enterococci del periodo (2013-2016) para todos los puntos bacteriológicos adyacentes a la playa en orden de localización. Se resumen los puntos con promedios parecido:

- Coxen Hole el punto RB1 & RB10
- Cordelia Banks los puntos RBC1, RBC2 & RBC3
- West Bay los puntos RB2& RB3

El resto presenta fluctuaciones en promedios que pueden ser importante de seguir capturando.

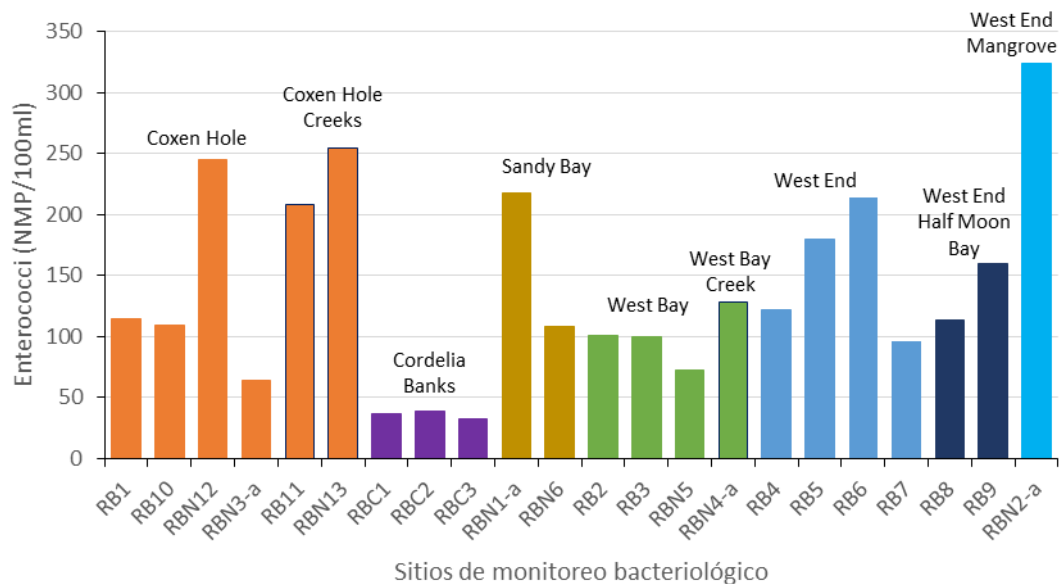


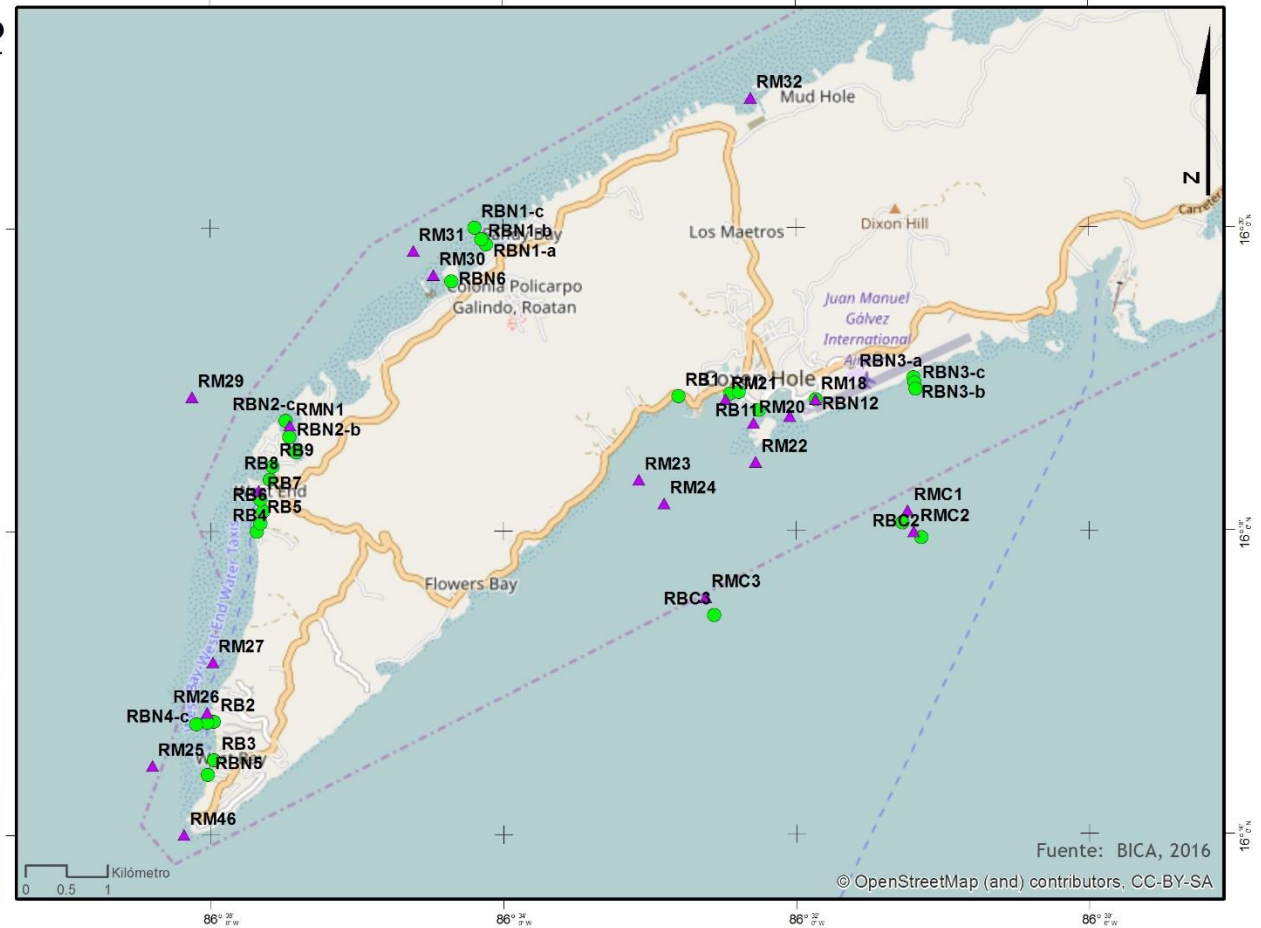
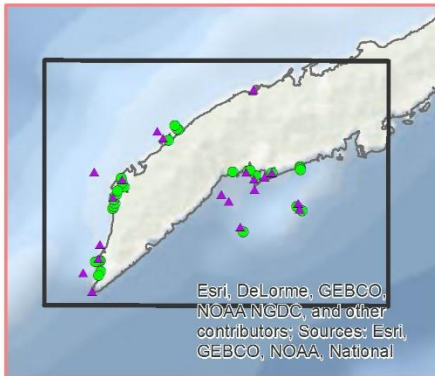
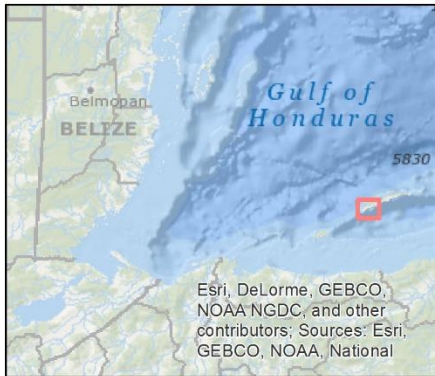
Figura 1. Promedio del periodo de monitoreo (2013-2016) de los sitios de monitoreo bacteriológico

A continuación, se presentan los mapas de localización de los puntos de monitoreo. Se presentan los mapas divididos por sitios de la isla.

### Sistema de monitoreo

Puntos de muestreo para análisis

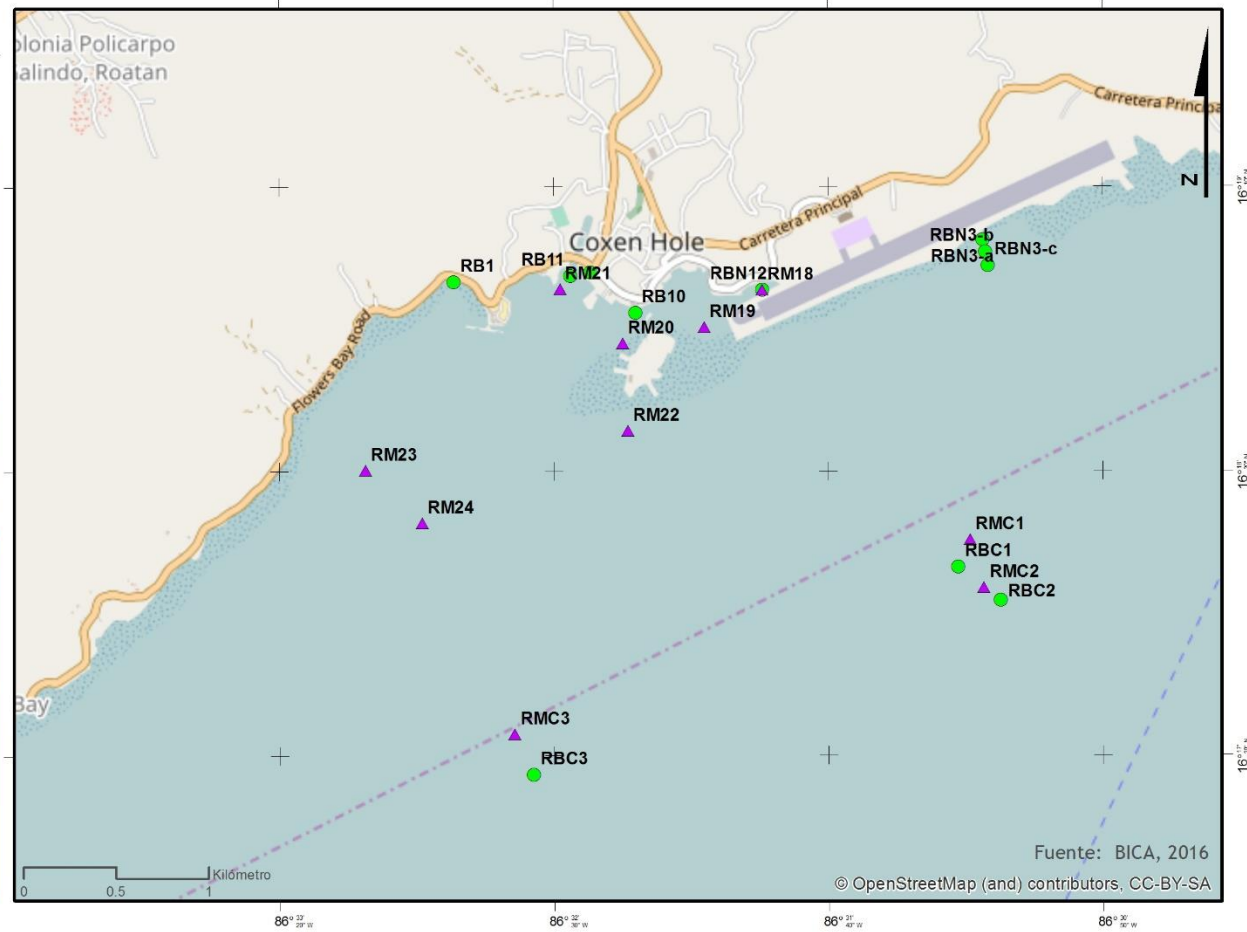
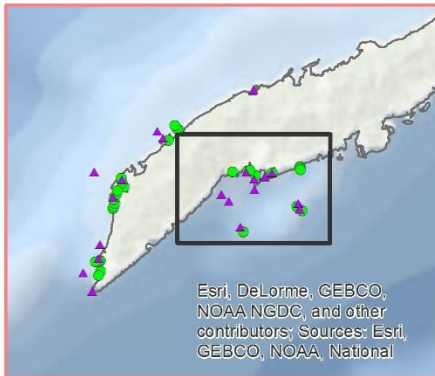
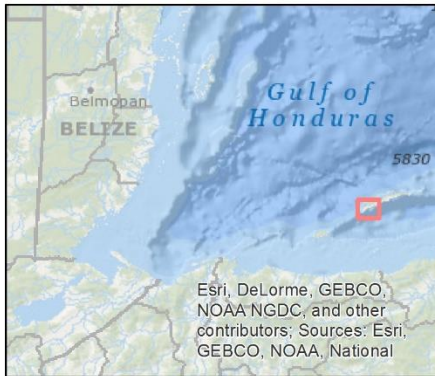
- Bacteriológico
- ▲ Físico Químico



## Coxen Hole

Puntos de muestreo para análisis

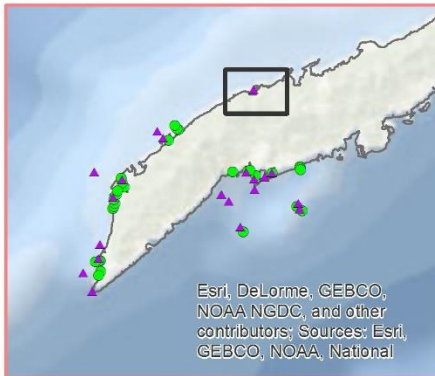
- Bacteriológico
- ▲ Físico Químico



## Mud Hole

Puntos de muestreo para análisis

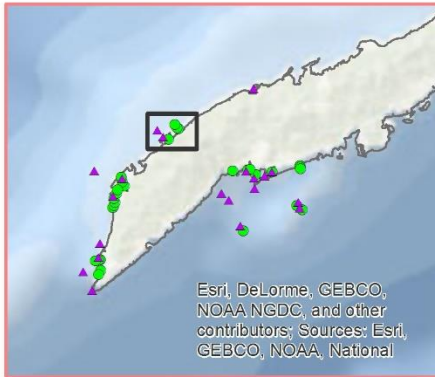
● Bacteriológico ▲ Físico Químico



## Sandy Bay

Puntos de muestreo para análisis

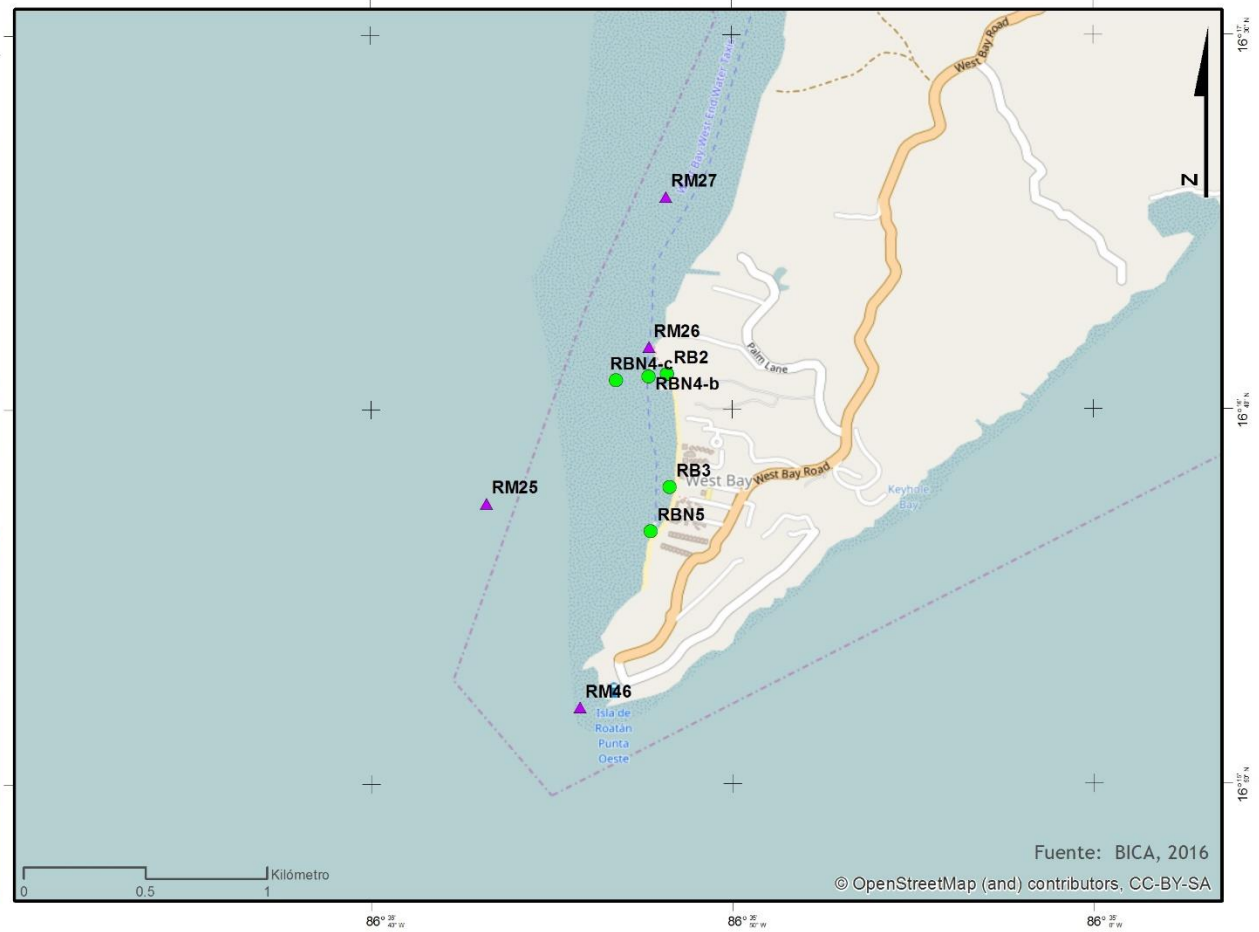
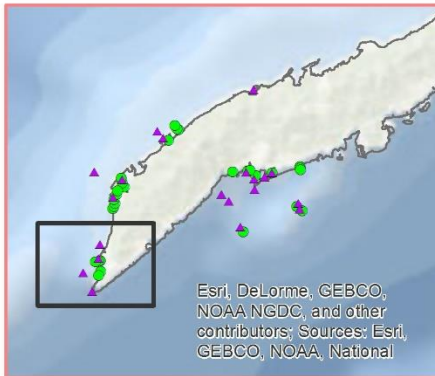
- Bacteriológico
- ▲ Físico Químico



## West Bay

Puntos de muestreo para análisis

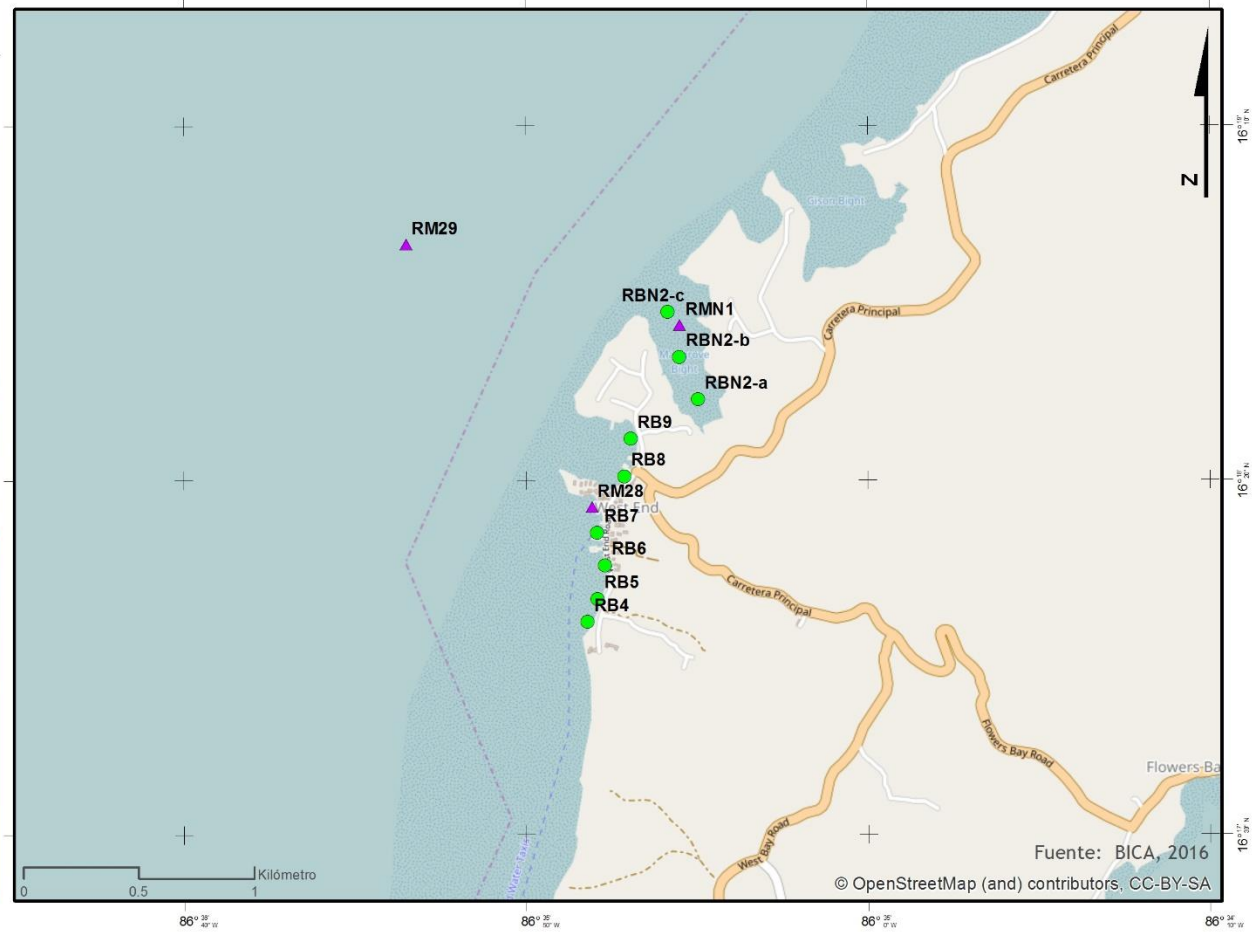
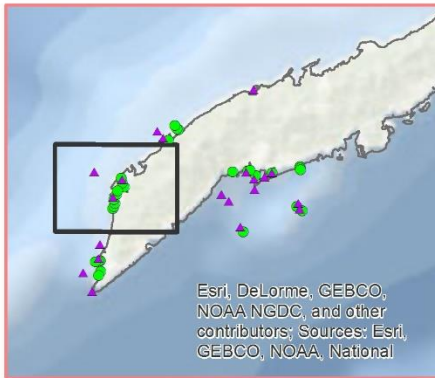
- Bacteriológico ▲ Físico Químico



## West End

Puntos de muestreo para análisis

- Bacteriológico ▲ Físico Químico





## 6.2 Parámetros

El sistema de monitoreo de calidad de agua marina divide en dos partes el muestreo, los sitios que buscan analizar parámetros fisicoquímicos con el objetivo de evaluar la calidad de agua relacionados a posibles impactos en la salud del arrecife de coral (Hill & Wilkinson, 2004); y los sitios que buscan analizar parámetros bacteriológicos con el objetivo de evaluar la calidad de agua relacionada a posibles impactos en la salud de la población. Ya que los puntos de monitoreo tienen diferentes objetivos de evaluación los parámetros que se toman en cada uno de los sitios cambian. En la Tabla 8 se presenta los parámetros evaluados por sitios muestreados.

En los sitios bacteriológicos (RB) se analiza coliformes totales, coliformes fecales y enterococci, todos indicadores de contaminación por bacterias en las aguas e indicadores de posible riesgo a la salud humana en actividades de recreación. El enterococci es indicador específico de contaminación fecal en las aguas e indicador proxi de la falta de saneamiento en las comunidades. En los sitios fisicoquímicos (RM) se analizan parámetros indicadores de posible eutrofización de las aguas: nutrientes limitantes; nitrógeno ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ) y fosforo (P,  $\text{PO}_4$ ) e indicadores de posible presencia de materia flotante que índice en la penetración de la luz (Turbiedad= Profundidad Secchi).

Los parámetros *in-situ* se toman en ambos tipos de sitios (RB & RM), siendo parámetros standard de calidad de agua marina: sal, temperatura, oxígeno, pH, ORP<sup>1</sup>. Si dichos parámetros presentan desvíos de la media indican desestabilización del sistema marino arrecifal, por causas locales (contaminación por actividades en el área terrestre adyacente) o causas globales (cambios por efectos del calentamiento global) (Burke, Reytar, Spalding, & Perry, 2011).

	Parámetros	Dimensionales
<b>Sitios bacteriologicos (RB)</b>	Coliformes totales	UFC <sup>2</sup> /100ml
	Coliformes fecales	UFC/100ml
	Enterococci	NMP <sup>3</sup> /100ml
<b>Sitios fisicoquimicos (RM)</b>	Nitrat os ( $\text{NO}_3$ )	mg/l <sup>4</sup>
	Nitritos ( $\text{NO}_2$ )	mg/l
	Amonio ( $\text{NH}_4$ )	mg/l
	Turbiedad	m
	Fosforo Total (P)	mg/l
	Orto-fosfato ( $\text{PO}_4$ )	mg/l
<b>Ambos Sitios <i>In-situ</i></b>	Profundidad	m
	Temperatura	°C
	Oxigeno disuelto	mg/l
	Porcentaje de oxigeno	%
	Sal	‰ <sup>5</sup>
	pH	
	ORP	mV <sup>6</sup>

Tabla 8. Parámetros de calidad de agua por sitio. En donde <sup>2</sup>Unidades formadoras de colonia, <sup>3</sup>Número más probable, <sup>4</sup>miligramos por litro, <sup>5</sup>partes por mil, <sup>6</sup>mili voltios

<sup>1</sup> Potencial de oxido-reducción

### 6.2.1 Recomendaciones

A continuación, se presentan las recomendaciones con relación a los parámetros de calidad de agua marina que actualmente se está trabajando. Se presenta el parámetro al cual se le podría hacer una corrección para que luego se explique y justifique que cambio o adaptación podría ser de utilidad para mejorar el sistema de monitoreo.

#### a) Coliformes fecales y coliformes totales:

Tanto la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Environmental protection agency de los Estados Unidos (EPA), el Programa Blue Flag de la Foundation for Environmental Education (FEE) aconseja que los parámetros de medición para identificar contaminación fecal son *E.coli* y Enterococci; esto debido a que son parámetros que pueden garantizar contaminación fecal en las aguas (WHO, 1996). Por el contrario, el parámetro de coliformes totales es un gran grupo de bacterias que incluye tanto coliformes termotolerantes, de origen fecal así como otras bacterias presentes en los medios naturales, por lo que no se puede asegurar que al encontrar coliformes totales existe presencia de contaminación fecal. De la misma forma, pero a menor escala sucede con los coliformes fecales (indicador que recientemente se ha corregido y denominado coliformes termotolerantes), en donde algunas de las bacterias encontradas dentro de las coliformes fecales no necesariamente viene de contaminación fecal (UNEP & WHO, 1996).

#### b) Enterococci

Es necesario identificar tanto en la base de datos, como en los reportes la dimensional en que se reportan los resultados. Para el caso de enterococci se presenta que la dimensional es NMP/100ml, pero guiado por el plan de PMAIB se cree que la dimensional en que se reportan los coliformes totales y fecales es UFC/100 ml.

NMP/100 ml es la forma de reportar la cantidad de colonias de la bacteria en análisis según la metodología de múltiples tubos, la cual reporta el número más probable de formación de colonias. UFC/100ml es el número de colonias de la bacteria en análisis que se forman utilizando el método de membranas. Las dos unidades UFC/100 ml y NMP/100 ml no son comparables entre sí, ni son comprobables los resultados con ciertas guías internacionales si tienen dimensionales diferentes (UNEP & WHO, 1996).

Los resultados presentados en los reportes y en la base de datos de enterococci, como se mencionó, se presentan en NMP/100 ml mientras que las guías de calidad de agua se presentan en UFC/100ml (Blue Flag y EPA). Es recomendable revisar en los reportes de laboratorio si la dimensional es NMP/100ml para luego lograr comparar los resultados con las guías de calidad de agua para sitios recreacionales (EEF, 2015; EPA, 2012)

#### c) Nitratos, nitritos y amonio

Una de las amenazas directas locales a los arrecifes de coral reconocidas a nivel mundial es la eutrofización de los corales por contaminación orgánica e inorgánica (Fernández, Ramírez, & Solano, n.d.; Schaffelke, Carleton, Skuza, Zagorskis, & Furnas, 2012). La eutrofización de los corales ocurre por la adición de nutrientes al medio a través de contaminación orgánica e inorgánica la cual favorece el crecimiento de fitoplancton, grandes algas bentónicas y animales competidores del coral (D'Angelo & Wiedenmann, 2014). Los dos nutrientes que normalmente

son los nutrientes limitantes son nitrógeno y fósforo, razón por la cual en el sistema de calidad de aguas se realiza las diferentes especies de nitrógeno (nitrato, nitrito, amonio), y fósforo (fósforo total y fosfatos).

En el caso del nitrógeno se recomienda agregarle o cambiar las mediciones de nitratos, nitritos y amonio a la medición del nitrógeno total; el cual incluye todo el nitrógeno disuelto (nitrato, nitritos, amonio) y el nitrógeno particulado (en materia orgánica). Este análisis es mucho más estable para poder analizar tendencias espacio-temporales del aporte de nutrientes al medio marino por la actividad terrestre, para luego (si fuese necesario) llegar a detalle con las especies de nitrógeno y su relación con condiciones físicas que permite los movimientos de las diferentes especies de nitrógeno.

#### **d) Turbiedad**

El parámetro que actualmente se tiene dentro del sistema de monitoreo de calidad de agua marina es turbiedad, siendo esto un error de conceptos. Actualmente el parámetro que se mide no es turbiedad sino es profundidad secchi, que puede ser un indicador proxi de la turbiedad, pero no es directamente turbiedad en agua. La turbiedad se mide con un fotómetro y se reporta en Unidad nefelométrica de turbidez (NTU), mientras que la profundidad secchi se mide con el disco secchi y se reporta en metros.

El disco secchi es un parámetro sumamente fácil de medir, barato y que si representa la cantidad de sólidos suspendidos y plancton que se encuentra en la columna de agua a través de la relación de intercepción de luz y penetración de la misma. Si, a través del tiempo se pierde profundidad secchi los arrecifes de coral se verían sumamente afectados ya que no tendrían la cantidad de luz adecuada para su adecuada sobrevivencia (Hill & Wilkinson, 2004). Es por esta razón que se aconseja que el disco secchi sea una de los parámetros permanentes que se realicen en el sistema de monitoreo para los puntos fisicoquímicos (RM).

La profundidad secchi para los sitios bacteriológicos (RB) no tiene lógica hacerlos ya que los puntos no tienen suficiente profundidad para lograr ser medidos y la medición no provee de mucha información con relación a impactos en la salud de la población. Por ello para los puntos bacteriológicos (RB) se recomienda no hacer la medición.

Sería muy importante el agregar como parámetro del sistema de monitoreo de calidad de agua la **medición de fitoplancton**, ya sea a través de la medición de clorofila o a través de conteos de colonias en microscopio. La medición de fitoplancton se convierte de suma importancia ya que es un competidor natural por luz de los arrecifes de coral y actualmente presenta aumento debido a la actividad humana.

#### **e) In-situ (pH & T°)**

Los parámetros *in situ* son de suma importancia para analizar la calidad de agua y los posibles impactos en la salud del coral, principalmente pH y temperatura (Brown, 1997) del agua. Estos dos parámetros han sido identificados como amenazas globales a la salud de los arrecifes de coral, el pH como medición de la acidificación de los océanos debido a la adición de gases de efecto invernadero y los cambios de temperatura como medición de efectos del calentamiento

global en los océanos. Ambos, la acidificación de los océanos y el aumento en la temperatura de los océanos son fuerzas motoras claras de la degradación de los arrecifes de coral, con impactos en la diversidad de los corales y en las estructuras coralinas carbonatadas (Hoegh-Guldberg et al., 2007).

Es recomendable que, a pesar que el proyecto con MAR FUND ya finalizó, los parámetros *in-situ* (principalmente Temperatura, pH y disco secchi) se continúen midiendo por BICA. Estos, presentan un menor costo ya que no es necesario el enviar al laboratorio los parámetros y son de suma importancia para entender los posibles impactos que la calidad de agua podría tener sobre los arrecifes de coral de Roatan.

### 6.3 Frecuencia

Como se menciona anteriormente, el sistema de monitoreo de calidad de agua marina se encuentra dividido en dos tipos de muestras con sus respectivos parámetros y respectivas frecuencias. El sistema divide las salidas para toma de muestras fisicoquímicos trimestralmente y mensualmente para las salidas de toma de muestras bacteriológicas.

#### 6.3.1 Número de datos producidos

En total, a través de los casi 4 años de monitoreo se produjeron una amplia variedad de datos recopilados en la base de datos. A continuación (Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11) se presenta un resumen de los resultados presentados en la base de datos.

Análisis InSitu		Sitio		Total
		Bacteriológico (RB)	FQ (RM)	
Temperatura	Superficial	1056	246	1302
	Profundidad	437	119	556
Oxígeno Disuelto	Superficial	1060	245	1305
	Profundidad	436	119	555
Porcentaje de Oxígeno	Superficial	1057	246	1303
	Profundidad	431	119	550
Sal	Superficial	1068	244	1312
	Profundidad	430	119	549
pH	Superficial	1043	243	1286
	Profundidad	426	119	545
ORP	Superficial	774	208	982
	Profundidad	311	110	421
Profundidad Secchi		283	51	334

Tabla 9. Número de análisis *in-situ*

Cabe resaltar que los mismos parámetros *in-situ* (temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno, sal, pH, ORP, profundidad secchi) se realizan en los sitios de monitoreo tanto bacteriológicos (RB) como fisicoquímicos (RM) como se muestra en la Tabla 9. En total, tomando todos los puntos de monitoreo bacteriológicos (RB) se tomaron ±1056 mediciones de parámetros

in-sitú a nivel superficial y  $\pm 430$  mediciones de parámetros in-situ a profundidad (se aborda el tema de las profundidades en la sección 7.5) ya que estos se tomaron únicamente a partir de octubre 2014 y no todos los meses del 2015 o del 2016. En los sitios fisicoquímicos (RM) se tomaron  $\pm 246$  mediciones de parámetros in-situ superficiales y  $\pm 119$  mediciones de parámetros fisicoquímicos in-situ a profundidad ya que estos se tomaron únicamente a partir de octubre del 2014, 2015 y a partir de abril del 2016, trimestralmente.

Análisis Bacteriológicos	Sitio		Total
	Bacteriológico	FQ	
Enterococci	1099	5	1104
Coliformes totales	756	38	794
Coliformes fecales	749	38	787

Tabla 10. Número de análisis de parámetros bacteriológicos

En total, tomando todos los puntos de monitoreo bacteriológicos (RB) se tomaron 1099 mediciones de enterococci y únicamente  $\pm 750$  mediciones de coliformes totales y fecales, esto debido a que a partir de marzo del 2015 se dejaron de tomar dichos parámetros rutinariamente; ya que se priorizó el evaluar enterococci por su permanencia en las aguas marinas (EPA, 2012). Para el caso de los puntos fisicoquímicos (RM) se tomaron parámetros bacteriológicos únicamente en enero, abril y julio del 2013; ya que se identificó que el objetivo de dichos puntos no es el evaluar parámetros con impacto en la salud de la población.

Análisis FQ	Sitio		Total
	Bacteriológico	FQ	
Amonio (NH <sub>4</sub> )	5	309	314
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	5	309	314
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	5	309	314
Fosforo total (P)		78	78
Orto-fosfato (PO <sub>4</sub> )	2	58	60

Tabla 11. Número de análisis de parámetros fisicoquímicos

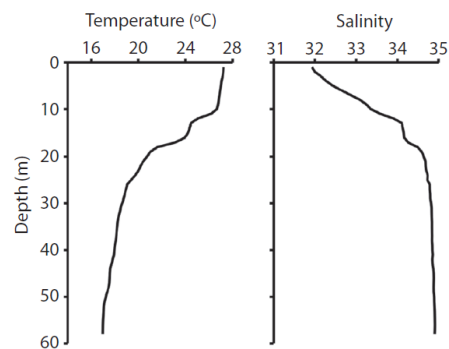
En total, tomando todos los puntos de monitoreo fisicoquímicos (RM) se tomaron 309 mediciones de nitritos, nitratos y amonio, siendo trimestral la frecuencia de monitoreo. Para el caso de fosforo total se tomaron 78 muestras en enero, febrero, abril y julio del 2013, a partir del octubre del 2013 ya no se tomó dicho parámetro. Y, para el caso de ortofosfato se tomaron 58 muestras en las mismas fechas del fosforo total pero en menor número de puntos.

#### 6.4 Recomendación

Tanto en los sitios bacteriológicos (RB) como en los sitios fisicoquímicos (RM) se toman datos en la superficie y en la profundidad. Los datos superficiales y a profundidad son necesarios para evaluar la calidad de agua en la columna de agua, en aquellos puntos en donde exista diferencia o posible diferencia entre la parte superficial y la parte profunda. En los puntos bacteriológicos (RB) por ser tan someros no es necesario el tomar superficial y a profundidad ya que no habrá diferencia. Por el contrario, en los puntos fisicoquímicos (RM) es importante que se realice la evaluación de la calidad de agua en la columna de agua. Esto significa que, por lo menos para los parámetros de calidad de

agua *in situ*, se tome datos a cada metro y para los parámetros fisicoquímicos se tome uno en la superficie y otro en la profundidad. Por el momento la diferencia de calidad de agua entre la parte superficial y la parte profunda no tiene mayor diferencia para los parámetros evaluados (in-situ) pero se debe asegurar que los datos reportados como profundos sean en lo más profundo del punto (a centímetros del fondo), ya que normalmente en puntos profundos los parámetros de calidad de agua son diferentes entre los superficiales y profundos.

Las tomas de muestras a diferentes profundidades se pueden realizar con una botella de Van-Dom o con sondas multiparamétricas a profundidad. De nuevo, resaltando que los datos a profundidad deben ser reportados a lo más profundo del punto, reportando a que profundidad se tomó los datos en la columna. A continuación, copio una gráfica de un análisis de parámetros in-situ en la columna de agua de los arrecifes de coral “La Azufrada” en Colombia (Lozano-Cortés, Giraldo, & Izquierdo, 2014) mostrando que los datos superficiales normalmente son diferentes a los datos de calidad de agua en la profundidad.



**Fig. 3.** Surface vertical profiles (< 60m) of temperature and salinity obtained nearest (<100m) to La Azufrada coral reef, Gorgona Island.

*Figura 2. Parámetros fisicoquímicos In-situ para la columna de agua (Lozano, 2013)*

ANÁLISIS DE RESULTADOS  
DEL SISTEMA DE MONITOREO

## 7 Análisis de resultados

La sistematización del monitoreo de calidad de agua marina busca, no solo la descripción del trabajo realizado sino también acercarse a la evaluación de resultados. Se debe aclarar que la sistematización del monitoreo busca presentar resultados del monitoreo para lograr dos principales objetivos:

1. Lograr mostrar diferentes formas de presentación de resultados que luego pueden ser o deberían ser modificadas dependiendo del análisis que es requerido por diferentes actores y para diferentes momentos en tomas de decisiones.
2. Analizar a grandes rasgos los resultados principales que ya se puede observar desde la base de datos, para poder dar recomendaciones del sistema de monitoreo.

Todos los resultados presentados a continuación surgen de la base de datos ordenada que se provee como anexo a este reporte. En dicha base de datos se deja a través de diferentes pestañas la forma (a través de tablas dinámicas) en la que se logra analizar grandes bases de datos rápidamente desde Excel.

La sección a continuación no pretende presentar todos los resultados que se pueden obtener de la base de datos; combinaciones de puntos, parámetros, temporalidades, etc.; pero si pretende presentar ejemplos con puntos específicos y tiempos específicos de tendencias y hallazgos generales.

### 7.1 Fluctuaciones intra-anales

Se presenta un resumen de las fluctuaciones (puntos máximos y mínimos mensuales) en el año de dos parámetros, un parámetro bacteriológico y otro fisicoquímico. Esto, para lograr identificar el periodo/mes del año donde se espera los niveles sean más altos o bajos.

#### 7.1.1 Enterococci

La presencia de enterococci en las aguas marinas tiene fluctuaciones en las diferentes épocas/meses del año en respuesta a diferentes actividades en las áreas terrestres. En la Figura 3 se presentan los promedios mensuales para el periodo del 2013-2015 de dos puntos en sitios bacteriológicos. Se presentan los puntos RBN1-a Sandy Bay y RBN2-a West End con descargas de Colonia Balfate y Colonia el Berrinche respectivamente, en representación de puntos en donde se tienen descargas de aguas residuales sin ningún tratamiento y siendo el punto más cercano a la bahía de puntos en serie. En la Figura 4 se presenta por aparte el caso del sitio RB8-West End Half Moon Bay, debido a que las concentraciones de enterococci para este punto son menores a las concentraciones de los otros dos puntos comparados y representa una bahía en donde ya se están trabajando en esfuerzos de tratamiento de aguas residuales

Además, en la Figura 3 y Figura 4 se presenta una línea verde que representa el límite máximo permisible para la EPA en presencia de enterococci en aguas marinas, y con una línea roja punteada



se presenta el límite máximo permisible para Blue Flags de presencia de enterococi en aguas marinas<sup>2</sup>.

En la Figura 3 se presenta que para ambos puntos (puntos que tienen una funcionalidad explicativa, pero se puede hacer el ejercicio con cualquier otro punto) se puede observar que existe un crecimiento en la concentración de enterococci en el mes de febrero, julio y agosto. Para el caso del punto RBN2-a, todos los meses con excepción de abril superan el límite máximo permisible de la EPA y de Blue flags. Para el caso del punto RBN1-a todos los meses supera el límite máximo permisible de la EPA, pero para el caso del límite máximo permisible de Blue flags los meses que lo supera son menores.

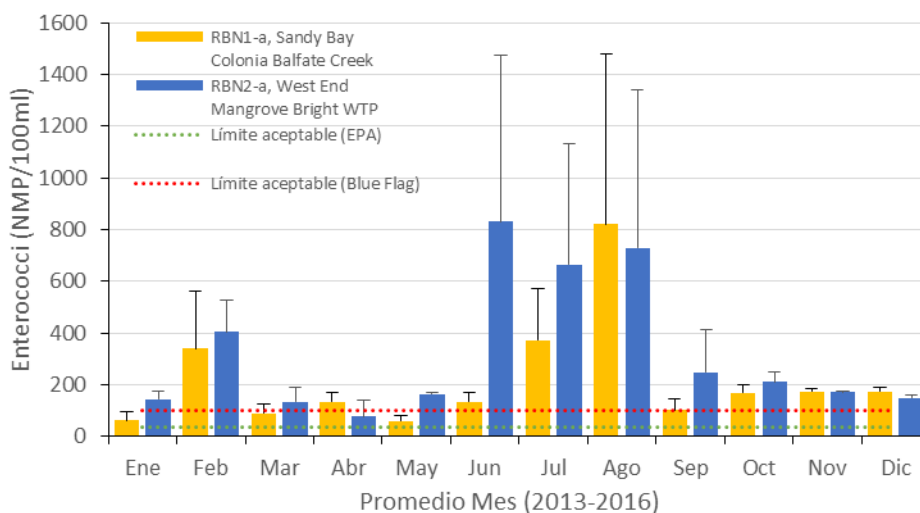


Figura 3. Promedio mensual entre 2013-2016 de Enterococci en los puntos RBN1-a y RBN2-a.

Se puede observar que existe diferencia de concentraciones de enterococci entre los puntos RBN1-a, RBN2-a y RB8, siendo los promedios máximos para los dos primeros de hasta 819 NMP/100ml y 830 NMP/100 ml respectivamente y de 600 NMP/100ml para el caso del punto RB8. La tendencia de crecimiento de las concentraciones de enterococci para el punto RB8 se observa en la época de julio y agosto.

<sup>2</sup> Dejando claramente que este es un ejercicio de demostración, más no puede ser comprable los resultados de enterococci (NMP/100ml) y los límites máximos permisibles (UFC/100ml).

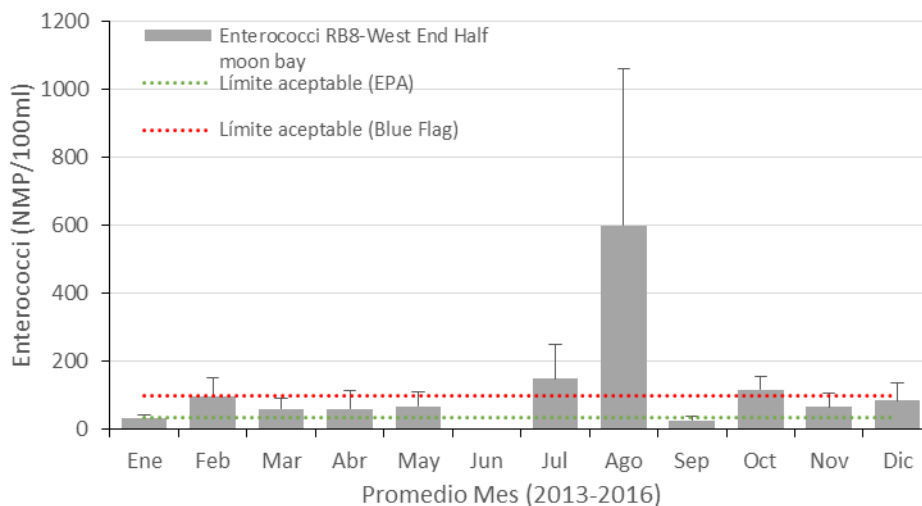


Figura 4. Promedio mensual entre 2013-2016 de Enterococci en los puntos RB8

Para el caso del punto RB8, los meses de julio, agosto y octubre son los únicos que en promedio superan los límites máximos permisibles de Blue Flags. Y, los meses de enero, junio y septiembre las concentraciones de enterococci no superan en promedio el límite máximo permisibles de la EPA.

Se debe tomar en cuenta que en el mes de agosto del año 2016, se presentan picos de concentración de enterococci para diferentes puntos de monitoreo (RBN1-a, RBN2-a, RB5, RB6, RB7, RB8, RB9, RB11, RBN12 y RBN13) entre los rangos de 1446-2258 NMP/100ml. Estos datos se encuentran muy por encima de los datos de agosto, tomando en cuenta que agosto es uno de los meses que presenta anualmente elevación de concentraciones de enterococci. Ya que la elevación en concentración en agosto del 2016 se presenta en varios puntos de monitoreo en diferentes localizaciones, y las muestras se toman por triplicado, se puede inferir que antes del monitoreo ocurrió algún tipo de fenómeno climático que influyó en la elevación sistemática de las concentraciones alrededor de los puntos de monitoreo. Aquí se resalta la importancia de la continuación y continuidad de toma de datos, para lograr continuar evaluando los agostos de cada año e identificar tendencias a largo plazo y no fenómenos locales específicos.

En la Figura 5 se presentan los resultados de las tendencias intra-anales quitándole el pico de concentración del mes de agosto del 2016. Se puede comparar con la Figura 4, en donde el promedio mensual es mucho menor en agosto, aun presentándose por encima de los límites máximos permisibles de la EPA y Blue Flags. El eliminar los puntos picos **NO ES RECOMENDABLE** ya que no se cuenta con suficiente información de la degradación/dispersión de la contaminación bacteriológica que provocó la elevación de los niveles.

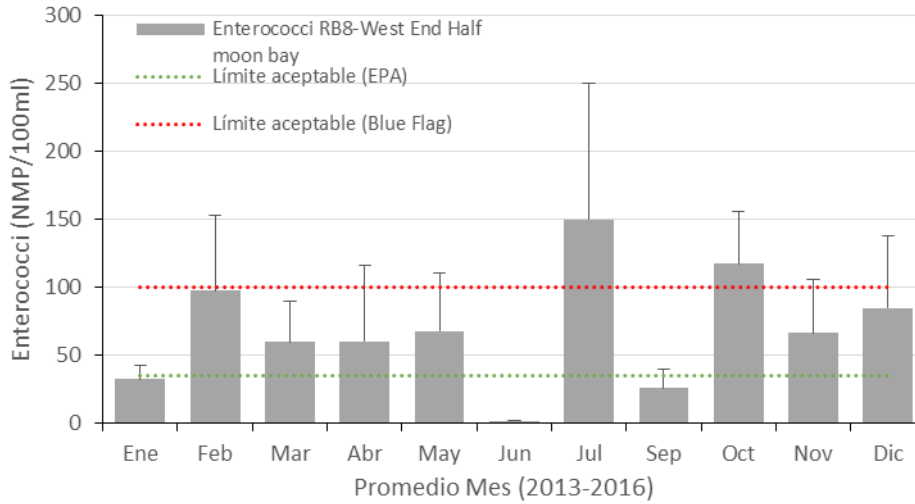


Figura 5. Promedio mensual entre 2013-2016 de Enterococci en los puntos RB8 (eliminando el pico de 08-2016)

### 7.1.2 Temperatura

Se presenta la evaluación del parámetro de calidad de agua temperatura para los sitios fisicoquímicos, ya que bajo el objetivo de monitoreo de los puntos fisicoquímicos (RM) el cambio en temperatura en las aguas marinas es uno de los factores que puede impactar la salud del arrecife de coral.

En la Figura 6 se presenta las fluctuaciones de temperatura del periodo 2013-2015. Se puede observar que la temperatura fluctúa de acuerdo a las temporadas, presentando las temperaturas más bajas al principio y fin de año para irse elevando a partir de marzo y presentando el pico entre julio y octubre. La tendencia de las fluctuaciones de temperatura en los diferentes puntos (RM20, RM26, RM28 & RM46) sigue el mismo patrón.

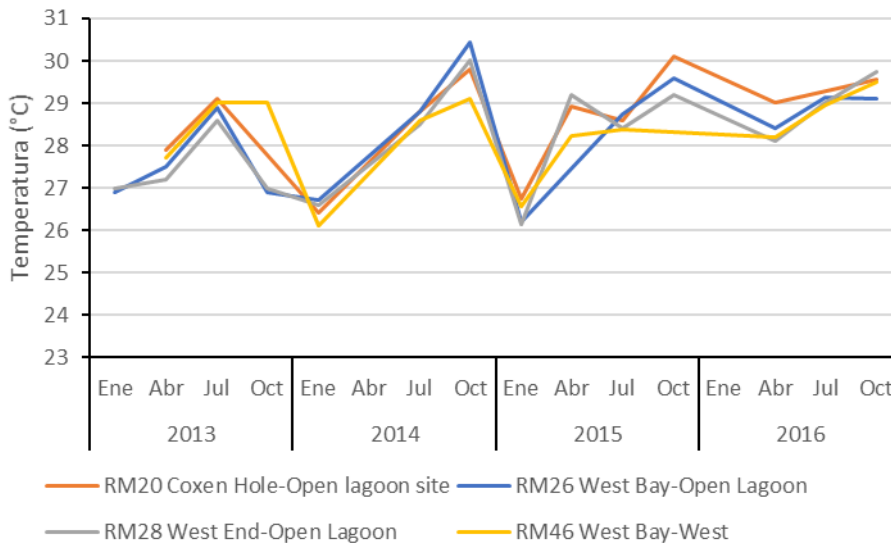


Figura 6. Tendencia de la temperatura en los puntos fisicoquímicos (RM)

Al final del 2015, el patrón de temperaturas bajas presenta un alza en la misma; no alcanzando las temperaturas mínimas del año 2013 y 2014. Como se mencionó en la sección 6.2, uno de los impactos reconocidos con relación a calidad de agua en los arrecifes de coral es la constante elevación en la temperatura marina. Es por este motivo que se realizó un análisis de los datos del periodo 2013-2016 para evaluar si se puede observar aumento en la temperatura.

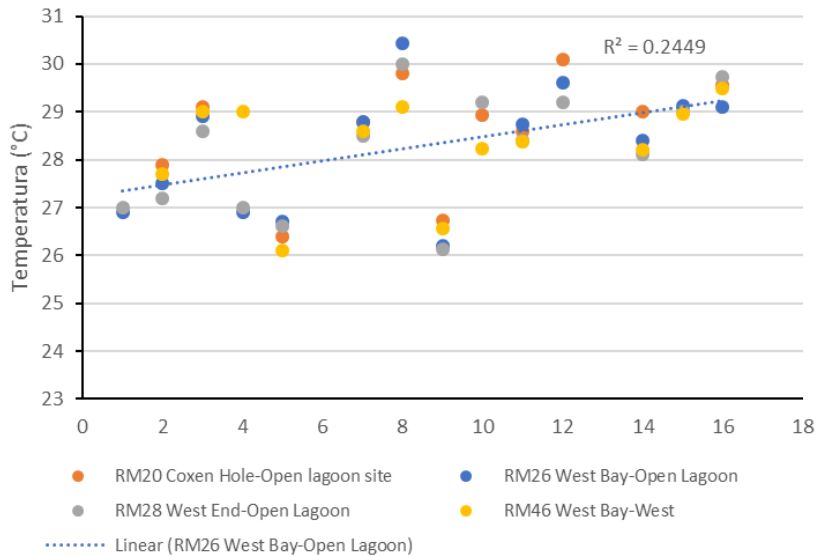


Figura 7. Análisis del aumento de la temperatura marina

En la Figura 7 se observa que al analizar el aumento de la temperatura en los diferentes puntos a través del periodo del 2013-2016 no se encuentra un aumento lineal ( $R^2=0.2449$ ). Este resultado no garantiza que las temperaturas de las aguas marinas no vayan en aumento ya que en un periodo de tres años es muy difícil evaluar dichas tendencias globales de largo plazo. Es por ello que se recomienda que el monitoreo de calidad de agua si evalúe por lo menos los parámetros in-situ de los puntos fisicoquímicos, logrando así evaluar estas tendencias a largo plazo.

### 7.1.3 Oxígeno

Para complementar el análisis de calidad de agua en los sitios fisicoquímicos se presenta también el parámetro de oxígeno; siendo un parámetro básico como indicador de calidad de agua. Si los niveles de oxígeno se presentan muy bajos esto representa actividad bacteriológica de descomposición de materia orgánica anaeróbica que utiliza el oxígeno presente en el agua o si se presenta niveles de oxígeno muy elevados (sobre saturados) indica producción excesiva de oxígeno a través de fotosíntesis realizado por el fitoplancton. En la Figura 8 se presenta que para los puntos evaluados en el periodo del 2013-2016 los niveles de oxígeno se presentan dentro del recomendado para mantener la vida en el sistema acuático.

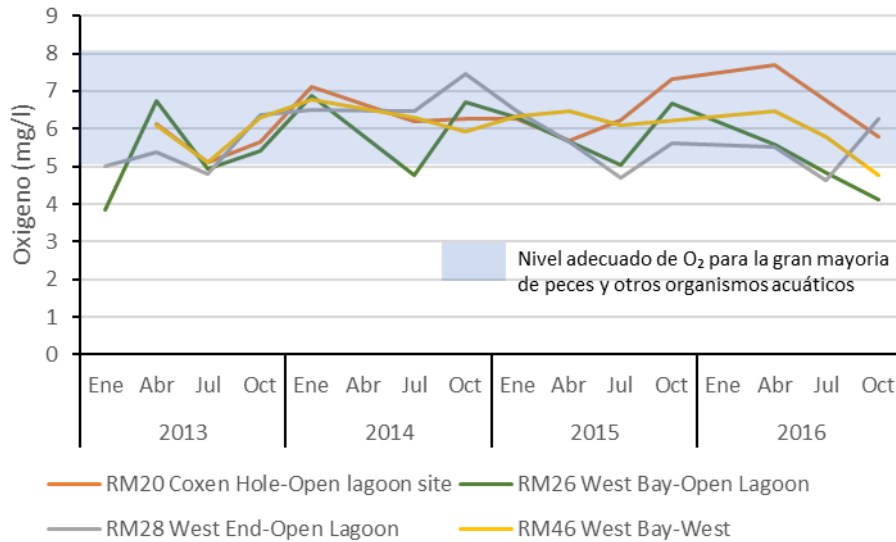


Figura 8. Niveles de oxígeno superficial para puntos fisicoquímicos

## 7.2 Diferencias estadísticas entre temporadas

Para lograr evaluar las fluctuaciones intra-anales, fue necesario evaluar si la calidad de agua se ve afectada por procesos de temporalidad época seca-lluviosa. Se realizó análisis T-test para evaluar la diferencia entre época seca y lluviosa de diferentes puntos y diferentes parámetros. Se pudo observar que en los puntos bacteriológicos para el parámetro de enterococci no existe diferencia significativa entre temporadas (lluviosa-seca), más si se presentan picos dentro de la época lluviosa (Sección 7.1.1).

Site	p-value	Resultado
RB1	0.179	No hay Diferencia Significativa
RBN2-a	0.082	No hay Diferencia Significativa
RBN3-a	0.457	No hay Diferencia Significativa
RB3	0.303	No hay Diferencia Significativa
RB4	0.354	No hay Diferencia Significativa
RB5	0.139	No hay Diferencia Significativa
RB8	0.171	No hay Diferencia Significativa
RBC1	0.136	No hay Diferencia Significativa
RB11	0.096	No hay Diferencia Significativa

Tabla 12. Diferencia estadística entre época seca-lluviosa para enterococci en puntos bacteriológicos

Para el caso de temperatura, como se muestra en la Tabla 13, se presenta que en los puntos someros (RB) si existe diferencia significativa entre la temperatura de época seca y la de época lluviosa; pero para los sitios profundos de evaluación fisicoquímicos (RM) no existe diferencia significativa entre las temporadas del año. Resultados que evidencian la dependencia de la temperatura en las aguas marinas a un sistema de corrientes marinas globales y no a climas locales. Por el contrario la temperatura de los puntos someros si responden a las temporalidades locales del clima.

Site	p-value	Resultado
RB1	0.025	Diferencia Significativa
RBN2-a	0.003	Diferencia Significativa
RBN3-a	0.001	Diferencia Significativa
RB3	0.026	Diferencia Significativa
RB4	0.025	Diferencia Significativa
RB5	0.011	Diferencia Significativa
RB8	0.013	Diferencia Significativa
RBC1	0.000	Diferencia Significativa
RB11	0.013	Diferencia Significativa
RM18	0.354	No hay Diferencia Significativa
RM21	0.467	No hay Diferencia Significativa
RM29	0.345	No hay Diferencia Significativa
RM32	0.207	No hay Diferencia Significativa

Tabla 13. Diferencia estadística entre época seca-lluviosa para temperatura en puntos fisicoquímicos

### 7.3 Tendencias inter-anales

El sistema de monitoreo de calidad de agua marina fue desarrollado en el periodo del 2013-2016, siendo casi cuatro años de monitoreo. Para evaluar tendencias a largo plazo, los periodos de análisis deben ser mucho más largos; pero para ver tendencias locales a corto plazo el sistema de monitoreo ya presenta datos muy interesantes de la evolución de la calidad del agua marinas en los puntos de monitoreo. Complementario al análisis realizado en la sección 7.1 intra-anual, en este caso se realizan promedios anuales en diferentes puntos para analizar evoluciones inter-anales.

#### 7.3.1 Enterococci

La Figura 9 presenta las tendencias de promedios anuales de diferentes puntos. Se puede observar que la tendencia promedio anual en todos los casos en el periodo evaluado es al alza. Los valores más altos los presentan en el 2016 West End, Mangrove Bight (RBN2-a) y los niveles promedio anuales más bajos se presentan en Coxen Hole (RBN3-a).

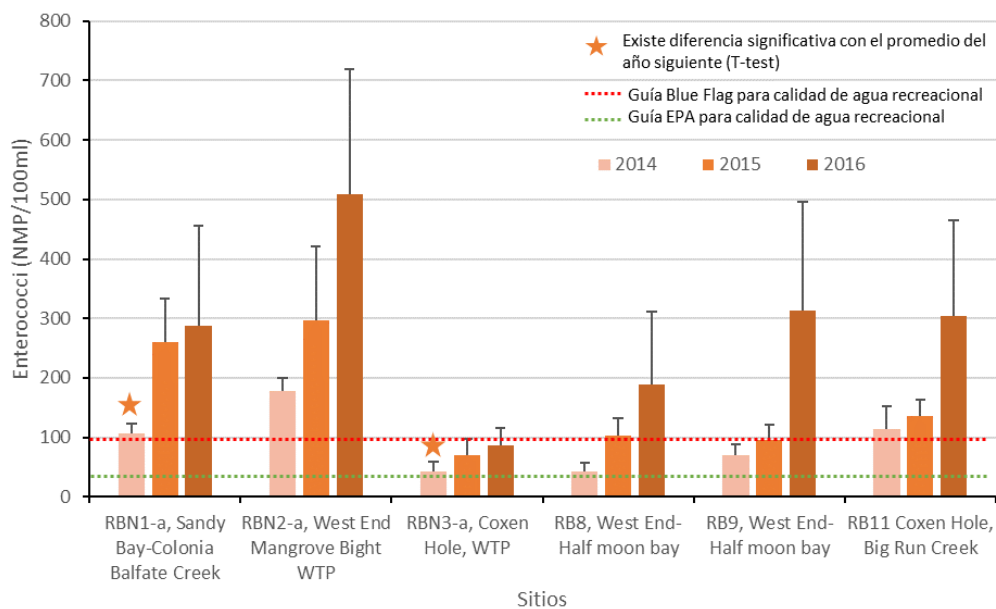


Figura 9. Evolución inter-anual de la concentración de enterococci en aguas marinas

Los valores promedios anuales se pueden reportar para evaluar tendencias anuales y lograr ver incremento o disminución total del año. Se hace notar que para muchos de los casos (RBN1-a, RBN2-a, RB8, RB9 & RB11) se presentan elevaciones en los promedios debido a puntos picos muy altos de un mes específico. Como ya se ha establecido en la sección anterior, no es recomendable el eliminar dichos picos sistémicos (se presentan en varios puntos, en las tres repeticiones) ya que no conocemos la dinámica de degradación/dispersión de los contaminantes y podrían permanecer en el sistema por largo o corto tiempo antes de eliminarse.

Sin embargo, es importante presentar los datos mensuales a través del tiempo. Esto, para no esconder los meses altos/bajos en los promedios anuales o promedios mensuales. En la Figura 10 se muestran los resultados del punto RBN3-a en Coxen Hole. Se puede observar que para este punto existen meses picos diferentes a través de los años, que sobrepasan los límites máximos permisibles de la EPA y Blue Flags. Enero, Agosto, Octubre, 3 meses para el 2014; Febrero, marzo, abril y mayo, 4 meses para el 2015; y Enero, octubre, noviembre y diciembre, 4 meses para el 2016; 11 meses en total.

En la Figura 10 se presenta el caso del punto RB8 en West End, Half Moon Bay, en donde se presenta también diferencias de concentraciones en los diferentes meses de los diferentes años que sobrepasan los límites máximos permisibles de la EPA y Blue Flags. Para el caso del punto RB8 no se presenta el mes de agosto del 2016, ya que la concentración de enterococci se eleva hasta 1522.90 NMP/100ml. Los meses que superan los límites máximos permisibles son marzo y agosto, 2 meses para el 2014; febrero, abril, mayo, julio y septiembre, 5 meses para el 2015 y enero, agosto, octubre, noviembre y diciembre; 5 meses para el 2016.

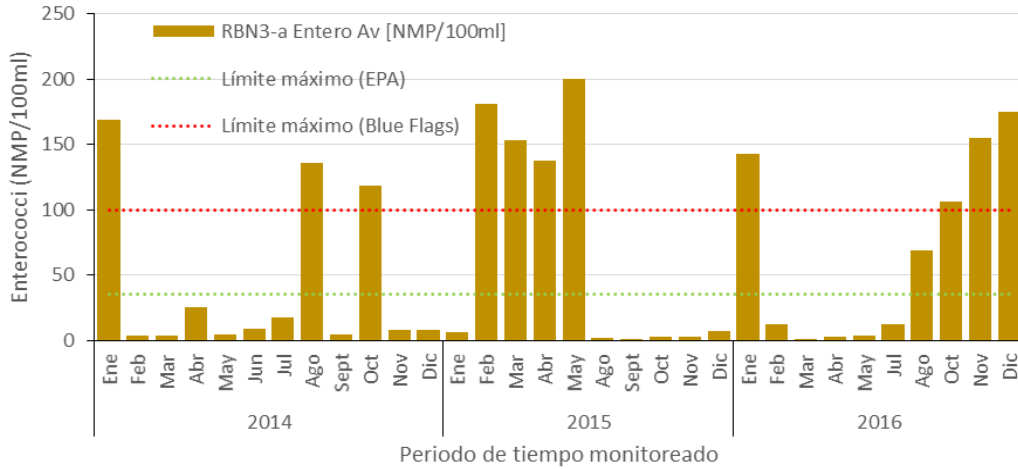


Figura 10. Resultados de enterococci para el punto RBN3-a

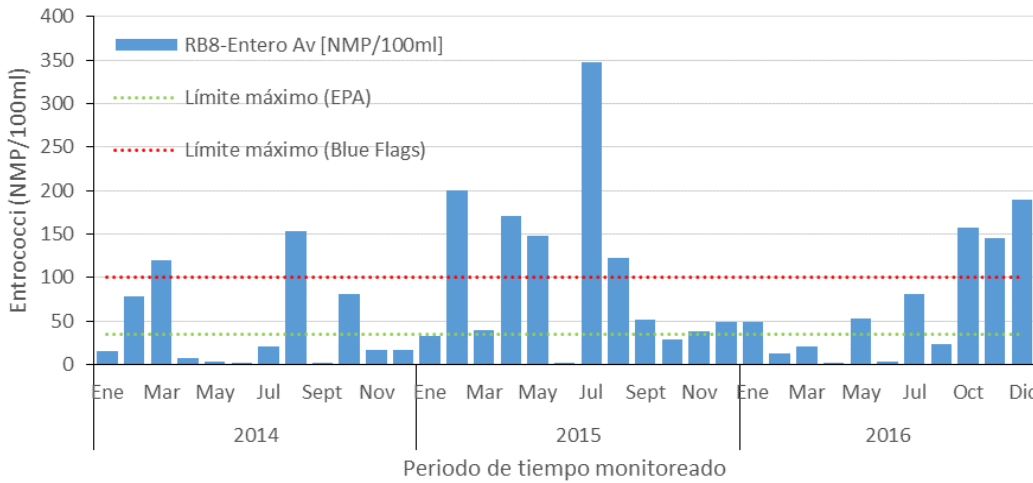


Figura 11. Resultados de enterococci para el punto RB8

### 7.3.2 Nitratos

De la misma manera que se presentan los resultados de enterococci en los sitios bacteriológicos se puede presentar los resultados de nitratos (Figura 12) o ph (Figura 13) o cualquier otro parámetro fisicoquímico para los sitios fisicoquímicos. En la Figura 12 se puede observar que en los diferentes puntos evaluados, no se ve una clara tendencia y los valores de nitratos en todos los puntos evaluados se presentan en un mismo rango. Es importante resaltar que la presencia de nitratos depende en gran parte al ciclo biogeoquímico del nitrógeno y las diferentes actividades bacterianas y fitoplanctónicas en el agua. Es por ello que se recomienda el usar el parámetro de nitrógeno total que incluye todas las especies de nitrógeno disuelto ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ) así como todo el nitrógeno particulado.



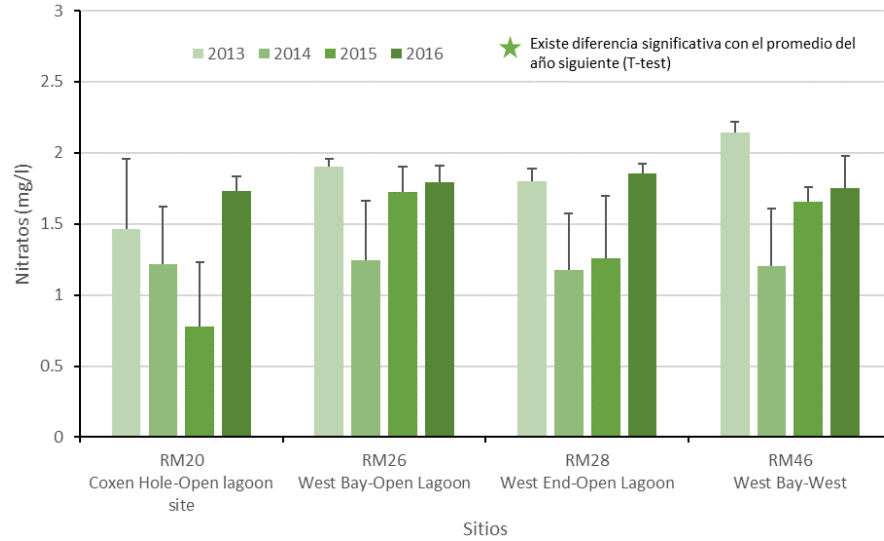


Figura 12. Resultados de nitratos para diferentes sitios fisicoquimicos

### 7.3.3 pH

La acidificación de los mares es una de las causas que pueden tener impacto en la salud de los arrecifes de coral (Hoegh-Guldberg et al., 2007). Es por ello que evaluar tendencias en el parámetro pH en las aguas marinas es de suma importancia.

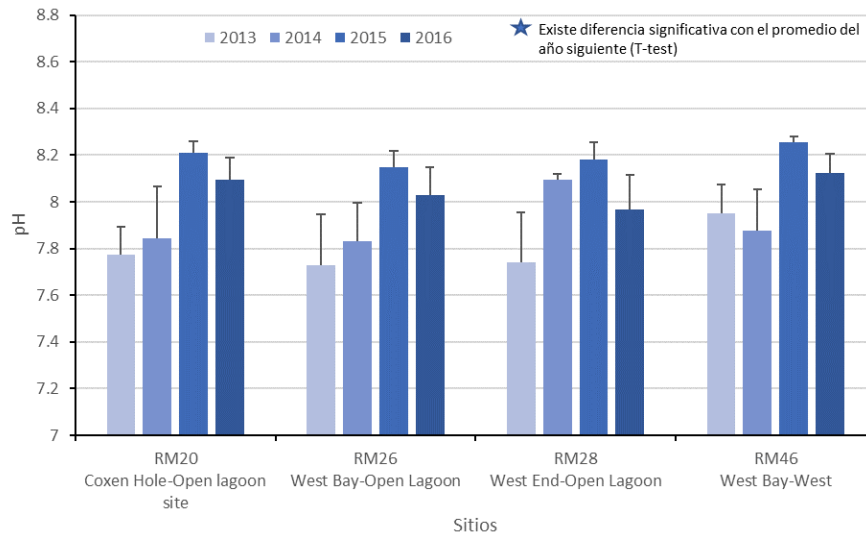


Figura 13. Resultados de pH para diferentes sitios fisicoquimicos

En la Figura 13, se presentan los niveles de pH en diferentes sitios de evaluación fisicoquímicos. Se puede observar que la tendencia en los sitios es contraria a la acidificación, sino tiende a subir el pH. Este fenómeno se puede hipotetizar responde más a las actividades humanas en la isla y las descargas de materia orgánica que fenómenos mundiales de acidificación. Es necesario que para poder evaluar tendencias globales e impactos en el pH se cuenten con una mayor cantidad de datos a largo plazo.

#### 7.4 Diferencia entre puntos en serie

El sistema de monitoreo presenta puntos en serie en ciertos sitios dentro de bahías en donde se intenta evaluar la degradación de la contaminación desde la fuente terrestre hasta la salida de la bahía. A estos puntos en serie, el sistema de monitoreo les aplica diferentes vocales en referencia a los más cercano a la isla; a-cercano a la playa, b-en medio de la bahía y c-en la salida de la bahía hacia aguas abiertas.

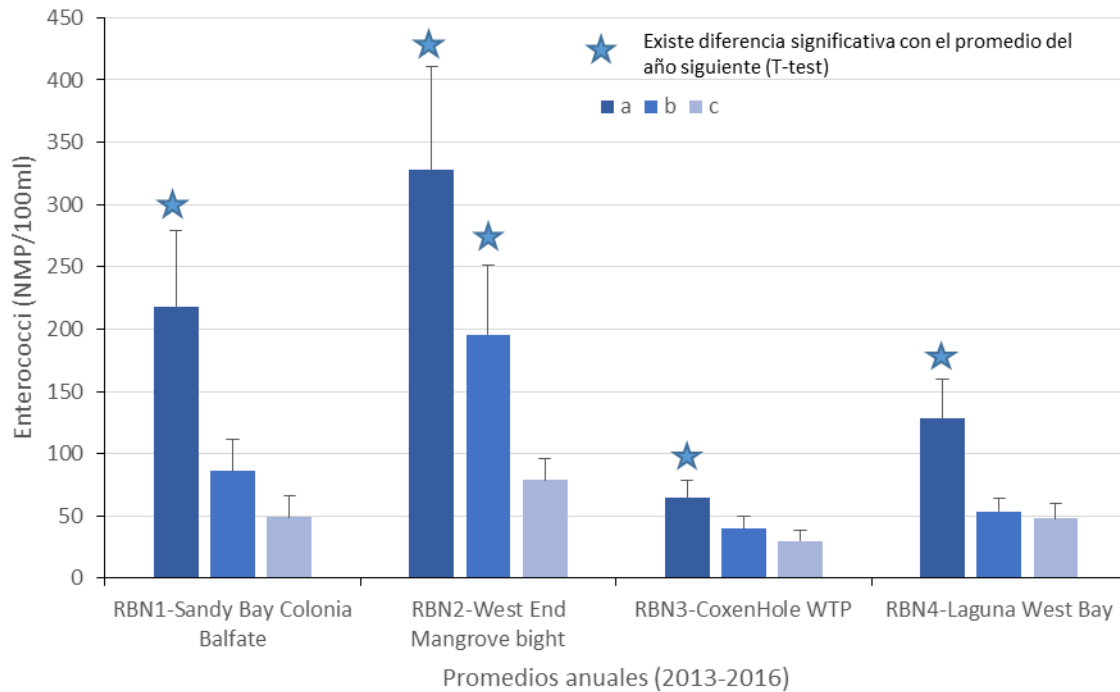


Figura 14. Resultados de enterococci de puntos en serie

Se puede observar en la Figura 14, la disminución de enterococci en lo que se alejan los puntos de la isla. Se realizó un análisis estadístico (t-test) para evaluar si existe o no diferencia significativa entre los puntos. Si la columna presenta una estrella representa que si existe diferencia significativa con el siguiente punto. Se puede observar que en todos los sitios entre el sitio a y el sitio b todos tienen disminución estadísticamente significativa; mientras que entre el sitio b y c en todos los puntos (exceptuando RBN2) no existe diferencia significativa. Se puede entender que, entre el sitio cercano a la playa (con impacto directo de las actividades terrestres) y el punto medio se marca la disminución; mientras que entre el punto medio y el punto más a la salida la disminución de enterococci no es tan pronunciada.

#### 7.5 Diferencias entre parámetros superficiales-profundidad

Para finalizar, se evaluó la diferencia de temperatura entre los datos superficiales y los datos a profundidad para evaluar si existe diferencia y por ende una posible termoclina. En la Figura 15 se presentan los datos de temperatura entre superficial y a profundidad en diferentes sitios

fisicoquímicos (profundos). Se puede observar que para los diferentes meses la temperatura superficial y la temperatura a profundidad es bastante parecida, no identificando un descenso claro en el perfil de agua.

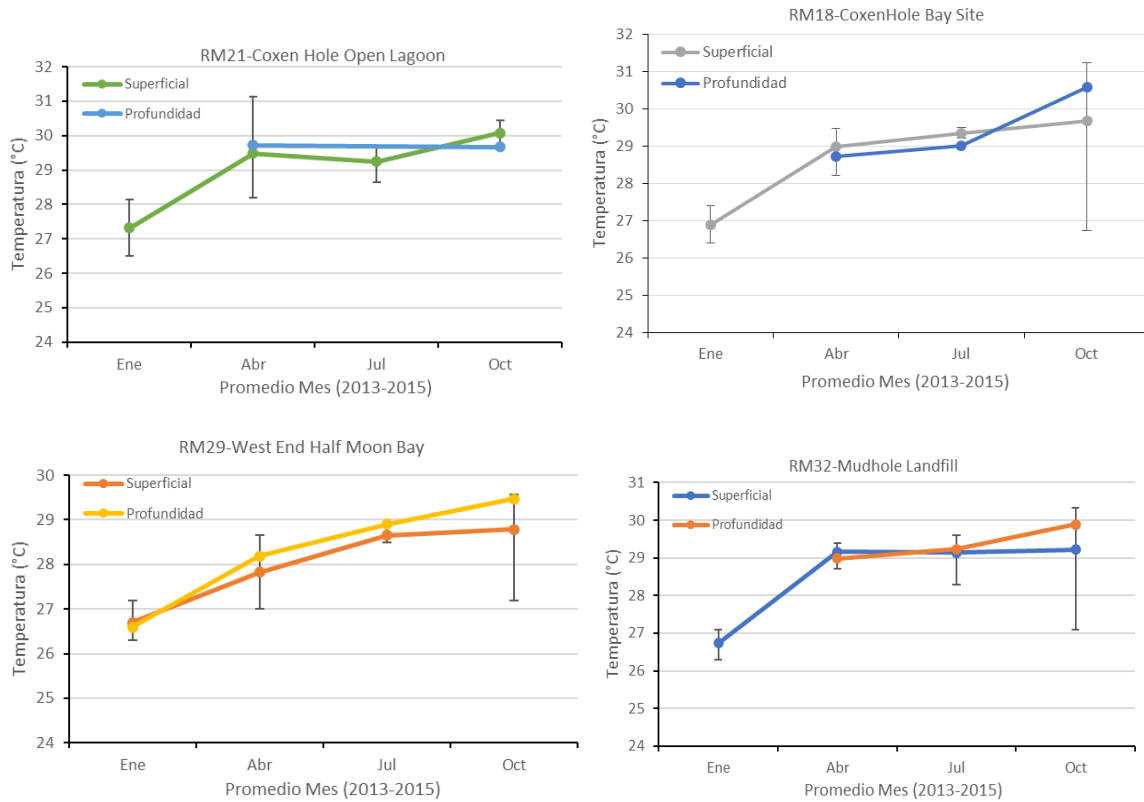


Figura 15. Diferencia de temperatura entre superficial y profundidad

Con los datos presentados en la base de datos no se puede identificar a que profundidad se tomó el parámetro de profundidad dejando en duda si el sitio es profundo o no. De no ser un sitio profundo pero si fisicoquímico, se puede entender que por la falta de profundidad y las corrientes marinas la columna de agua no logra estratificarse. Se debe verificar la profundidad exacta a la que se toma la muestra profunda y que la misma logre llegar muy cercano al fondo.

RESUMEN DE RECOMENDACIONES  
AL SISTEMA DE MONITOREO

## 8 Recomendaciones generales

Es importante denotar que el sistema de monitoreo de calidad de agua marina tiene dos objetivos clave: uno el evaluar la calidad de agua para identificar posibles impactos en la salud y dos el evaluar la calidad de agua para identificar posibles impactos en la salud del arrecife de coral. Ambos objetivos tienen la misma importancia con relación a los posibles impactos en la calidad de vida de los habitantes de la isla de Roatán.

Es necesario que BICA realice un manual práctico del sistema de monitoreo, con dos objetivos principales: darles repetitividad a los procedimientos realizados por la misma BICA en la isla de Roatán o convertirse en una guía para otros actores en caso se desee implementar en las otras islas de las Islas de la Bahía. En dicho manual de monitoreo se debe especificar claramente:

- Procedimiento de campo (calibración de equipo, toma de muestras, puntos de monitoreo, etc.),
- Procedimientos de toma de muestra (tipo de recipiente, limpieza del recipiente, triplicados, etc.),
- Cadena de custodia (forma de envío a laboratorios, tiempos de envío, preservación de la muestra, etc.),
- Responsable de actividades dentro de las instituciones (calendarización, preparación de equipo, cadena e custodia, introducción de datos a la base de datos, análisis de resultados, etc).
- Procedimientos en laboratorio (métodos de análisis utilizados en el laboratorio comparable entre sí).

### 8.1 Recomendación para construcción/llenado de base de datos

El reporte de la sistematización del monitoreo de calidad de agua incluye en Excel la base de datos limpia y arreglada. Todos los resultados presentados surgen de la base de datos ordenada que se provee como anexo a este reporte. En dicha base de datos se deja a través de diferentes pestañas la forma (a través de tablas dinámicas) en la que se logra analizar grandes bases de datos rápidamente desde Excel. Las pestañas que se dejan para el análisis rápido de la base de datos son:

- **RoatanBD:** es la base de datos inicial, sin errores de Excel
- **Roatan BD-blank:** es la base de datos con las celdas en blanco cuando no se tienen resultados. Esto debe quedar de esta manera para permitir el análisis con tablas dinámicas en el Excel.
- **Roatan\_# Análisis:** presenta una tabla dinámica arreglada para cuantificar la cantidad de datos, por parámetros, sitio y año presentado en la base de datos.
- **Roatan\_T-test\_Puntos:** presenta la tabla dinámica arreglada para lograr evaluar diferencias estadísticas entre sitios monitoreados. En la hoja de Excel, además de tener la tabla dinámica tienen ya esquematizadas las fórmulas para el cálculo T-test, y diferentes ejemplos en la parte de abajo (utilizados en el reporte).
- **Roatan\_T-test\_Temporalidad:** presenta la tabla dinámica arreglada para lograr evaluar diferencias estadísticas entre estación seca-lluviosa de diferentes parámetros. En la hoja de

Excel, además de tener la tabla dinámica tienen ya esquematizadas las fórmulas para el cálculo T-test, y diferentes ejemplos en la parte de abajo (utilizados en el reporte).

- **Roatan\_T-test\_Años:** presenta la tabla dinámica arreglada para lograr evaluar diferencias estadísticas entre resultados anuales de diferentes sitios. En la hoja de Excel, además de tener la tabla dinámica tienen ya esquematizadas las fórmulas para el cálculo T-test, y diferentes ejemplos en la parte de abajo (utilizados en el reporte).
- **Roatan\_Temporal:** presenta la tabla dinámica arreglada para lograr evaluar tendencias en el tiempo de los parámetros. Estos resultados si tienen que ser arreglados por aparte para obtener las gráficas.

Es importante identificar los errores claves en el diseño de la base de datos que se realizaron, para no volver a cometerlos.

- Para cada sitio y fecha debe existir únicamente una fila, y en lo horizontal identificar varias mediciones que se realizan para ese punto. Se debe evitar a toda costa repeticiones como se presentan a continuación.

29-ene.-15	1020	RBN2-c SURFACE		25.80	25.80	25.80	25.80	6.22
29-ene.-15	1021	RBN2-c BOTTOM		25.90	26.40	26.40	26.23	5.96
27-feb.-15	1320	RBN2-c	BOTTOM	29.40	29.30	29.00	29.23	6.24
27-feb.-15	1322	RBN2-c	SURFACE	29.30	29.40	29.40	29.37	6.13

- No se hacen separaciones en la base de datos ya que no es funcional al momento de realizar análisis estadísticos (tabla dinámica o spss). La fecha se divide en día, mes, año y se repite el año por ejemplo cuantas veces sea necesario para que cada sitio tenga su fecha completa. Se evitan errores como el ribbon de separación.

Date	Time	Site	Sample	Temp 1 S	Temp 2 S	Temp 3 S	Temp Av S	Temp 1 B	Temp 2 B	Temp 3 B	Temp Av B	DO 1 S	DO 2 S	DO 3 S	DO S AV	DO 1 B	DO 2 B	DO 3 B	DO B AV	DO% 1 S
ENERO 2013																				
		RM31		26.90			26.90				#DIV/0!	4.91			4.91				#DIV/0!	76.10
		RM32		27.10			27.10				#DIV/0!	5.44			5.44				#DIV/0!	83.20
		RM46					#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!	
		RMC1					#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!	
		RMC2					#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!	
		RMC3					#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!	
		RMN1		2.00			2.00				#DIV/0!	4.88			4.88				#DIV/0!	74.40

- Se agregó al final una columna de comentarios para las observaciones, ya sean de campo o de problemas con el equipo o cualquier otro. Es recomendable que se abra una nueva casilla para dejar registrada eventos climáticos cercanos a la fecha de monitoreo que podría afectar en los resultados.

ABRIL 2014 YSI EN MAL ESTADO																				
		RB1					#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!	
		RBN1-a					#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!	
		RBN1-b					#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!	
		RBN1-c					#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!	
		RB2					#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!	
		RBN2-a					#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!	

- En el encabezado de la base de datos se agregaron tres columnas para facilitar el análisis de datos: código (que identifica los sitios RB & RM), localización (que nombra el área de Roatán donde se encuentra el sitio de monitoreo), categoría (un nivel más bajo de descripción del área donde se encuentra el sitio de monitoreo).

Es imperativo que en la base de datos (dentro de la celda que identifica el parámetro) se deje plasmada la unidad en que se reporta el resultado.

## 8.2 Recomendación para el seguimiento del sistema de monitoreo

A continuación se presenta breves resúmenes de las recomendaciones que se dieron por cada sección para la adaptación y mejoramiento del sistema de monitoreo de calidad de agua.

### 8.2.1 Toma de muestras y parámetros

Las tomas de muestras en puntos fisicoquímicos deben ser realizadas a diferentes profundidades, evaluando la columna de agua. Resaltando que los datos a profundidad deben ser reportados a lo más profundo del sitio, reportando a qué profundidad se tomó cada uno de los datos en la columna.

En los puntos bacteriológicos (RB) por ser tan someros no es necesario el tomar superficial y a profundidad ya que no habrá diferencia.

### 8.2.2 Parámetros de calidad de agua

Si fuese necesario disminuir el número de sitios dentro del monitoreo de calidad de agua, realizar la evaluación presentada en la sección 6.1.1 para identificar puntos adyacentes con resultados parecidos dentro del periodo de tiempo monitoreado.

De los parámetros bacteriológicos:

- Los parámetros de calidad de agua que mejor indican contaminación fecal en las aguas para recreación (que puede ser concluido debido a la falta de saneamiento), tanto en aguas marinas como en aguas dulces son *e.coli* y enterococci. Actualmente se analiza coliformes totales y coliformes fecales, parámetros con los que no se puede asegurar que exista contaminación fecal proveniente de animales.
- Para evaluar los resultados del monitoreo de calidad de agua con guías internacionales se debe verificar que las dimensionales sean iguales. NMP/100ml y UFC/100 ml, por ser metodologías diferentes de análisis, no pueden ser comparados.

De los parámetros fisicoquímicos:

- A pesar que el proyecto con MARFUND ya finalizó, los parámetros *in-situ* (principalmente Temperatura, pH y disco secchi) se continúen midiendo por BICA. Estos, presentan un menor costo ya que no es necesario el enviar al laboratorio los parámetros y son de suma importancia para entender los posibles impactos que la calidad de agua podrían tener sobre los arrecifes de coral de Roatán.
- Las diferentes formas del nitrógeno ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ) y fósforo ( $\text{PO}_4$ ) pueden responder a condiciones climáticas, biológicas, físicas, etc., por lo que se debe tener en cuenta la momento de analizar tendencias en el tiempo. Pero, son importantes para darle continuidad a los parámetros tomados en la línea base y a través del periodo de monitoreo y para evaluar las diferentes formas disponibles para el uso por fitoplancton, o formas presentes por procesos de degradación de materia orgánica, procesos de nitrificación/denitrificación, etc.

- Para evaluar procesos de eutrofización de las aguas marinas en periodos es más eficiente medir nitrógeno total (TN) y fosforo total (TP) para luego de ser necesario, entender las diferentes formas presentes de ambos nutrientes limitantes. Los totales incluyen las todas las formas disueltas y particuladas del nutriente presente en el agua, por lo que los resultados son más elevados. Es de esta forma como se podría independizar el resultado de los límites de cuantificación de los laboratorios, situación que afectó la toma de muestras.
- Es muy importante, como ya se ha mencionado anteriormente, que se pueda incorporar el parámetro de clorofila a, para lograr evaluar el incremento de fitoplancton en las aguas marinas el cual es un parámetro reconocido como de gran impacto en la salud del arrecife de coral.

### 8.2.3 Frecuencia

De ser necesario, la eliminación de número de salidas es importante priorizar aquellos meses en donde se presentan constantemente incumplimientos o picos de concentraciones de parámetros (bacteriológicos o fisicoquímicos). En la sección 7.1 se presenta un análisis de diferentes puntos y parámetros en donde se presentan los meses con picos o crecidas en el periodo de monitoreo.

### 8.3 Recomendación para análisis de datos

En la sección 7—Análisis de resultados—se presentan varias recomendaciones con relación a análisis y presentación de resultados.

Es de suma importancia que se tenga un record de precipitación diario, para lograr evaluar si los picos de los resultados son causa directa de la escorrentía que proviene de las áreas terrestres (Meng et al., 2008). Esto puede vislumbrar la necesidad de aplicar manejo integrado de cuencas en las áreas de terrestres de influencia con medidas de mitigación como reforestación, protección de cauces de ríos, etc. Implementando dichas actividades de mitigación impactos por precipitación podría disminuir la cantidad de materia orgánica, turbiedad, nutrientes, etc.

Como ya se ha hecho mención en las evaluaciones anteriores del sistema de monitoreo, para lograr entender tendencias a largo plazo es necesario evaluar los datos desde línea base que sería el informe PMAIB de 1999.

### 8.4 Recomendación para la sostenibilidad del sistema de monitoreo de calidad de agua marina

El fallo más común de cualquier sistema de monitoreo de calidad de aguas es la sostenibilidad económica; esto debido a que el sistema resulta ser caro y a muy largo plazo. Para el caso del sistema de monitoreo de calidad de agua marina realizado por BICA, existen dos posibles estrategias que no son excluyentes:

- Alianzas con otros actores interesados. No únicamente las ONG's coadministradoras sino también aquellas instituciones estatales que bajo su mandato les resulta necesario los datos producidos. Por ejemplo: ZOLITUR, Ministerio de Salud, UMA de la municipalidad, entre otros actores que se vieron interesados en los datos.
- Montar un laboratorio de análisis de calidad de agua en BICA, los costos iniciales de la compra de equipo pueden ser bastante fuertes (por lo que tendría que ser con base en un



proyecto) y se debe entrenar apropiadamente a un técnico. Pero, el tener un laboratorio “en casa” le da muchísima más sostenibilidad al sistema de monitoreo, ya que baja los costos considerablemente. Además de vislumbrarse la posibilidad de dar servicios de análisis a otros actores interesados en el área.

#### 8.5 Recomendación para mejorar el impacto de los resultados producidos en el sistema de monitoreo de calidad de agua marina

En la sección 9 se presenta la percepción de los diferentes actores con respecto a los datos producidos en el sistema de monitoreo de calidad de agua marina y al sistema en sí. Como era de esperar la mayoría de los actores entrevistados prefieren únicamente recibir informes analizados de los principales resultados del sistema de monitoreo, aunque si existen algunos actores (Zolitur, Polos Water, Coral Reef Alliance, Healthy Reefs Initiative, Zolitur y la Unidad de Medio Ambiente de la Municipalidad de Roatan) que reportan querer trabajar directamente con la base de datos para poder sacar ellos mismos los diferentes resultados (parámetros y sitios de muestreo) que les interesa.

Es por ello que se recomienda, para tener un mayor impacto de incidencia en la isla, elaborar un esquema fijo de presentación de datos. El esquema se encontraría ya vinculado con las tablas producidas desde Excel para que la elaboración del breve reporte no sea de mucha carga para el técnico de BICA. En dicho esquema se presentaría dos principales resultados:

- Resultados del mes/trimestre, de acuerdo a lo decidido por BICA. Varios actores reportaron preferir que el reporte se realizara trimestralmente, pero, debido a las fluctuaciones mensuales que se presentan en los datos sería buena idea presentar los resultados mensuales.
- Tendencias históricas anuales de los parámetros bacteriológicos (Enterococci) y fisicoquímicos (temperatura y algún nutriente de elección) principales.

Estos reportes, de preferencia, deben ser enviados por correo a una lista de usuarios escogidos ya que puede llegar a ser contraproducente el que esta información llegue a personas desinformadas o con ganas de desinformar.

PERCEPCIÓN DE ACTORES  
DEL SISTEMA DE MONITOREO

## 9 Percepciones de actores

A continuación, se presenta una matriz de las diferentes percepciones de los actores entrevistados. Se diseñó un set de preguntas para guiar la entrevista (anexo 11.1.2) ya que en este caso se prefiere no realizar preguntas directas sino preguntas motivadoras para lograr tener lo más cercano a la percepción real de los actores entrevistados. Las preguntas motivadoras pretendían orientar la conversación a responder cinco grandes interrogantes:

1. Si el actor conocía, ya sea del sistema de monitoreo de calidad de agua marina que se estaba realizando por BICA; o, de ser positiva la respuesta anterior saber si el actor conocía de los resultados del monitoreo.
2. De conocer o no el sistema y/o los resultados se proseguía a evaluar la percepción acerca del sistema de monitoreo.
3. Si el actor conocía del sistema o de los datos se proseguía a identificar si había usado o requerido de algún tipo de información de la base de datos para toma de decisiones, educación, o cualquier otro.
4. Independiente si el actor conocía o no del sistema de monitoreo o de los datos y de la percepción general del sistema de monitoreo, se prosigue a identificar posibles usos en sus campos de acción donde podrían ser útiles los datos producidos.
5. Para culminar por entender si al actor le interesaba trabajar directamente con la base de datos o únicamente recibir reportes o presentaciones acerca de los resultados de los parámetros de calidad de agua marina.

Las matrices (Figura 16 & Figura 17) presentadas a continuación pretenden simplificar el procesamiento y análisis de lo percibido en las entrevistas. En las matrices se organizan los actores por sectores:

- **Co-administradores:** Son los co-administradores del Parque Nacional Marino Islas de la Bahía; que deben ser usuarios recurrentes de la base de datos. Siendo estos (desde la firma del convenio en el año 2014 (ICF, 2016):
  - Secretaría de Energía, recursos naturales, Ambiente y Minas (SERNA)
  - Instituto Hondureño de Turismo (IHT)
  - Secretaria de Agricultura y Ganadería (SAG)
  - Zona Libre Turística (ZOLITUR)
  - Bay Island Conservation association (BICA)
  - Roatán Marine Park
  - Centro de Estudios Marinos de Utila
  - Fundación Islas de la Bahía
  - Municipalidades de Roatán, Utila, Guanaja y José Santos Guardiola
- **Entidad gubernamental:** Son aquellas entidades que pertenecen a la estructura del gobierno central; que no son parte de los co-administradores del área protegida pero que pueden ser usuarios/voceros de los resultados encontrados en el sistema de monitoreo de calidad de agua marina.

- **Autoridades locales:** (incluye la municipalidad como gobierno local y a aquellas autoridades reconocidas en territorio). Son aquellas autoridades que tienen la potestad/poder de gestionar el saneamiento de aguas desde lo local.
- **ONG's:** Son aquellas entidades no gubernamentales que trabajan en el área para la protección de los arrecifes de coral y por ende la calidad de vida de la población.
- **Sector hotelero:** El actor entrevistado no representa a todo el sector hotelero, más solo un pequeño grupo que se está organizando para conjuntamente resolver su problema de aguas residuales.
- **Sector local:** El actor entrevistado representa a las personas locales que trabajan directamente del turismo.

Las categorías presentadas son:

- **Conocía del sistema de monitoreo/datos:** responde ambas, no solo si conoce que BICA está realizando monitoreo de calidad de agua marina, sino también si ha conocido ya los resultados que han empezado a aparecer. Se divide las categorías de respuesta relacionado a si sabe del sistema y de los resultados, si solo sabe del esfuerzo de monitoreo o si desconoce por completo de ambos.
- **Percepción general del monitoreo:** responde a una percepción general positiva o negativa del esfuerzo de monitorear la calidad de aguas marinas de la isla de Roatán.
- **Muestra interés en los resultados:** responde a la interrogante si el actor entrevistado en representación de su sector se encuentra interesado en el uso continuo de los resultados.
- **Muestra interés en la utilización de la base de datos.** Responde a la interrogante si los actores se encontraban interesados en manejar directamente los datos o si prefieren que se les envíe reportes de los datos ya analizados. Si la respuesta es negativa, no significa que no se encuentre interesado en los resultados, sino que solo que no desea usar la base de datos cruda.

En general, ninguno de los actores tiene una percepción negativa del sistema de monitoreo de calidad de agua marina (Figura 16). Todos tienen una percepción positiva ante la producción de datos de calidad de agua, por diferentes motivos: para toma de decisiones, para informar a la población, para entender la situación, entre otros. Ahora, es de suma importancia denotar que no todos sabían no solo de los resultados sino del esfuerzo mismo de monitoreo de calidad de aguas; pero los usuarios clave (como los coadministradores) si conocen no solo del sistema sino de algunos resultados.

Como era de esperar muchos actores prefieren únicamente recibir informes analizados de los principales resultados del sistema de monitoreo, pero si existen algunos actores (Zolitur, Polos Water, Coral Reef Alliance, Healthy Reefs Initiative, Zolitur y la Unidad de Medio Ambiente de la Municipalidad de Roatan) que reportan querer trabajar directamente con la base de datos

para poder sacar ellos mismos los diferentes resultados (parámetros y sitios de muestreo) que les interesa. Es basado en esta información, que se decidió no migrar la base de datos a un software estadístico y tampoco migrar la base de datos a un software en línea más complejo ya que hay otros usuarios interesados con habilidad de uso de Excel que identifican no ser de mucha utilizada (y hasta peligroso) que la base de datos se maneje tan públicamente.

Esto se vincula con las respuestas antagónicas de la forma de socialización (Figura 17) de los diferentes actores. En donde, la mayoría reportó que era de suma importancia que la información resultante del sistema de monitoreo se manejara con suma discreción; para no escandalizar a los turistas o a la población en general (respuesta: escalonada-empezando de arriba hacia abajo). Por el contrario, existen ciertos actores que creen que a la población no se debería dejar sin acceso a esa importante información ya que en sus manos también está el poder hacer presión a las autoridades para que trabajen en dichos temas (respuesta: desde las bases sociales o abiertas a todo público).

Si existen demandas claras para la transferencia de información, presentaciones y reportes (trimestrales/semestrales) que debe ser tomado en cuenta por BICA dentro del esfuerzo de monitoreo. Siendo estos requerimientos importantes actividades para la incidencia pero también muy consumidoras de tiempo de los técnicos encargados.

**SISTEMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA MARINA**  
ROATAN, ISLAS DE LA BAHÍA, HONDURAS

Sector	Organización/Institución	Actor	Conocía del sistema/datos del monitoreo de calidad de agua	Percepcion general del monitoreo	Muestra interes en los resultados	Muestra interes en la utilización de la base de datos
Coadministradores	Instituto nacional de conservación y desarrollo forestal, áreas protegidas y vida silvestre (ICF)	Cindy Flores	Si- existencia del sistema de monitoreo y resultados	Positivo	Positivo	Negativo
	Roatan Marine Park	Eduardo Rico	Si- existencia del sistema de monitoreo y resultados	Positivo	Positivo	Negativo
	Zolitur	Zoterno Medina Castro	Si- existencia del sistema de monitoreo y resultados	Positivo	Positivo	Positivo
Entidad gubernamental	Ministerio de salud	Fermin Lopez	Si-existencia de un sistema de monitoreo desconocen resultados	Positivo	Positivo	Negativo
	Ministerio de educación	Maximo Castro	Desconocía por completo del sistema/datos de monitoreo	Positivo	Positivo	Negativo
	Secretaria de medio ambiente (Proyecto Marino Pesquero)	Anua Romero	Si-existencia de un sistema de monitoreo desconocen resultados	Positivo	Positivo	Negativo
Gobiernos locales	Unidad de medio ambiente (UMA) Municipalidad	Rommel George	Si-existencia de un sistema de monitoreo desconocen resultados	Positivo	Positivo	Positivo
	Presidenta de los patronatos de Roatan	Rosa Daniela Hendrix	Si-existencia de un sistema de monitoreo desconocen resultados	Positivo	Positivo	Negativo
	Patronato West End	Michelle Grimmin	Si-existencia de un sistema de monitoreo desconocen resultados	Positivo	Positivo	Negativo
	Polos Water	Susy Ochoa	Si- existencia del sistema de monitoreo y resultados	Positivo	Positivo	Positivo
ONG's	Coral Reef Alliance	Jenny Myton	Si- existencia del sistema de monitoreo y resultados	Positivo	Positivo	Positivo
	Healthy Reefs	Ian Drysdale	Si- existencia del sistema de monitoreo y resultados	Positivo	Positivo	Positivo
Sector Hotelero	Paradise Hotel	Emilio Maldonado	Si- existencia del sistema de monitoreo y resultados	Positivo	Positivo	Negativo
Sector Local	Lanchero	Orlando Valle	Desconocía por completo del sistema/datos de monitoreo	Positivo	Negativo	Negativo

Figura 16. Percepción e interés de los resultados del sistema de monitoreo de calidad de agua marina.

**SISTEMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA MARINA**  
ROATAN, ISLAS DE LA BAHÍA, HONDURAS

Sector	Organización/Institución	Actor	Importancia de la información	Forma en que prefiere se le presente los resultados	Forma de socialización
Coadministradores	Instituto nacional de conservación y desarrollo forestal, áreas protegidas y vida silvestre (ICF)	Cindy Flores	para tomadores de decisiones e inversiones publicas	reportes cortos visuales	Escalonado-empezando de arriba hacia abajo
	Roatan Marine Park	Eduardo Rico	para tomadores de decisiones e inversiones publicas	reportes cortos visuales	Escalonado-empezando de arriba hacia abajo
	Zolitur	Zoterno Medina Castro	para tomadores de decisiones e inversiones publicas	base de datos limpia y ordenada	Escalonado-empezando de arriba hacia abajo
Entidad gubernamental	Ministerio de salud	Fermin Lopez	para tomadores de decisiones e inversiones publicas	reportes cortos visuales	Escalonado-empezando de arriba hacia abajo
	Ministerio de educación	Maximo Castro	para educación ambiental de la población	presentaciones	Escalonado-empezando de arriba hacia abajo
	Secretaria de medio ambiente (Proyecto Marino Pesquero)	Anua Romero	para tomadores de decisiones e inversiones publicas	reportes cortos visuales	Desde las bases sociales
Gobiernos locales	Unidad de medio ambiente (UMA) Municipalidad	Rommel George	para tomadores de decisiones e inversiones publicas	base de datos limpia y ordenada	Abierto a todo público
	Presidenta de los patronatos de Roatan	Rosa Daniela Hendrix	para educación ambiental de la población	presentaciones	Desde las bases sociales
	Patronato West End	Michelle Grimmin	para tomadores de decisiones e inversiones publicas	presentaciones	Desde las bases sociales
	Polos Water	Susy Ochoa	para uso interno y gestión de donaciones	base de datos limpia y ordenada	Escalonado-empezando de arriba hacia abajo
ONG's	Coral Reef Alliance	Jenny Myton	para uso interno y gestión de donaciones	base de datos limpia y ordenada	Escalonado-empezando de arriba hacia abajo
	Healthy Reefs	Ian Drysdale	para uso interno y gestión de donaciones	base de datos limpia y ordenada	Escalonado-empezando de arriba hacia abajo
Sector Hotelero	Paradise Hotel	Emilio Maldonado	para uso interno en relación a la eficiencia de su PTAR	reportes cortos visuales	Escalonado-empezando de arriba hacia abajo
Sector Local	Lanchero	Orlando Valle	para educación ambiental de la población	reportes cortos visuales	Desde las bases sociales

Figura 17. Percepción del modo de uso de los resultados sistema de monitoreo de calidad de agua marina

## 10 Referencias Bibliográficas

- Acosta, L. A. (2005). *Guía práctica para la sistematización de proyectos y programas de cooperación técnica*. FAO.
- Brown, B. E. (1997). Coral bleaching: causes and consequences. *Coral Reefs*, 16(0), S129–S138. <http://doi.org/10.1007/s003380050249>
- Burke, L., Reyntar, K., Spalding, M., & Perry, A. (2011). Reefs at Risk Revisited Executive Summary. *Reefs at Risk Revisited*, 58pp. [http://doi.org/10.1016/0022-0981\(79\)90136-9](http://doi.org/10.1016/0022-0981(79)90136-9)
- D'Angelo, C., & Wiedenmann, J. (2014). Impacts of nutrient enrichment on coral reefs: New perspectives and implications for coastal management and reef survival. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, 82–93. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.029>
- EEF. (2015). Blue Flag Beach Criteria, 1–37.
- EPA. (2012). Recreational Water Quality Criteria. *U. S. Environmental Protection Agency*, 1–69.
- Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (n.d.). Physico-chemical water quality Indices -A comparative Review-
- Hill, J., & Wilkinson, C. (2004). Methods for ecological monitoring of coral reefs. *Australian Institute of Marine Science, Townsville*, 117. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., ... Hatzitolos, M. E. (2007). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science*, 318(5857), 1737–1742. <http://doi.org/10.1126/science.1152509>
- ICF, (2016) Plan operativo Parque Nacional Marino Islas de la Bahía, Año 2016. Comité de Gestión del Área. Tomado de: <http://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2016/05/CPI4-I16-Plan-Operativo-Anual-PNM-Islas-de-la-Bahia.pdf>
- Lozano-Cortés, D. F., Giraldo, A., & Izquierdo, V. (2014). Short-term assessment of the sediment deposition rate and water conditions during a rainy season on La Azufrada coral reef, Gorgona Island, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 62(February), 107–116.
- Meng, P.-J., Lee, H.-J., Wang, J.-T., Chen, C.-C., Lin, H.-J., Tew, K. S., & Hsieh, W.-J. (2008). A long-term survey on anthropogenic impacts to the water quality of coral reefs, southern Taiwan. *Environmental Pollution*, 156(1), 67–75. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.12.039>
- Schaffelke, B., Carleton, J., Skuza, M., Zagorskis, I., & Furnas, M. J. (2012). Water quality in the inshore Great Barrier Reef lagoon: Implications for long-term monitoring and management. *Marine Pollution Bulletin*, 65(4–9), 249–260. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.10.031>
- UNEP, & WHO. (1996). *Water Quality Monitoring -A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. Military Operations Research* (Vol. 2). Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/mors/mor/1996/00000002/00000004/art00002>



## 11 ANEXOS

### 11.1 Breve Reporte de Visita a Campo

La visita a campo se realizó del 1 de mayo al 6 de mayo del 2017. Dicha visita fue organizada conjuntamente MAR Fund, BICA y mi persona. La visita a Roatán, tenía tres principales objetivos:

- a. Tener conversaciones con personas de la metodología, experiencias y dudas previas, con los técnicos de BICA (ejecutor del sistema de monitoreo).
- b. Entrevistas abiertas con diferentes actores interesados o posibles interesados en los datos del sistema de monitoreo de calidad de agua marina.

Los tres objetivos fueron cumplidos con éxito gracias a la gestión constante de BICA y la apertura de los actores a ser entrevistados. A continuación un cuadro de actividades realizadas en la visita:

Fecha	Actividad
Lunes, 01 de mayo	Conversación con ejecutor del sistema de monitoreo respecto a [Giselle Brady (BICA)]: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Historia del sistema de monitoreo</li> <li>• Trabajo realizado en el sistema de monitoreo</li> <li>• Recopilación de experiencias</li> <li>• Resolución de dudas</li> <li>• Organización de la semana de trabajo</li> </ul>
Martes, 02 de mayo	Entrevistas guiadas con usuarios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polos Water</li> <li>• Coral Reef Alliance</li> <li>• Healthy Reef Initiative</li> <li>• Unidad de Medio Ambiente de la Municipalidad</li> <li>• Instituto Nacional de Conservación y desarrollo forestal, áreas protegidas y vida silvestre (ICF)</li> </ul>
Miércoles, 03 de mayo	Entrevistas guiadas con posibles usuarios y posible usuarios (privado y estatal): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerente del Hotel Paradise</li> <li>• Ministerio de Educación</li> <li>• Ministerio de Salud</li> </ul>
Jueves, 04 de mayo	Entrevistas guiadas con posibles usuarios y posible usuarios (privado, organización social y estatal): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyecto Marino Costero</li> <li>• Presidente de los Patronatos</li> <li>• Lancharo</li> </ul> Salida de campo: visita de diferentes puntos de monitoreo.
Viernes, 05 de mayo	Entrevistas guiadas con posibles usuarios y posible usuarios (estatal, organización social y co administrador): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Patronato de West End</li> <li>• Ministerio de Salud</li> <li>• Roatan Marine Park</li> </ul>
Sábado, 06 de mayo	Regreso a Guatemala

### 11.1.1 Salida a diferentes puntos de monitoreo

La salida a los diferentes puntos de monitoreo tenía dos objetivos:

- a. Visitar los diferentes grupos de puntos de monitoreo para poder dar ver claramente la disposición, localización y situación de los puntos.
- b. Lograr evaluar y dar recomendaciones de la metodología que BICA utilizaba en campo.

El primer objetivo fue completado con éxito, y tuvo un gran impacto en la sistematización. Esto debido a que al visualizar la diferencia entre los puntos someros (RB) y puntos profundos (RM) se pudo entender mejor la lógica de análisis de cada set de puntos (RB & RM).

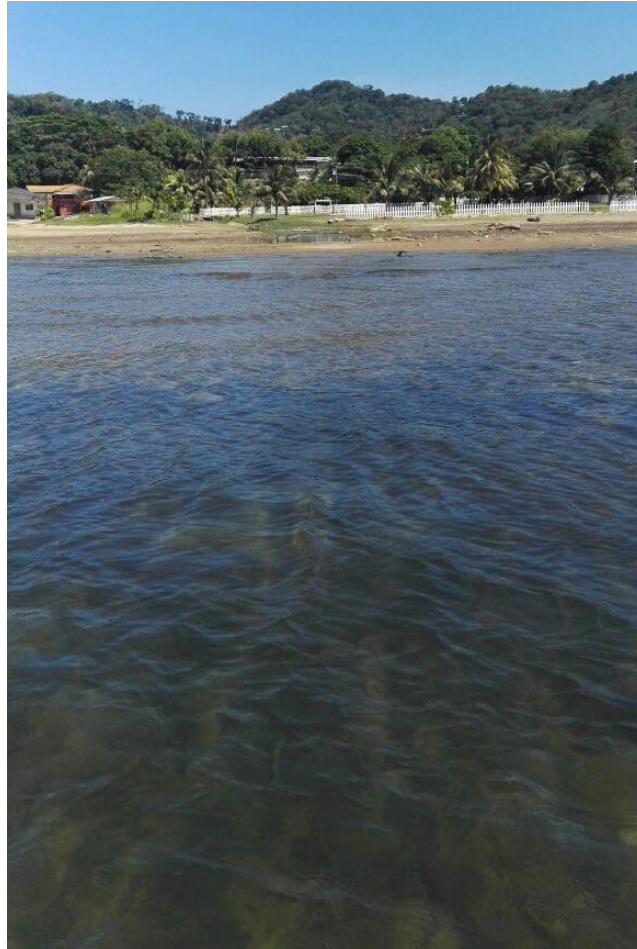
El objetivo 2 no se logró concretar ya que en ese momento BICA ya no se encuentra realizando monitoreos rutinarios, esto debido a que termina el proyecto MAR Fund y todavía no se ha logrado establecer un nuevo financiamiento. Por esta razón no se logró concretar la parte de supervisión recomendación de trabajo de campo y metodologías de toma de muestra, calibración de equipo y toma de datos.

A continuación se presentan fotos representativas de los diferentes sitios:

Sitios someros endone se toma parámetros bacteriológicos (RB). Se puede observar que son puntos muy cercanos a las bahías, en donde los turistas y locales realizan actividades de recreación.



Figura 18. Fotografía que presenta la transparencia en los sitios someros (RB)



*Figura 19. Fotografía que presenta la distancia entre los sitios y la bahía*

Sitios profundos en donde se toma parámetros fisicoquímicos (RM). Se puede observar que son puntos lejanos a las bahías, en donde los turistas y locales ya no realizan actividades de recreación y se encuentran en posiciones con presencia de arrecife de coral en la profundidad.



*Figura 20. Fotografía que presenta la transparencia en los sitios profundos (RM)*



*Figura 21. Fotografía que presenta la distancia entre los sitios y la bahía*



*Figura 22. Fotografía que presenta la distancia entre los sitios y la salida a alta mar.*

Se visitó la bahía de Mangrove Bight, siendo esto una de las bahías en donde se puede apreciar (a simple vista) el impacto que los drenajes sin conexión y sin tratamiento tienen en la calidad del agua marina.



*Figura 23. Fotografía que presenta la calidad de agua en la bahía de Mangrove Bight, altamente influenciada por drenajes humanos sin conexión o tratamiento.*



*Figura 24. Fotografía que presenta la bahía de Mangrove Bight.*

Del otro lado de la bahía, en West End, se puede observar la diferencia de calidad de agua. En donde no solo presenta de nuevo aguas con altas transparencia sino además presenta vegetación acuática de suma importancia para la biodiversidad.



*Figura 25. Fotografía que presenta la comunidad de pasto marino.*



*Figura 26. Fotografía que presenta la Bahía de West End desde distancia*

La isla de Roatán tiene su vertedero a cielo abierto en la orilla de la isla cercano al punto de monitoreo denominado Mud Hole. El vertedero a cielo abierto, ya ha superado su capacidad (de acuerdo a información dada por Lcda. Giselle Barady) y se puede observar que el vertedero llega a la orilla del Mangle.



*Figura 27. Fotografía que presenta el punto Mud Hole, influenciado fuertemente por el vertedero a cielo abierto de la Isla de Roatán.*

#### 11.1.2 Guía de preguntas para diferentes actores

##### **OBJETIVO DEL CUESTIONARIO:**

1. Entender/observar la percepción de la gente con respecto al monitoreo de calidad de aguas
2. Analizar cómo se podría presentar los datos para ser más amigables con el usuarios
3. Identificar el/los objetivos del uso de los datos producidos por el sistema de monitoreo de calidad de aguas
4. Identificar posibles usuarios de los datos o posibles fines de uso

##### **ESQUEMA DE PREGUNTAS GUIADAS:**

- a. Breve introducción del sistema de monitoreo
  - Frecuencia
  - Puntos
  - Parámetros
- b. Breve presentación del objetivo general del monitoreo

- c. Fase de preguntas guiadas. Esta sección no se realizó como encuesta ya que se estimó más enriquecedor tener preparadas preguntas guías para no acotar las respuestas a una entrevista. A continuación se presentan las 5 preguntas guía:
- 1) El actor entrevistado conoce los datos
  - 2) El actor entrevistado conoce los datos piensa que tienen importancia los datos producidos y por producir
  - 3) El actor entrevistado ha usado/requerido los datos
    - a. Para que, como tuvo acceso a los mismos.
  - 4) La percepción del actor entrevistado de la mejor forma para presentar los resultados
  - 5) -Quienes y como podrían otros actores usar estos datos.