

Universidad Nacional  
Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar  
Escuela de Ciencias Ambientales

**Herramienta metodológica para la vigilancia de la calidad  
de agua de mar en playas de uso recreativo de Costa  
Rica**

Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciatura

Presentado por  
Fernando Bermúdez Kuminev  
Amanda Campos Zumbado  
Leonel Lépiz López

Heredia, 2017

Hoja del Tribunal examinador.

Herramienta metodológica para la vigilancia de la calidad de agua de mar en playas de uso recreativo de Costa Rica. Como un requisito para optar el grado de Licenciatura en Gestión Ambiental énfasis en Tecnologías Limpias.

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

---

M.Sc. Tomás Marino Herrera.  
Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

---

Dr. Sergio Molina Murillo  
Representante de la Escuela de Ciencias Ambientales

---

Dr. Jorge Herrera Murillo  
Profesor Tutor

---

Ing. Ana Villalobos Villalobos  
Lectora

---

Ing. Eugenio Androvetto Villalobos  
Lector

---

Fernando Bermúdez K  
Sustentante

---

Amanda Campos Z  
Sustentante

---

Leonel Lépiz L  
Sustentante

Abril, 2017

## Resumen Ejecutivo

Esta investigación tuvo como fundamento principal la creación de una herramienta metodológica, que sirva como base para que instituciones públicas nacionales y locales monitoreen la calidad de agua de mar de las playas recreativas de Costa Rica. El control de estas zonas es de gran importancia para garantizar la salud de los bañistas nacionales e internacionales, y lograr efectos positivos sobre las economías que dependen de estos espacios, como el turismo.

La playa de Jacó ubicada en el Pacífico Central de Costa Rica fue seleccionada como playa modelo para llevar a cabo la investigación, en la cual se analizaron una serie de parámetros microbiológicos (enterococos y *E.coli*), metales (Mn, Cd, Co, Fe, Cr, Ni, Cu, Pb, Sb) y físico-químicos (Temperatura, SST, OD y Conductividad), y la influencia que tienen sobre estas variables la modificación de las condiciones espaciales y temporales de monitoreo, planteándose un diseño para diferentes horas del día, sitios de muestreo, épocas del año y alturas en la columna de agua.

Los muestreos fueron realizados en tres periodos diferentes del año. Primera campaña en el mes de mayo, época seca; segunda campaña en julio, época de transición y tercera campaña en el mes de septiembre, época lluviosa. Se recolectaron las muestras de metales y microbiológicas a diferentes alturas de la columna de agua, a la altura de C a cien cm de la arena (fondo marino), R a cincuenta cm y T a diez cm. Además se plantearon cuatro horas para la realización de los muestreos, siendo cinco, nueve, trece y dieciocho horas del día.

Se desarrolló el análisis de resultados en diferentes etapas, comenzando con métodos estadísticos descriptivos, para posteriormente plantear un análisis inferencial primera a través del estudio de la normalidad de los datos, utilizando la prueba de Shapiro-Willks. Y posteriormente un Análisis de Varianza (ANOVA) a las variables paramétricas.

El desarrollo del estudio presentó limitantes debido a la cantidad de muestras que fueron recolectadas, así como algunos de los métodos utilizados para el tratamiento de los datos.

El estudio refleja que si existe una influencia significativa de la época sobre el grupo Enterococos y los metales hierro, cobre y plomo. La altura en la que se tomaron las muestras también fue una variable que influyó sobre algunas metales, en este caso al disminuir la distancia del suelo los metales manganeso, hierro, cromo, níquel y cobre, tendieron a aumentar al igual que para el grupo de bacterias *E.coli*.

La presencia de desembocaduras cercanas a los sitios de monitoreo reflejaron tener niveles de influencia significativos sobre seis (manganeso, hierro, cromo, níquel, cobre y plomo) de los metales nueve analizados y la bacteria *E.coli*.

La hora del día no presentó diferencias significativas para los metales, los grupos bacteriológicos o los parámetros físico-químicos. Sin embargo se pudo observar una clara tendencia a disminuir las concentraciones de *E.coli* conforme avanzaban las horas del día.

El trabajo hace una recomendación de criterios microbiológicos para su establecimiento a nivel nacional como normativas, y se recomienda profundizar en análisis más complejos sobre la influencia de las cuencas hidrográficas que drenan a las playas recreativas del país.

## **Agradecimientos**

Se agradece al nivel central del Ministerio de Salud, en especial a la Ing. Ana Villalobos V, Ing. Eugenio Androvetto V y a la Bióloga Ana Victoria Giusti Méndez, por haber aportado el seguimiento, compañía y apoyo de todas las giras de campo. El Ministerio Salud aportó además el financiamiento para el desarrollo de los análisis microbiológicos de todas las muestras y la elaboración de la herramienta.

A todo el personal del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional por haber colaborado en la realización de los análisis físico-químicos y de metales pesados, además de toda la colaboración con los materiales para la obtención de muestras y el apoyo en la logística requerida.

Además se agradecer a la comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela De Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional por oportunas mejoras del documento.

## TABLA DE CONTENIDOS

Resumen Ejecutivo.....	iii
Agradecimientos .....	v
1. Introducción .....	1
2. Problema .....	2
3. Justificación.....	3
4. Objetivo General.....	5
4.1 Objetivos específicos.....	5
5. Marco Teórico .....	6
5.1 Playas recreativas.....	6
5.2 Calidad de agua de mar.....	7
5.3 Variables e indicadores ambientales .....	9
5.3.1 Físico-químicas .....	9
5.3.2 Microbiológicas .....	18
5.3.3 Marco Legal.....	21
6. Marco Metodológico.....	34
6.1 Fase I .....	35
6.1.1 Recopilación de información.....	35
6.1.2 Selección del área de estudio .....	35
6.1.3 Definición del modelo de muestreo.....	37
6.1.4 Logística.....	38
6.2 Fase II .....	39
6.2.1 Muestreo.....	39
6.3 Fase III .....	43
6.3.1 Análisis estadísticos.....	43
7. Resultados.....	46
7.1 Estadística descriptiva.....	46
Distribución de frecuencias.....	46
Selección de datos.....	47
Medidas resumen .....	47
7.2 Estadística Inferencial .....	49

7.2.1 Pruebas de normalidad .....	49
7.5.2 ANOVA.....	49
8. Discusión .....	63
8.1 Influencia de la época .....	63
8.2. Influencia de la altura.....	63
8.3 Influencia del punto .....	64
8.4 Influencia de la hora del día .....	64
9. Conclusiones .....	64
10. Recomendaciones .....	65
Bibliografía .....	67
Anexos.....	77

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa conceptual de los elementos teóricos analizados. Heredia 2014.	6
Figura 2. Ciclo del nitrógeno en el océano. Fuente: Castro y Huber, 2007.	10
Figura 3. Ciclo del fósforo en el océano. Fuente: Castro y Huber, 2007.	11
Figura 4. Mapa conceptual de las fases metodológicas. Heredia, 2014.	34
Figura 5. Imagen satelital georreferenciada de playa “Jacó”, con la ubicación de los sitios de muestreo, así como la división longitudinal entre los puntos. Heredia 2014.	36
Figura 6. Mapa de ubicación de puntos de muestreo, desfuegos y desembocaduras. Agosto 2016.	36
Figura 7. Puntos de muestreo a través de la columna de agua(C, R, T). Heredia, 2015.	38
Figura 8. Medición <i>In situ</i> de la temperatura y el oxígeno disuelto. Playa Jacó, 2014	39
Figura 9. Procedimiento de toma de metales, Playa Jacó, 2014	40
Figura 10. Etiquetado de los envases para la toma de muestras. 2014	43
Figura 11. Concentraciones promedio de manganeso (Mn) para las diferentes alturas, durante las campañas de 2014. La línea punteada es el límite máximo establecido por la normativa de Nueva Zelanda y Australia (100 µg/l). Febrero, 2017.	50
Figura 12. Concentraciones promedio de cadmio (Cd) en diferentes puntos de playa Jacó, durante las campañas de 2014. Las líneas punteadas son los límites máximos establecidos por la normativa Chilena (33 µg/l) y Canadiense (5 µg/l). Febrero, 2017.	51
Figura 13. Concentraciones promedio de hierro (Fe) en los diferentes puntos de playa Jacó, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.	52
Figura 14. Concentraciones promedio de cromo (Cr) en las diferentes alturas, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.	53
Figura 15. Concentraciones promedio de níquel (Ni) en las diferentes alturas, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.	54
Figura 16. Concentraciones promedio de cobre (Cu) en los diferentes puntos de playa Jacó, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.	55
Figura 17. Concentraciones promedio de plomo (Pb) reportadas en los diferentes puntos de playa Jacó, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.	56
Figura 18. Concentraciones promedio de plomo (Pb) reportadas a diferentes horas del día, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.	56
Figura 19. Concentraciones promedio de <i>E. coli</i> en los diferentes sitios de playa Jacó, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.	57
Figura 20. Concentraciones promedio de <i>E. coli</i> a las diferentes horas del día, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.	58
Figura 21. Concentraciones promedio de Enterococos NMP/100ml en las 3 diferentes campañas, con línea de corte en 35 NMP/100 ml según límite máximo establecido en la legislación canadiense. 2016.	59
Figura 22. Diagrama Box-plot del Comportamiento del grupo Enterococos en las tres campañas de 2014, construido con el 100% de los datos obtenidos. Febrero, 2017.	60
Figura 23. Diagrama Box-plot del comportamiento del grupo Enterococos en las tres campañas de 2014, construido con el 75% de los datos. Febrero, 2017.	60



## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de los indicadores biológicos. Fuente: De la Lanza et al. 2011.....	7
Cuadro 2. Criterios de calidad microbiológicas para aguas de mar (natación). Fuente: Mora, s.f.....	8
Cuadro 3. Variación de las concentraciones de OD según la temperatura. Fuente: Seoánz, 2000.....	13
Cuadro 4. Concentraciones máximas para metales permitidas por diferentes legislaciones a nivel internacional. Julio, 2015.....	14
Cuadro 5. Límites de bacterias máximos permisibles o sugeridos* para determinar aguas marinas aptas para la recreación. Julio, 2015.....	20
Cuadro 6. Competencias institucionales en el ámbito de aguas costeras recreativas en Costa Rica. Fuentes: Salazar, 2004 y Ley 2726.....	21
Cuadro 7. Parámetros iniciales y su asignación de puntaje según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores. Fuente: Decreto N°33903 MINAE-S.....	25
Cuadro 8. Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores. Fuente: Decreto N°33903 MINAE-S.....	25
Cuadro 9. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales para las clases establecidas en el Reglamento 33903. Fuente: Decreto N°33903.....	27
Cuadro 10. Clasificación de los Cuerpos de Agua según uso potencial y tratamiento que requiera. Fuente: Decreto N°33903.....	28
Cuadro 11. Valores límites para clasificación de playas.....	30
Cuadro 12. Concentraciones máximas establecidas por la normativa de la Unión Europea. Fuente: Directiva 2006/7/Ce, 2006.....	31
Cuadro 13. Valores de referencia microbiológicos utilizados para la clasificación de las aguas marinas en Colombia. Fuente: INVEMAR, 2011.....	33
Cuadro 14. Cantidad de muestras establecidas según los parámetros seleccionados. Heredia, 2014.....	38
Cuadro 15. Código de etiquetaje para la muestras de los parámetros. Heredia, 2014.....	41
Cuadro 16. Medidas de tendencia central analizadas.....	44
Cuadro 17. Rango de valores con datos extremos excluidos para cada variable en estudio. Heredia, 2016.....	46
Cuadro 18. Medidas de tendencia central y dispersión para el primer muestreo. Heredia, 2016.....	47
Cuadro 19. Medidas de tendencia central para el segundo muestreo. Heredia, 2016.....	48
Cuadro 20. Medidas de tendencia central para el tercer muestreo. Heredia, 2016.....	48

Cuadro 21. Análisis de Varianza para las Variables independientes de los indicadores microbiológicos según cada variable dependiente. Febrero, 2016. ....	58
Cuadro 22. Datos resumen de temperaturas según las tres campañas de monitoreo. Septiembre, 2016. ....	61
Cuadro 23. Datos resumen de concentraciones de oxígeno disuelto según las tres campañas de monitoreo. Septiembre, 2016.....	62
Cuadro 24. Datos resumen de concentraciones de conductividad según las tres campañas de monitoreo. Septiembre, 2016. ....	62

## **1. Introducción**

En Costa Rica existen diferentes instrumentos para la regulación de la contaminación ambiental, sin embargo la falta de recursos y capacidad de los entes reguladores para ejercer un programa de monitoreo y control estricto sobre los sistemas de depuración de aguas residuales tanto ordinarias como especiales, así como la inexistencia de sistemas de alcantarillado sanitario, ha comprometido gradualmente la calidad de los cuerpos de agua superficial. Como consecuencia se ha provocado una alta presión sobre los ríos, lagunas y mares (CGR, 2013; Escobar, 2007; González, 2013; Herrera et al. 2013).

Las zonas marino-costeras, incluidas las playas de uso recreacional, reciben, por la dinámica de flujo de las cuencas hidrográficas, la contaminación generada en las partes altas, afectando el ambiente y las diferentes actividades que se desarrollan en estos espacios costeros (Escobar, 2007; WRI, 2000). Por ejemplo una de las actividades de mayor importancia que se desarrolla en las zonas costeras a nivel mundial es el turismo (Rangel-Buitargo et al. 2012), en este sentido los problemas de contaminación en las zonas costeras traen como consecuencia diferentes peligros para las personas que son usuarias de estos espacios (OMS, 2003).

En este contexto, Costa Rica no cuenta con una legislación relacionada con la calidad de las aguas de mar para ninguno de sus posibles usos, es por esto que el presente trabajo se plantea como meta la generación de un instrumento regulatorio en esta materia, dando continuidad al proyecto “Propuesta metodológica para el monitoreo de la calidad de agua de mar en zonas costeras recreativas de Costa Rica” (Bermúdez et al. 2013), desarrollado en forma conjunta por la Universidad Nacional y el Ministerio de Salud.

El presente estudio pretende construir una herramienta para realizar la vigilancia sobre la calidad del agua de mar en playas de uso recreativo en Costa Rica, tomando en cuenta variables físico-químicas y microbiológicas, así como el análisis temporal y espacial de los diferentes indicadores de calidad del agua de mar seleccionados, con el fin de brindar un insumo técnico para oficializar la metodología de muestreo para calidad de agua de mar en playas de uso recreativo por parte del Ministerio de Salud.

## **2. Problema**

Costa Rica posee dos costas, la Pacífica que posee una extensión de 1254 km y la Caribeña, de 212 km (Morales, 2013). En ambas existe una amplia variedad de ambientes, generando una diversidad de escenarios en el manejo de las zonas marino-costeras.

En esta sección del territorio, de casi 1500 km, se desarrollan diferentes actividades humanas como la agricultura, el turismo, la ganadería, la pesca; todas estas generan diversos vertidos de contaminantes, los cuales son depositados a cuerpos receptores de diferente índole, entre los cuales se pueden encontrar manglares, ríos y mares. Existe la necesidad de contar con instrumentos jurídicos que logren establecer controles sobre las actividades que generan emisiones líquidas a los cuerpos de agua. Como respuesta a esta necesidad actualmente existen en Costa Rica tres instrumentos: el Reglamento para el Reuso y Vertido de Aguas Residuales (33 601-MINAE-S), el Canon Ambiental (34 431-MINAE-S) y el Reglamento para la clasificación de Cuerpos de Agua Superficial (33 903-MINAE-S).

Sin embargo, estas tres normativas tienen varias deficiencias técnicas y solamente el Canon Ambiental contempla los mares como un cuerpo receptor. En consecuencia, se genera para las instituciones competentes en el tema de protección del ambiente y de salud, una dificultad para el accionar sobre el recurso marino-costero, sus usos y la salud humana.

La falta de controles y monitoreo sobre la calidad de los ambientes costeros donde existe un desarrollo productivo importante, como el turismo, puede traer consecuencias negativas sobre la salud de las personas, debido al elevado riesgo al que se encuentra expuesta la población que confluye en estos sectores. Existen diferentes peligros a los cuales las personas están expuestas, producto de un mal ordenamiento territorial, un ejemplo claro que se presenta en las zonas costeras es la contaminación por el aporte de aguas residuales ordinarias sin tratamiento a ríos o quebradas, que luego van al mar, dónde la gente practica actividades de contacto directo o consume productos del mar como bivalvos.

La Constitución Política establece en su numeral 50 que “toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado (...)”, además que “(...) El Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho. La ley determinará las responsabilidades y sanciones correspondientes”. En este sentido es necesario establecer en Costa Rica un instrumento técnico que logre determinar los mecanismos para el control y la vigilancia de las playas recreativas, para así poder garantizar un ambiente sano a las personas que utilizan estos espacios.

### **3. Justificación**

Costa Rica está conformado en más de un 90% por área marina y únicamente un 8% es territorio continental (Morales, 2013). En lo que respecta a la zona costera, esta concentra gran parte del patrimonio natural, turístico y productivo del país, sin embargo existe una condición especial definida en la Ley de la Zona Marítimo Terrestre (N°6043) promulgada en el año 1977. El objetivo de esta legislación fue ordenar y planificar este espacio desde el Estado a través del Instituto Costarricense de Turismo, así como proteger los recursos naturales y promover el desarrollo sostenible de estas zonas (Programa Estado de la Nación, 2013).

La zona-marítimo terrestre (ZMT) es definida por ley como una franja costera de 200 m, que comienza en la pleamar ordinaria y se divide en dos secciones: los primeros 50 m que son públicos, mientras que los restantes 150 m son de uso restringido (Ley n°6043). El desarrollo que se ha planteado en la ZMT es principalmente turístico, el cual en una cantidad importante de casos no cumple con la normativa de retiros establecida por ley, con permisos del ICT, o poseen concesiones con diversos incumplimientos a los Planes Reguladores vigentes (Programa Estado de la Nación 2012).

Como consecuencia de lo antes mencionado, en muchos de estos casos se presenta la inexistencia de la aplicación de herramientas de control establecidas en instrumentos regulatorios como el Canon Ambiental, el Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas Residuales o el Reglamento para la Clasificación de Cuerpos de Agua Superficial. Esta condición de incumplimiento genera que las zonas costeras presenten un riesgo cada vez mayor para las personas que desarrollen actividades recreativas y turísticas.

En el año 2013, la Contraloría General de la República (CGR) presentó el “Informe acerca de la eficacia del Estado para garantizar la calidad del agua en sus diferentes usos” (DFOE-AE-IF-01-2013), donde se evidencia la existencia de 5 playas (Balneario Municipal de Limón, Portete, Guacalillo, Quepos y Golfito Centro) no aptas para recreación, además de otras 27 con riesgo sanitario. Además dicho informe señala que la contaminación sobre las playas ha tenido efectos negativos sobre la salud humana como brotes de diarrea y otras enfermedades gastrointestinales.

Además, la contaminación del medio marino-costero por afluentes como ríos o vertederos, puede generar condiciones para el desarrollo de microorganismos nocivos tanto para humanos como para animales, tal es el caso de los dinoflagelados, los cuales ya han sido reportados en diferentes momentos en las costas del país (Morales-Rojas et al. 2001).

La declaración de las playas como no aptas por parte de la CGR, se basó en un estudio que realizó el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), en donde se evaluaron los niveles de

coliformes fecales como indicador de calidad. El estudio realizado por LNA monitoreó durante 17 años (1996-2011) la calidad sanitaria de 100 playas, bajo el Programa de Bandera Azul Ecológica (Mora et al. 2012).

Así mismo, en Costa Rica se han realizado estudios de calidad de agua enfocados a la contaminación por arrastre de materiales vertidos a los ríos y que llegan a desembocar en el mar, principalmente evaluando metales pesados, como parámetros indicadores de contaminación provenientes de actividades antropogénicas (Lizano et al. 2012).

Por otro lado, se han realizado estudios de contaminación por hidrocarburos, los cuales se pueden originar por fuentes externas como descargas accidentales o intencionales ocurrientes en rutas de navegación y en el sistema de corrientes oceánicas, así como internas el uso de transportes y descarga de estas sustancias ya sea en el sector costero o más adentro del territorio nacional (Acuña et al 2004, Sponberg 2004). Sin embargo, estos estudios no se han enfocado en determinar el comportamiento y la dinámica de estos contaminantes en playas recreativas, sino que se han realizado mar adentro y en los golfos del país.

En este contexto durante el 2013 se realizó un estudio denominado *“Propuesta metodológica para el monitoreo de calidad de agua de mar en zonas costeras recreativas de Costa Rica”*, elaborada por estudiantes de la Universidad Nacional con ayuda del Ministerio de Salud y el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional; en este se muestrearon 18 playas del país (14 playas en la costa pacífica y 4 en el caribe) durante la época lluviosa, se analizó la presencia de diversos contaminantes como metales pesados (Fe, Cr, Mn, Pb, Co, Cd, Cu), varios grupos de microorganismos no buscados con anterioridad como Enterococos y *E.coli*, nitrógeno y fosforo total, así como la temperatura, pH y características físicas de la playa (Bermúdez et al. 2013).

La presente investigación busca mediante un estudio científico poder darle continuidad al desarrollo de una herramienta metodológica que permita evaluar de manera sistemática y eficaz la calidad del agua de mar en playas recreativas de Costa Rica.

## **4. Objetivo General**

- Diseñar una herramienta metodológica para la vigilancia de la calidad del agua de mar en playas recreativas de Costa Rica, que sirva como insumo para el establecimiento de una normativa a nivel nacional para la calidad del agua en playas.

### **4.1 Objetivos específicos**

- Identificar y medir las variables químicas, físicas y microbiológicas que influyen en la calidad del agua de mar en una playa modelo del Pacífico Central, para la determinación de su comportamiento.
- Determinar los factores físicos que pueden ser catalogados como variables de influencia en la determinación de parámetros de calidad de agua de mar.

## 5. Marco Teórico

El marco teórico que apoya la ejecución del presente trabajo de investigación se estructura siguiendo el orden lógico establecido en la figura 1.

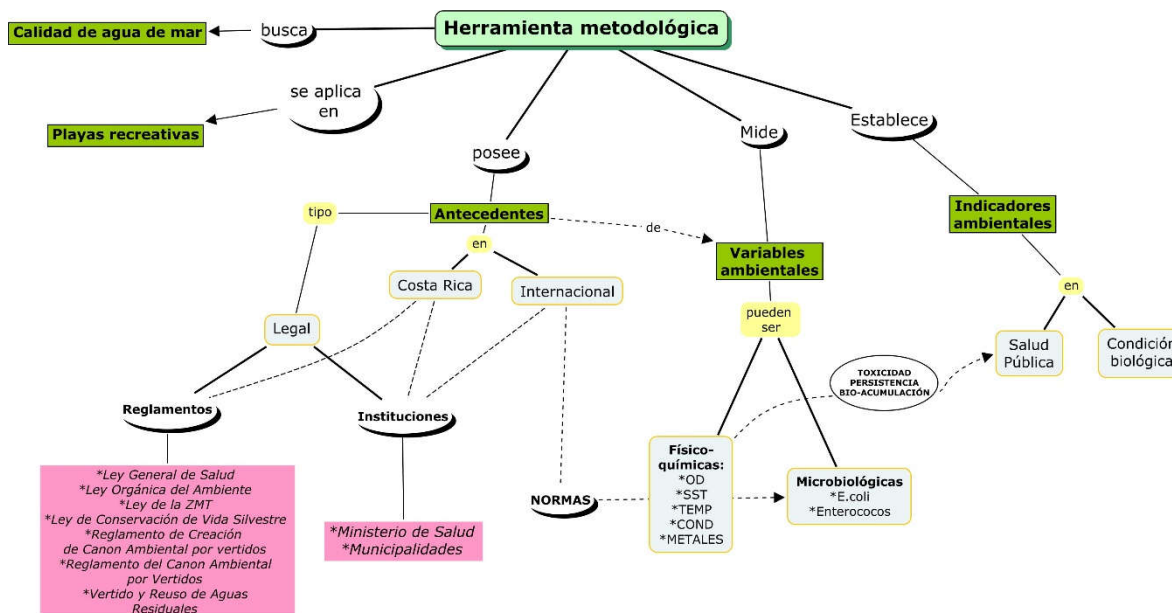


Figura 1. Mapa conceptual de los elementos teóricos analizados. Heredia 2014.

### 5.1 Playas recreativas

Una de las primeras legislaciones que se desarrollaron en el mundo en materia ambiental fue la Bathing Water Directive 76/160/EEC (Directiva de Agua de Baño), la cual fue acogida en 1976, por parte de la Comunidad Económica Europea. Posteriormente a inicios del siglo XXI se comenzó un debate para la modificación de esta legislación, culminando en el año 2006 con la Directiva 2006/7/EC (Mansilha et al. 2009).

La OMS en 1994 planteó la iniciativa de la elaboración de guías para ambientes de aguas recreativas. El interés por la vigilancia de estas áreas es principalmente por los efectos sobre la salud originados por la natación en aguas contaminadas e ingesta de la misma (OMS 2003); ya que múltiples estudios epidemiológicos y evaluaciones de riesgo han brindado una base científicamente sólida de la relación entre síntomas gastrointestinales y enfermedades respiratorias con los estreptococos/enterococos como organismos indicadores de contaminación fecal.

Costa Rica tiene una gran atracción turística (González 2013), con playas que frecuentemente son visitadas para usos recreativos como paseo, buceo, natación y prácticas de deportes acuáticos (Mora 2009). Un estudio realizado por Williams citado por Rangel-Buitrago et al. (2012) refleja que el interés en materia de vigilancia se enfoca



principalmente en cinco elementos: seguridad, facilidades, calidad de agua, camas y el paisaje. Es por esto que las instituciones públicas vinculadas al tema, deben comenzar a establecer controles para el monitoreo de las áreas costeras, con el objetivo de garantizar un ambiente sano a los bañistas y visitantes, así como la continuidad de una actividad económica de peso.

La OMS (2003) propone medidas no vinculantes de seguridad que se deben tomar en ambientes de aguas recreativas y costeras, las cuales no son de carácter obligatorio. Esta organización basa sus criterios en diversos estudios epidemiológicos y evaluaciones de riesgo de contraer enfermedades según su nivel de exposición; ya sea directa o indirecta. La directa se refiere a las enfermedades transmitidas por la ingesta y contacto al nadar en aguas marinas contaminadas, mientras que la indirecta incluye las enfermedades adquiridas al consumir alimentos o mariscos contaminados con organismos patógenos o sustancias tóxicas (Mora 2007).

## 5.2 Calidad de agua de mar

La calidad del agua del mar se determina de diversas formas, utilizando indicadores cuantitativos como la estimación de variables físico-químicas en medio acuático, o también cualitativas como olor, color, entre otros (Silva, 2011). Los indicadores cuantificables son valores o estadísticas que permiten analizar las tendencias o cambios en el medio ambiente, como lo es el pH, la temperatura, la conductividad, oxígeno disuelto entre otros. Mientras que los indicadores cualitativos analizan principalmente las características organolépticas como el color, el olor y todas aquellas descripciones físicas que se presentan y que podrían influir en la calidad del agua.

Existen indicadores biológicos que pueden ser semi-cuantitativos, ya que establecen criterios cuantificables basados en las características de un organismo. Los indicadores biológicos se eligen por su grado de sensibilidad a diferentes tipos de contaminantes o los efectos que estos generen (de la Lanza et al. 2011). Estos poseen diversas limitantes y al mismo tiempo una serie de ventajas (ver cuadro 1).

**Cuadro 1.** Ventajas y desventajas de los indicadores biológicos. Fuente: De la Lanza et al. 2011.

Desventajas	Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>No poseen expresión numérica precisa</b></li> <li>• <b>El muestreo consume más tiempo</b></li> <li>• <b>Grado al cual pueden ser detectados impactos leves en el medio ambiente</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los datos son fácilmente accesibles</li> <li>• La información puede expresarse numéricamente</li> <li>• La colección y evaluación de información biológica puede realizarse por grupos industriales u otros ajenos a la biología</li> </ul>

Diferentes países han establecido guías para la determinación de la calidad del agua, que proponen una serie de criterios e indicadores. Un ejemplo de ellos es Colombia a través del INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas Costeras), han establecido el ICAMRAP (Indicador de la calidad ambiental de las aguas marinas y costeras para la recreación, actividades náuticas y playas), donde se utilizan variables cuantitativas y cualitativas para determinar la calidad del agua de mar (Quintero et al. 2010).

En Costa Rica un estudio proporcionado por Mora (s.f) establece una serie de criterios de calidad microbiológica para aguas de mar (ver cuadro 2), basado en las evidencias científicas según la relación entre un indicador de calidad de agua y los riesgos potenciales a la salud de las personas (exposición-efecto) (Salas, 2000).

**Cuadro 2.** Criterios de calidad microbiológicas para aguas de mar (natación). Fuente: Mora, s.f.

<b>Indicador</b>	<b>Promedio Geométrico NMP</b>
<b>Coliformes termoresistentes</b>	≤240
<b>Estreptococos</b>	≤35
<b><u>Candida albicans</u></b>	≤30
<b>NOTAS</b> -NMP: valor promedio permisible con la técnica del NMP/100 ml - <u>Candida albicans</u> : Indicador para evaluar el riesgo de contraer enfermedades de contacto. Se utiliza la técnica de Filtración de Membrana - Mínimo 12 análisis en un periódico de un año y 5 análisis por mes para estudios intensivos o sinópticos - <u>Estreptococos fecales</u> es un indicador complementario	

Además de los indicadores físicos (cualitativos), químicos y microbiológicos (cuantitativos) existen otras sustancias importantes a tomar en cuenta en el monitoreo de calidad de agua de mar como son los nutrientes, estos causan enriquecimiento con la consecuente aparición de grandes crecimientos de algas generando el consiguiente agotamiento de oxígeno. Estas sustancias llegan al mar por el arrastres de las agua residuales, producto de las actividades agrícolas e industriales (Quintero et al. 2010).

Igual que los nutrientes, los metales pesados generan alteraciones en la calidad del agua y son necesarios para el desarrollo de muchos organismos, pero en altas concentraciones son tóxicos, persistentes y bioacumulables afectando la cadena alimenticia de los animales y el ser humano. Los metales y el uso excesivo e innecesario de plaguicidas organoclorados y fosforados son considerados los compuestos más perjudiciales para el medio ambiente (Quintero et al. 2010).

Los Hidrocarburos se unen a esta gran cantidad de sustancias que pueden determinar la calidad del agua mar de una zona. Son producto de las actividades portuarias, vertidos y derrames de áreas con tráfico marino, causando daños a la playa, vida acuática y consecuentemente a toda la cadena alimenticia (Quintero et al. 2010).

### **5.3 Variables e indicadores ambientales**

Dentro del estudio de los ambientes costeros existen diferentes fenómenos que pueden ser analizados, en este sentido las variables son características a las que se les pueden asignar valores que cambian en el espacio y el tiempo.

Con respecto a lo antes mencionado el estudio de las variables se hace a través de la recolección de datos. A partir del procesamiento de estos mediante estadísticas se construyen indicadores, los cuales son útiles para el seguimiento y monitoreo de la condición de un sistema definido. En el caso de la presente investigación, se vuelve relevante la confección de indicadores ambientales para poder describir y mostrar el estado de la calidad del agua de mar en playas recreativas.

#### **5.3.1 Físico-químicas**

Los parámetros Físico-Químicos son variables que pueden influir en la calidad de agua en cada sitio de muestreo. Existen valores de referencia establecidos por distintas normas a nivel mundial, como por ejemplo la Guía Canadiense para calidad de aguas recreativas (Health Minister 2012), la cual establece distintos parámetros para mediciones como pH y temperatura.

##### ***5.3.1.1 Fósforo total y nitrógeno total***

En la naturaleza existen una amplia variedad de nutrientes, la mayoría de estos en su forma elemental tanto macro como micronutrientes dentro de los que pueden estar: Nitrógeno, Fósforo, Carbono, Sulfuro, Calcio, Potasio, Hierro, Manganeso, Boro y Cobalto todos importantes para el desarrollo de la vida en sus distintas formas (Seoáñez 2000).

El nitrógeno se encuentra de forma natural a nivel atmosférico como  $N_2$  (gas), en esta forma es prácticamente inutilizable por muchos de los organismos, sin embargo este llega a los océanos mediante la fijación que realizan algunas cianobacterias, arqueas y otras bacterias (ver figura 2). Además este compuesto tan vital para la reproducción de la vida de plantas y algas, entra al océano mediante los ríos (Castro y Huber 2007). El nitrógeno es necesario para el crecimiento de las plantas por eso es tan utilizado en la agricultura en sus formas de nitratos y amonio (Flores et al S.F.). También se encuentran compuestos de nitrógeno ( $NO_x$ ) producto de la combustión de vehículos, máquinas e industrias, que utilizan combustibles fósiles (Castro & Huber 2007). En este sentido *“la escorrentía de las tierras agrícolas, las actividades de engorda de animales, áreas urbanas, el vertido de*

aguas residuales, la precipitación atmosférica de compuestos liberados durante la ignición de combustibles fósiles, son actividades que añaden nutrientes al agua dulce antes de alcanzar el medio marino” Valiela et al. 1992, citado por Aranda 2004.

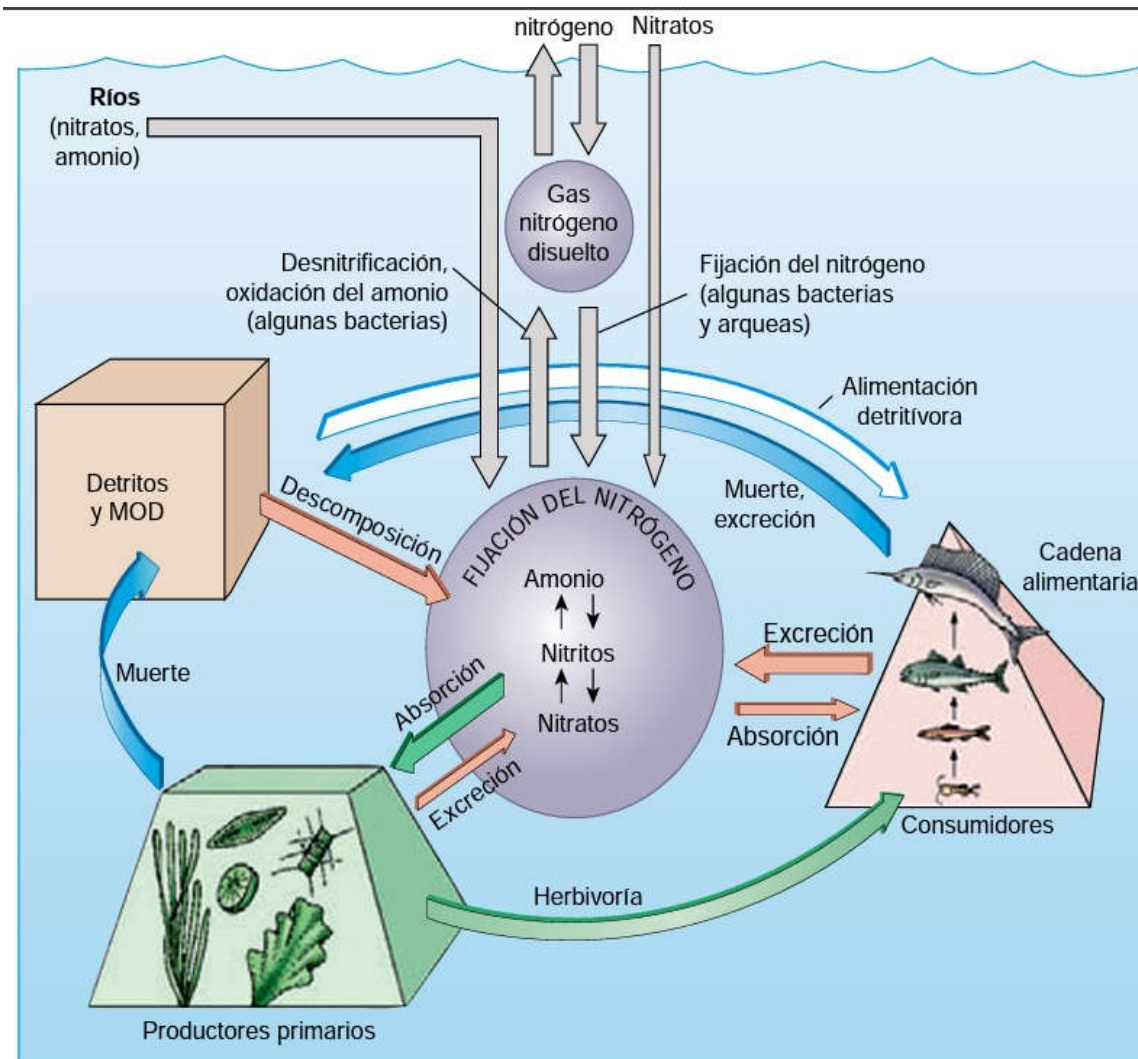


Figura 2. Ciclo del nitrógeno en el océano. Fuente: Castro y Huber, 2007.

Del mismo modo el fósforo llega al océano mediante los ríos, principalmente en forma de fosfato ( $PO_4^{-3}$ ), y una fracción pequeña se deposita desde la atmósfera (ver figura 2). Una vez que el fosfato es capturado por los productores primarios en los océanos y lo incorporan a la materia orgánica, el fósforo circula en forma inorgánica a través de la red alimentaria (Castro y Huber, 2007).

A diferencia del nitrógeno, el fósforo no sufre tantos cambios en su estructura química y se presenta en mayor cantidad como fosfatos principalmente ortofosfatos, en menor proporción se encuentran productos de la oxidación microbiana como fosfina  $PH_3$ , fosfuro

de hidrógeno  $P_4H_2$ , fosfito  $PO_3^{-3}$  y otros menos representativos, además en su forma orgánica como ATP, ácidos nucleicos y fosfolípidos. En el suelo se haya combinado en compuestos con otros elementos como el calcio y hierro, entre ellos se forma fosfato de hierro que reacciona con el sulfuro y se forma sulfuro ferroso de manera que el fosfato queda libre en la columna de agua (Flores et al. 2007).

Se estima que del total de fósforo que es vertido a cuerpos receptores, el 85% proviene de aguas residuales urbanas tanto ordinarias como especiales y el 15% restante es aportado por la agricultura (Ronzano y Dapena S.F.).

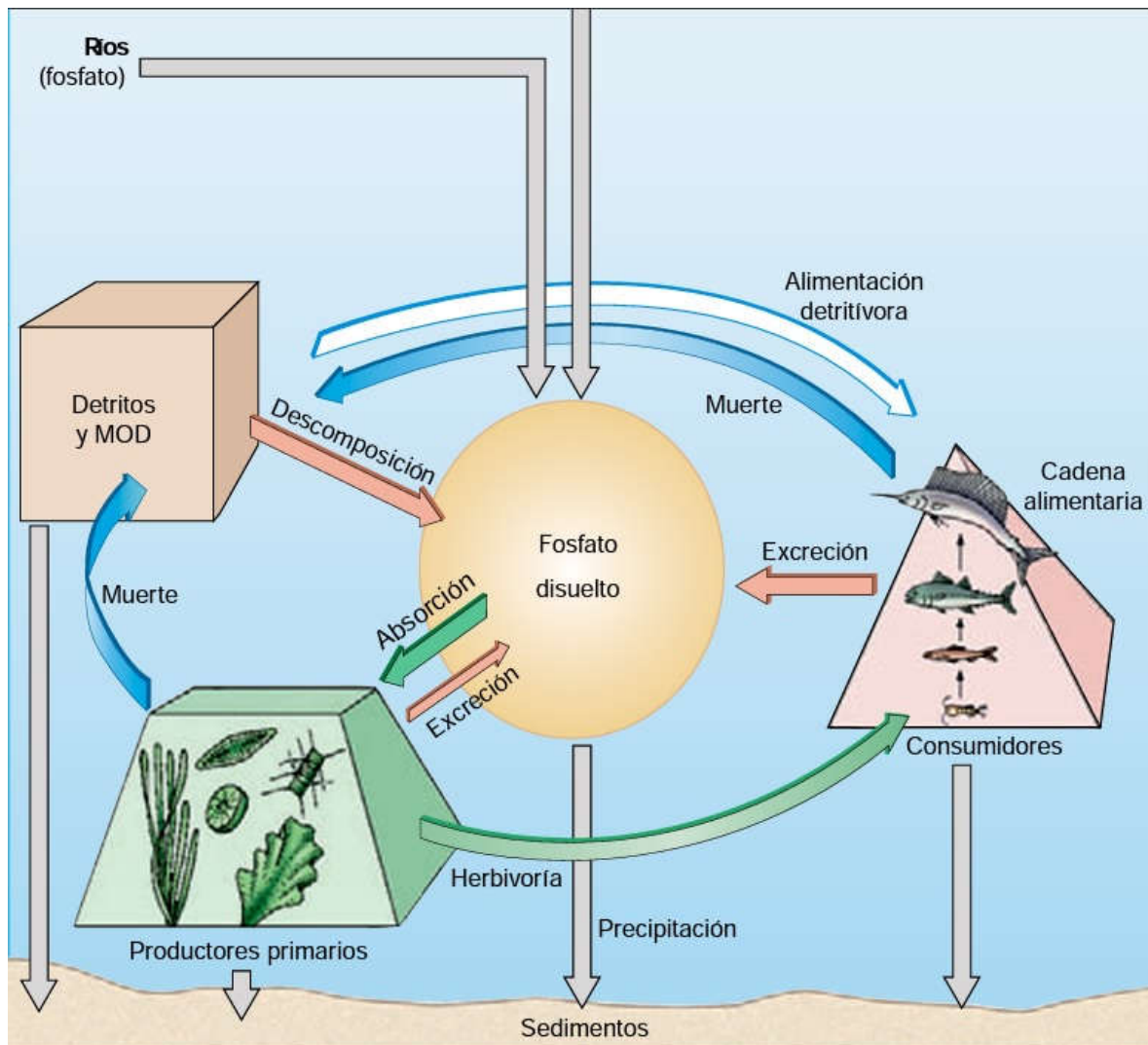


Figura 3. Ciclo del fósforo en el océano. Fuente: Castro y Huber, 2007.

Ahora bien desde el punto de vista de la contaminación de cuerpos de agua como el mar, el nitrógeno y fósforo son de los más importantes, ya que en altas concentraciones estos

enriquecen las aguas y aceleran el crecimiento de algas (Seoánez 2000). Esta proliferación excesiva es conocida como eutrofización. Este proceso puede ser un gran problema para la zonas costeras, ya que perturba hábitats como praderas de hierbas marinas o arrecifes, o por otro lado afecta la salud humana debido a que se da una ocurrencia de fitoplancton que puede ser tóxico ya que este es asumido por diversos bivalvos o peces, que posteriormente podrían ser consumidos crudos o mal cocinados (Castro y Huber, 2007).

Con base en lo antes mencionado, una mayor intensidad y duración de la radiación solar, favorecen el proceso de eutrofización (Aranda 2004), este además presenta un riesgo para la salud y el ecosistema acuático, ya que se forman una serie de compuestos por reacciones que se dan en cuerpos de agua como es el caso del amoniaco que puede tornarse tóxico para la fauna acuática (Cotoruelo y Marqués S.F.).

Estudios realizados en Costa Rica en diferentes períodos lluviosos no localizaron concentraciones de fósforo, sin embargo es importante analizar este contaminante en diferentes épocas ya que otros autores señalan que en época lluviosa el comportamiento del fósforo es distinto que en época seca (Bermúdez et al. 2013; Silva y Acuña-González 2006).

#### **5.3.1.2 Temperatura**

La temperatura es una característica física del agua, importante de medir, ya que a partir de esta se pueden ver influenciados otros procesos físicos, químicos y biológicos mediante reacciones. Aparte puede determinar la concentración de oxígeno y dióxido de carbono del agua de mar, además contribuye a la distribución de las especies marinas (Alvarado y Aguilar 2009).

#### **5.3.1.3 Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto no tiene una consecuencia directa en los bañistas, sin embargo puede generar efectos adversos a otros usuarios ya que es un gas necesario para la supervivencia de las especies acuáticas, especialmente aquellas provistas de branquias (Seoánez 2000). El oxígeno es fundamental en la dinámica y características de los ecosistemas acuáticos, la disminución de la concentración de OD puede ser un indicador de alta presencia de microorganismos (Alvarado y Aguilar 2009), debido a que los peces necesitan concentraciones alrededor de 5 mg/l, mientras que los invertebrados niveles menores y las bacterias condiciones muy reducidas (Seoánez 2000).

En la superficie del océano se da el intercambio gaseoso, esto quiere decir que gases como el nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y el oxígeno ( $O_2$ ), se disuelven en el océano y viceversa (Castro y Huber 2007). Una característica importante de este proceso es que a menor temperatura existe una mejor solubilidad (ver cuadro 3),

por ende, en las zonas geográficas más frías como las polares, se encuentran mayores concentraciones de diversos gases disueltos (Castro y Huber 2007). Otros factores que aportan a la difusión del OD en el agua son la turbulencia (presencia de olas), y la acción fotosintética (Seoánz 2000). Así mismo, a mayor profundidad mayor presión y menores concentraciones de gases (Folleto informativo 3.1.1.0, Canadá), encontrando concentraciones de 8 a 9 mg/l en la superficie del océano y valores mínimos de 1 a 2 mg/l a profundidades de 400 m (Seoánz 2000).

**Cuadro 3.** Variación de las concentraciones de OD según la temperatura. Fuente: Seoánz, 2000.

Temperatura (°C)	Concentración (mg/l)
15	10
20	7
22	5
30	1

El oxígeno posee la característica de ser un gas con poca solubilidad, este es treinta y un veces menos soluble en agua que el dióxido de carbono (Castro y Huber 2007; Seoánz 2000).

De la misma manera este indicador puede influir en el estado de oxidación de los metales (como el hierro) y evita la formación de sulfito de hidrógeno, esto no causa daños a la salud pero sí puede afectar la estética de la playa o el agua (Silva 2009).

#### **4.3.1.4 Metales**

Las actividades humanas permiten que entren al ambiente diversas sustancias que son generadas constantemente, entre estas se pueden encontrar sustancias sintéticas, o sea que no son concebidas naturalmente. La cantidad de estas sustancias al entrar al ambiente se vuelven peligrosas, en tanto estas superen la capacidad del ambiente para transformarlas, o sea que se exceda en espacio y tiempo la capacidad de asimilación de la naturaleza, por ende se genera contaminación ambiental (Fatoki y Mathabatha, 2001).

Dentro de las sustancias inorgánicas que se pueden encontrar en el ambiente marino como producto de la contaminación están los metales pesados, que son los contaminantes ambientales de mayor importancia por su versatilidad de uso en diferentes aplicaciones, como por ejemplo minería, fundidoras, metalurgia, producción de pigmentos y para usos domésticos, además son importantes para ciertos organismos, como por ejemplo el zinc, cobre, hierro y manganeso a dosis bajas (concentraciones trazas) son micronutrientes esenciales (oligoelementos) para muchos organismos vivos, que por su

naturaleza se movilizan y circulan en la biosfera, la litosfera y la hidrosfera a través de los ciclos biogeoquímicos (Jaramillo et al. 2008).

Una de las características de algunos metales es su difícil solubilidad en el agua, estudios anteriores elaborados por Lizano (et al. 2012) indican la importancia de analizar estos contaminantes no tanto en la columna de agua, sino más bien en los sedimentos depositados, sin embargo esto se recomienda para estudios en sitios donde existen profundidades mayores, en mar abierto o en sitios internos de un golfo y demás.

Anteriormente, en estudios de calidad de agua de mar no se reconoció la remoción de metales del fondo como factor influyente (Lizano et al. 2012), por lo tanto es un criterio relevante a ser tomado en cuenta dentro de esta investigación.

En diversos países se han establecido diferentes criterios para la calidad de agua, estos son valores numéricos que deben poseer un cuerpo de agua a la hora de ser monitoreado para mantener los usos (EPA, 2015), por ejemplo el uso recreativo de contacto directo que posee el agua de mar en zonas recreativas del país. Existen dos formas generales de exponerse a la contaminación en el agua de mar: por ingesta o por contacto, en este sentido se vuelve relevante prestar atención a las concentraciones que pueden irritar la piel por contacto, más que por la ingesta, ya que las personas normalmente no van a ingerir más de 100 ml de agua de mar durante su baño (ANZECC & ARMACANZ, 2000).

El presente estudio amplió la cantidad de metales presentados en diferentes legislaciones ambientales (ver cuadro 4), para poder observar el comportamiento de otros elementos en los ambientes costeros costarricenses, e identificar características.

**Cuadro 4.** Concentraciones máximas para metales permitidas por diferentes legislaciones a nivel internacional. Julio, 2015.

<b>Metal</b>	<b>Unidad</b>	<b>Concentración</b>	<b>País</b>
<b>Cd</b>	mg/l	0,033	Chile*
	ug/l	5	Nueva Zelanda/Australia
<b>Cr</b>	mg/l	0,55	Chile
	ug/l	50	Nueva Zelanda/Australia
<b>Pb</b>	ug/l	50	Nueva Zelanda/Australia
	mg/l	0,36	Chile
<b>Zn</b>	ug/l	5000	Nueva Zelanda/Australia



<b>Ni</b>	mg/l	1	Nueva Zelanda/Australia*
<b>Al</b>	ug/l	200	Nueva Zelanda/Australia
<b>Cu</b>	ug/l	1000	Nueva Zelanda/Australia
<b>Fe</b>	ug/l	300	Nueva Zelanda/Australia
<b>Mn</b>	ug/l	100	Nueva Zelanda/Australia

El plomo, el mercurio, níquel y el aluminio son metales muy tóxicos para los organismos y se deben de conocer todas las características de estas sustancias en los diferentes medios y con las diferentes combinaciones. Algunos elementos como el mercurio y el cromo en su forma metálica no son perjudiciales, pero al cambiar su forma química pueden ser dañinos para la salud o los ecosistemas; como por ejemplo cuando el mercurio pasa a su forma metilada (Hg-CH<sub>3</sub>) este compuesto tiene la facilidad de trasladarse entre los diferentes eslabones tróficos de un ecosistema. Así mismo el cromo en su forma hexavalente (Cr (VI)) es muy tóxico y es usado para determinar la calidad de agua (Cicerone et al 2007).

Conocer las variables físicas (presión, temperatura y humedad), químicas (pH, potencia redox, salinidad) y biológicas (presencia de microorganismos y contenido de materia orgánica) es de suma importancia para los metales ya que pueden determinar su estabilidad, movilidad y biodisponibilidad en el ambiente (Cicerone et al. 2007).

El cromo es esencial para la vida. La concentración en aguas superficiales es de 1µg/l y en la corteza terrestre se encuentra entre los 7 y 221 mg/kg como promedio mundial. En Argentina este elemento se ha incluido en las guías de calidad agua, suelo y aire. Tiene como parámetro 50 µg/l para la protección de la vida acuática en aguas salobres superficiales. Para las aguas recreativas no tienen ninguna concentración establecida (Cicerone et al. 2007).

El ser humano ha utilizado el cromo para la creación de aleaciones como el ferrocromo, también se ha utilizado como material refractario. Esta sustancia afecta el desarrollo de las plantas, genera inflamaciones de la piel en las personas y es propenso a producir cáncer (Cicerone et al. 2007).

El plomo (Pb) no tiene la facilidad para transportarse en el suelo. Los niveles de plomo en agua de río se encuentran entre los 0,3µg/l y en la corteza terrestre se encuentran entre los 1 y 32 ppm. Al igual que el Cr, Argentina establece para Pb los niveles guía de calidad

cuyo parámetro para la protección de la vida acuática en aguas salobres superficiales es de 10 µg/l (Cicerone et al. 2007).

Los compuestos de plomo son altamente tóxicos, el uso inadecuado y la exposición constante son las causas de envenenamiento. Actualmente se han tomado las medidas de higiene e ingeniería a nivel industrial para evitar estos peligros. El plomo forma aleaciones con diversos metales rara vez se encuentra en su estado natural. El principal uso del plomo se le da en la construcción y en la industria química para la fabricación y manejo del ácido sulfuro (Cicerone et al. 2007). También es utilizado en pinturas viejas y pinturas anti-hongos (Silva 2011).

El antimonio es un metal usado como retardador de llama. El antimonio es encontrado en baterías, pigmentos, cerámica y cristal. La exposición, a altas concentraciones por períodos de tiempo cortos, de este metal, causa náusea, vómitos, y diarrea. Hay poca información sobre los efectos de la exposición a largo plazo. El antimonio es un acumulable en la vida acuática y se sospecha que puede ser carcinógeno para los seres humanos (INECC, 2009).

Asimismo, las principales fuentes de cadmio son las baterías, fertilizantes, pigmentos y estabilizadores de plástico y PVC, pigmentos de pinturas, galvanizaciones y aleaciones. Los seres humanos se exponen a este elemento por medio de la cadena alimenticia, acumulándose en los riñones, provocando hipertensión arterial (INECC, 2009).

En Japón ocurrió un brote epidémico de intoxicación (Síndrome de Itai-Itai) ocasionado por arroz contaminado con cadmio, ya que el agua usada para el riego del cultivo estaba contaminada por jales mineros. El cadmio es asociado a la aparición de cáncer en animales y cáncer de próstata en humanos.

El manganeso es un elemento natural que se encuentra en muchos tipos de roscas. No tiene sabor, ni olor, es de color plateado pero en el ambiente no se presenta en sus condiciones puras. Se usan compuestos de manganeso en baterías, suplementos dietéticos y como ingredientes en plaguicidas y abonos. En el medio ambiente se encuentra en forma de: sólidos en el suelo y pequeñas partículas en el agua. Las algas y el plancton consumen este elemento y es acumulable en su organismo. La cantidad necesaria de manganeso en la dieta occidental es de 1-10 mg al día, las dietas con menos cantidad hace más lenta la coagulación de la sangre, problemas de piel, cabello y alteraciones al metabolismo. Demasiada exposición al manganeso puede causar daños cerebrales (ATSDR, 2000).

El Níquel puro es un metal duro, blanco-plateado, usado para aleaciones y es muy utilizado para fabricar el acero inoxidable, es un elemento natural, no tiene olor, ni sabor y es abundante, se encuentra en todos los suelos, es liberado por medio de emisiones volcánicas. Comúnmente utilizados para elaborar monedas, joyas y válvula. Estas sustancias son liberadas al ambiente por la industria manufacturera y las plantas que queman petróleo e incineradoras de basura. Este elemento puede combinarse con el cloro, azufre y oxígeno, y forman compuestos que se disuelven fácilmente en agua y pueden ser de color verde. Parece que este elemento no se acumula en peces y otros animales comestibles. Los efectos del níquel al exponerse a altas concentraciones son reacciones alérgicas en la piel, así mismo puede causar bronquitis crónica y alteraciones en los pulmones (ATSDR, 2005).

El hierro es uno de los metales más conocidos y trabajados a través de los tiempos. En la corteza se encuentran diferentes compuestos de hierro; este material se usa para la fabricación de utensilios y armas. La actividad minera por su proceso de extracción genera grandes volúmenes de agua contaminada que llegan a los ríos, mares y acuíferos. Las sales férricas formadas al oxidarse el Fe (II) disminuye la solubilidad, por lo que se precipitan y son los que le dan un color turbio al agua. Además la introducción de diferentes sustancias puede causar la eutrofización del agua (Rodríguez & García-Cortés 2006). En agua para consumo se analizan metales, ya que puede contener hierro y formar ácido sulfhídrico, además de otras sustancias que pueden ser tóxicas (Borbolla et al, 2013)

El cobalto es un elemento natural y tiene diferentes isótopos, estables e inestables o radioactivos y se comporten químicamente de manera similar. Se encuentra en las rocas, el suelo, el agua, las plantas y en los animales. Los compuestos de cobalto se usan como colorantes en vidrio, cerámicas y pintura también es utilizado como catalizadores y en productos para secar pinturas. Tiene un color azul característico, sin embargo no todos los compuestos son azules. Esta sustancia se añade a los productos agrícolas y medicamentos en pequeñas cantidades. Este elemento puede liberarse a la atmósfera desde plantas e incineradores que usan carbón como combustible, escape de vehículos y accidentes nucleares. El cobalto liberado en el agua puede ser adherido a partículas en el agua o el sedimento, la cantidad de este elemento aumenta a medida que incrementa la acidez del medio. Las plantas acumulan pequeñas cantidades y aunque los animales que comen esas plantas y acumularán cobalto, no parece que se biomagnifica la concentración a lo largo de la cadena alimenticia. Este elemento es beneficioso y perjudicial para la salud, es importante para el ser humano porque forma parte de la vitamina B12, ha sido usado para el tratamiento de la anemia y tratamientos en embarazadas pero cuando el cuerpo absorbe demasiadas concentraciones se dan afectaciones en las vías respiratorias (pulmones, jadeos, asma) y alergias (ATSDR, 2004).

El cobre se encuentra naturalmente en el ambiente, plantas y animales; es un elemento esencial para la salud del ser humano, es utilizado para fabricar muchos productos como alambres, cañerías y láminas de metal. Además es usado en la agricultura para tratar las enfermedades de las plantas y como preservativos para alimentos, cueros y telas. Los compuestos de cobre son liberados al ambiente por la industria minera, actividades agrícolas y de manufactura por medio de las aguas residuales especiales, también se da producto de volcanes, incendios forestales y descomposición vegetal. El cobre tiene efectos adversos a la salud, la inhalación de altas concentraciones pueden producir irritación en la nariz y garganta. La ingesta puede producir náuseas, vómito y diarrea; dañar el hígado, los riñones y causar la muerte (ATSDR, 2004).

La principal causa de encontrar metales en los ecosistemas acuáticos es debida a la esorrentía y al contacto directo con la contaminación atmosférica. Los factores químicos como pH y salinidad controlan la absorción y desorción de los metales en los sedimentos. En aumentos de salinidad y disminuciones de pH los metales se disuelven en los sedimentos. También se ve influenciado por el tipo de sedimento, los limos y arcillas son más absorbentes de metales que los arenosos (Bravo et al. 2012).

### **5.3.2 Microbiológicas**

En 1928 se realizó un estudio por Winslow y Moxon en el Puerto de New Haven en los Estados Unidos, donde se atribuyó la fiebre tifoidea por nadar en aguas altamente contaminadas, por lo tanto, se estableció que la densidad de coliformes en aguas de recreación de contacto primario no debía exceder 100 NMP/100 ml, sin embargo esta cifra se estableció sin científica que explicara este criterio.

Los estudios analizados para la elaboración de las Guías para ambientes seguros en aguas recreativas (OMS 2003) determinaron que ciertos síntomas estaban relacionados significativamente con la cantidad de bacterias fecales. Mora (2009) señala que dependiendo del grado de contaminación que tengan las aguas de contacto primario pueden transmitir padecimientos como diarreas, enfermedades respiratorias, afectaciones a la piel y principalmente infecciones en los oídos.

Estos síntomas están relacionados directamente con la cantidad de bacterias fecales, tales como enterococos, estreptococos fecales, coliformes termo tolerantes y *E. coli.*, por lo que son considerados indicadores microbiológicos que sirven para evaluar el riesgo de contraer una enfermedad por ingesta o contacto con el agua (Mora 2007).

Por otra parte el origen de las bacterias es principalmente del tracto digestivo de animales de sangre caliente, estas llegan a los ríos y se trasladan por estos hasta llegar al mar. Es

importante tomar en cuenta la inexistencia de un alcantarillado sanitario y la baja eficiencia de los tratamientos de aguas residuales ordinarias y especiales.

Estudios realizados por Cabelli et al. (1983) consideraron que los enterococos y estreptococos son los organismos indicadores más eficientes para las aguas marinas, y las bacterias *E. coli* para aguas dulces. Las características fundamentales para considerar un indicador es que demuestra la situación de un problema, en este caso muestra si una playa está contaminada o no y si puede ser apta para la recreación.

De esta misma manera un indicador debe ser de fácil detección. Estas bacterias fecales tiene la cualidad de encontrarse en grandes cantidades en las heces y se multiplican en el agua (Méndez 2004), además demuestran que la contaminación se presentó recientemente, ya que tienen un corto tiempo de supervivencia (Miravet et al. 2009).

#### **5.3.2.1 Enterococos (ETCC)**

Los enterococos son un subgrupo de los estreptococos fecales con morfología cocoide, Gram positivo, catalasa negativo, anaerobios facultativos, cuya temperatura de crecimiento oscila entre 10 y 45 °C, siendo el óptimo a 35 °C. Resisten temperaturas de 60 °C durante 30 minutos (Ortiz 2000).

La característica más importante de los enterococos como indicadores de agua de mar es que son más persistentes que las bacterias de *E. coli* y coliformes en condiciones ambientales adversas; ya que resisten a mayor concentraciones de salinidad y además, son altamente resistentes a la desecación, por lo que son de gran utilidad como indicadores microbiológicos de contaminación para el control de sistemas de distribución de agua (Méndez 2004).

Por su resistencia a las condiciones marinas este indicador fue seleccionado en varias normas de otros países (ver **cuadro 5**) (Nuzzi y Bruhans 1997) como un indicador para la determinación de la calidad de agua del mar, para actividades de baño o recreativas de las zonas costeras.

#### **5.3.2.2 Escherichia coli (E. coli)**

Esta bacteria pertenece a la familia Enterobacteriaceae y posee enzimas  $\beta$ -galactosidasa y  $\beta$ -glucuronidasa. Crece a 44-45°C o algunas a 37°C en medios tensoactivos, fermenta la lactosa y el manitol con producción de ácido y gas, e indol a partir del triptófano (Ortiz 2000).

*E. coli* es un indicador aceptado a nivel internacional como el más preciso, está presente en heces humanas y de animales (ver **cuadro 5**). Estos microorganismos se encuentran en drenajes, aguas residuales (ordinarias y especiales) y suelos susceptibles a contaminación,

los cuales pueden transmitir microorganismos patógenos infectivos para el ser humano (Méndez 2004).

**Cuadro 5.** Límites de bacterias máximos permisibles o sugeridos\* para determinar aguas marinas aptas para la recreación. Julio, 2015.

<b>Indicador</b>	<b><i>E. coli</i></b>	<b><i>Enterococos</i></b>	<b><i>Coliformes fecales</i></b>
<b>OMS*</b> <sup>a</sup>	100-1000 NMP/100ml Satisfactoria	-	-
<b>México</b> <sup>b</sup>	-	0-200 NMP/100ml	-
<b>UE</b> <sup>c</sup>	500 UFC o NMP /100ml percentil 95	200 UFC o NMP /100ml percentil 95	-
<b>Estados Unidos</b> <sup>d</sup>	-	185 percentil 95	1000 percentil 95
<b>Canadá</b> <sup>f</sup>	≤ 200 como media ≤ 400 única muestra NMP/100ml	≤ 35 como media ≤ 70 única muestra NMP/100ml	-
<b>Colombia</b> <sup>g</sup>	-		200 NMP/100ml
<b>Cuba</b> <sup>h</sup>	-	≤100 NMP/100ml	≤200 NMP/100ml
<b>China</b> <sup>i</sup>	-	40 media mensual 200 percentil 95 UFC o NMP/100ml	200 media mensual 2000 percentil 95 UFC o NMP/100ml
<b>España</b> <sup>j</sup>	-	250 UFC/100ml	-

a OMS 2003

b Cofepris, 2013

c Directiva 2006/7/Ce

d CEC (1976, 2006) según Zhanga et al 2013

f Minister of Health Canadá. 2012.

g Vivas-Aguas et al, 2012

h NC 22:1999 según Miravet et al 2009

i China SOA (2010) según Zhang et al 2013

j Palomino de Dios et al 2012.

### 5.3.3 Marco Legal

#### 5.3.2.1. Costa Rica

La normativa costarricense establece que las playas son un sitio público, por lo tanto administradas por el estado y sus distintos entes con sus diferentes funciones, una parte de estas es administrada por el gobierno local por medio de la ley N°6043 (Ley de la Zona Marítimo Terrestre) esta ley define qué se puede y qué no se puede hacer en las zonas litorales, y otras son reguladas mediante los ministerios, tales como MS y MINAE por medio de los reglamentos N°33601 MINAE-S (Reglamento del Canon Ambiental por Vertidos), y el N° 33601 MINAE-S (Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales), estas entidades y reglamentos velan por la calidad del ambiente en estos sitios y regulan las distintas actividades productivas que vierten aguas residuales (especiales u ordinarias) a cuerpos receptores, en este caso aguas salobres.

En nuestro país existen más de 4 instituciones que son responsables en diversos aspectos sobre la condición de las zonas marino costeras (ver **cuadro 6**).

**Cuadro 6.** Competencias institucionales en el ámbito de aguas costeras recreativas en Costa Rica. Fuentes: Salazar, 2004 y Ley 2726.

Institución	Competencias
<b>Ministerio de Ambiente y Energía</b> <b>Contralor ambiental</b>  <b>(Artículo 102 Ley Orgánica del Ambiente)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Denunciar cualquier violación a la Ley Orgánica del Ambiente, La Ley de la Zona Marítimo terrestre y otras leyes que tenga relación directa con la defensa y protección del ambiente, ante la Procuraduría Ambiental y el Ministerio Público</li></ul>

<b>Institución</b>	<b>Competencias</b>
<p align="center"><b>Ministerio de Salud</b></p> <p align="center"><b>Dirección de Protección al Ambiente Humano</b></p> <p align="center"><b>(Ley N°5395)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de la contaminación de los elementos fundamentales del ambiente (aire, agua, suelo) en el ambiente humano.</li> <li>• Vigilancia de los servicios de disposición sanitaria aguas residuales (ordinarias y especiales).</li> <li>• Vigilancia de los servicios de manejo de desechos.</li> <li>• Realizar todas las acciones, actividades y dictar medidas generales y particulares que tiendan a la conservación y mejoramiento del ambiente, con miras a la protección de la salud de las personas.</li> <li>• Dictar las normas métodos y técnicas necesarias.</li> <li>• Orientar y revisar los programas tendentes a la conservación y mejoramiento del ambiente.</li> </ul>
<p align="center"><b>Procuraduría General de la República</b></p> <p align="center"><b>(Ley N°6815)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La Procuraduría Ambiental y de la Zona Marítimo Terrestre tiene como atribución actuar en defensa del patrimonio nacional, de los recursos existentes en la Zona Marítimo terrestre, el mar territorial, la zona económica exclusiva y la plataforma continental.</li> <li>• Tomar las acciones necesarias para proteger el medio a fin de garantizar el derecho constitucional de toda persona a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.</li> </ul>
<p align="center"><b>Acueductos y Alcantarillados</b></p> <p align="center"><b>(Ley N°2726 de creación del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dirigir y vigilar todo lo concerniente para proveer a los habitantes de la república de un servicio de recolección y evacuación de aguas residuales (ordinarias y especiales), residuos industriales líquidos y de aguas pluviales en las áreas urbanas.</li> <li>• Promover la conservación de las cuencas hidrográficas y la protección ecológica, así como el control de la contaminación de las aguas.</li> <li>• Asesorar a los demás organismos del estado en todos los asuntos relativos al establecimiento de acueductos y alcantarillados y control de la contaminación de los recursos de agua, siendo obligatoria, en todo caso, su consulta, e inexcusable el</li> </ul>



Institución	Competencias
	<p>cumplimiento de sus recomendaciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construir, ampliar y reformar los sistemas de acueductos y alcantarillados en aquellos casos en que sea necesario y así lo aconseje la mejor satisfacción de las necesidades nacionales.</li> </ul>
<p><b>Viceministerio de Agua y Mares</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organizar y potenciar la adecuada respuesta del gobierno frente a los problemas marinos y costeros, liderando la protección y la gestión sostenible de estos recursos del país (MINAE, 2015)</li> </ul>

#### 5.3.2.1.1 Ley marítima terrestre

En el año 1977 se promulgó la Ley de la Zona Marítimo Terrestre (N° 6043), la cual define este espacio como “la franja de doscientos metros de ancho a todo lo largo de los litorales Atlántico y Pacífico de la República, cualquiera que sea su naturaleza, medidos horizontalmente a partir de la línea de pleamar ordinaria y los terrenos y rocas que deje el mar en descubierto en la marea baja”. Además, especifica que esta franja de terreno se divide en:

- **Zona pública:** que es la faja de cincuenta metros de ancho a contar de la pleamar ordinaria y las áreas que quedan al descubierto durante la marea baja,
- **Zona restringida:** constituida por la franja de los ciento cincuenta metros restantes o por los demás terrenos, en casos de islas.

#### 5.3.2.1.2 Ley Orgánica del Ambiente

Durante el año 1995 se aprobó la Ley Orgánica del Ambiente o LOA (N°7554), esta legislación es un marco de referencia para el desarrollo de una importante cantidad de instrumentos jurídicos que buscan armonizar y regular las actividades que se desarrollan en el país en torno a los estipulado en el artículo 50 de la Constitución Política del país.

#### 5.3.2.1.3 Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales

Este reglamento se promulgó mediante el decreto N°33601 MINAE-S y publicado en el periódico oficial La Gaceta # 55, Alcance 8 el 19 de marzo de 2007.

Es un instrumento legal que pretende darle una gestión a las aguas residuales generadas en las diversas actividades antropogénicas que se desarrollan dentro del territorio, en este sentido es de suma importancia el entendimiento de ciertos conceptos planteados en el artículo 3:

- **Agua residual:** agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes.
- **Agua residual ordinaria:** agua residual generada por las actividades domésticas del hombre.
- **Agua residual especial:** agua residual de tipo diferente al ordinario.
- **Cuerpo receptor:** es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, estuario, manglar, turbera, pantano, agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales.
- **Ente generador:** persona física o jurídica, pública o privada, responsable del reúso de aguas residuales o de su vertido en un cuerpo receptor o alcantarillado.

Este reglamento establece la obligatoriedad de los entes generadores, de darles tratamiento a sus aguas residuales, y es importante mencionar que la fiscalización para el cumplimiento de esta normativa es el Ministerio de Salud (ver cuadro 6), esta dirección también es la encargada de brindar la exención a los entes generadores para que solo viertan aguas residuales ordinarias de la presentación del reporte operacional.

Se establece mediante esta normativa cuáles son los parámetros físico-químicos y microbiológicos que deben ser analizados en las aguas residuales de las diferentes actividades y se establecen los límites para el vertido de estas.

En el Transitorio 1° de este Reglamento se establece “**Regulación de emisarios submarinos**”. En un plazo no mayor de dos años a partir de la publicación de este reglamento, el Poder Ejecutivo deberá emitir un decreto para la regulación del vertido de los emisarios submarinos, con base en una propuesta del MS y el MINAE. En el ínterin el vertido de un emisario submarino deberá cumplir con los límites establecidos en las Tablas 2 y 3 del presente reglamento”, en este sentido el único emisario submarino oficialmente es el que está ubicado en la ciudad de Limón el cual está actualmente en uso (Mora 2012).

En la actualidad no se ha creado dicho decreto, por lo tanto hay un claro incumplimiento al transitorio 1 del reglamento en cuestión. El presente trabajo pretende ser un insumo técnico para el desarrollo de ese vacío legal que existe en Costa Rica.

#### 5.3.2.1.4 Reglamento la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales

El objeto de este reglamento es establecer los criterios y metodologías para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua superficial, en este sentido el reglamento debe aplicarse a los cuerpos de agua superficial, entendiendo este como “todo aquel manantial, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, embalse natural o artificial, turbera o, pantano de agua dulce” (artículo 3, Ley N° 33903). Es importante señalar que no se menciona nada relacionado a las aguas marinas costeras u oceánicas, por lo tanto este reglamento debería ser modificado incluyendo dentro de la definición y ámbito aplicación las aguas de los litorales.

**Cuadro 7.** Parámetros iniciales y su asignación de puntaje según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores. Fuente: Decreto N°33903 MINAE-S.

Puntos	PSO (%)*	DBO (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> (mg/L)**
1	91-100	≤3	<0.50
2	71-90 111-120	3.1-6.0	0.50-1.0
3	51-70 121-130	6.1-9.0	1.1-2.0
4	31-50	9.1-15	2.1-5.0
5	≤30 Y >130	>15	>0.5

\* Porcentaje de Saturación de Oxígeno calculado por medio del Oxígeno REAL, el valor teórico dado por la temperatura y la presión atmosférica en el sitio de estudio.

\*\*Nitrógeno amoniacal

El reglamento establece una serie de parámetros para ser medidos de manera inicial (ver **Cuadro 7**) estos, permiten valorar la contaminación orgánica en una corriente de agua, a través del siguiente procedimiento:

1. Asignación de un valor determinado por concentración encontrada en el sitio,
2. Suma de puntos obtenidos,
3. Traslado a código de colores y clase correspondiente ( ver **Cuadro 8**)

**Cuadro 8.** Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores. Fuente: Decreto N°33903 MINAE-S.

Clase	Sumatoria de puntos	Código de Color	Interpretación de Calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4-6	Verde	Contaminación Incipiente
3	7-9	Amarillo	Contaminación Moderada

<b>4</b>	10-12	Anaranjado	Contaminación Severa
<b>5</b>	13-15	Rojo	Contaminación muy severa

Existen además dentro de la legislación una serie de parámetros complementarios (ver **cuadro 9**), los cuales se analizarán únicamente bajo la consideración del Ministerio de Salud o el Ministerio de Ambiente y Energía, para efectos del resguardo del medio ambiente y/o la salud humana.

Los métodos analíticos establecidos por esta legislación hacen referencia al decreto N°25018-MEIC, el cual es la versión más actualizada de los “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”.

**Cuadro 9.** Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales para las clases establecidas en el Reglamento 33903. Fuente: Decreto N°33903.

Parámetro complementarios	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
<b>Turbiedad (UNT)</b>	<25	25 a <100	100 a 300	[1]	[1]
<b>Temperatura (°C)</b>	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]
<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,0 a 9,0	5,5 a 9,5	5,5 a 9,5
<b>Nitratos, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg N/L)</b>	<5	5 a <10	10 a <15	15 a <20	>20
<b>Demanda Química de Oxígeno (mg/L)</b>	<20	20 a <25	25 a <50	50 a <100	100 a 300
<b>Cloruros (Cl) (mg/L)</b>	<100	100 a 200	NA	NA	NA
<b>Fluoruros (F) (mg/L)</b>	<1,0	1 a 1,5	NA	NA	NA
<b>Color (Pt Co)</b>	2,5 a 10	10 a 100	25 a 100	[1]	[1]
<b>Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)</b>	<10	10 a 25	25 a 100	100 a 300	>300
<b>Sólidos Disueltos (mg/L)</b>	<250	250 a <500	500 a 1000	>1000	<1000
<b>Grasas y Aceites (mg/L)</b>	ND	ND	ND	ND	15 a 25
<b>Sustancias Activas al Azul de metileno (mg/L)</b>	ND	ND	ND a 1	1 a 2	2 a 5
<b>Arsénico (mg/L)</b>	<0,01	<0,01	0,01 a 0,05	>0,05	>0,05
<b>Boro (mg/L)</b>	0,1	0,2	0,5	1	1
<b>Cadmio (mg/L)</b>	<0,005	0,005	0,01	0,02	0,02
<b>Cianuro (mg CN<sup>-</sup>/L)</b>	<0,1	0,1 a <0,2	0,2	>0,2	>0,2
<b>Cobre (mg/L)</b>	<0,5	0,5 a <1	1,0 a 1,5	1,5 a 2,0	2,0 a 2,5
<b>Cromo Total (mg/L)</b>	<0,05	0,05	0,20	0,50	>0,5
<b>Magnesio mg MgCO<sub>3</sub>/L</b>	<30	30 a 50	>50	>50	>50
<b>Mercurio (mg/L)</b>	<0,001	0,001	0,002	0,004	0,005
<b>Níquel (mg/L)</b>	<0,05	0,05	0,1	0,2	0,3
<b>Plomo (mg/L)</b>	<0,03	0,03 a <0,05	0,05 a <0,10	0,10 a <0,20	0,20
<b>Selenio (mg/L)</b>	<0,005	0,005 a <0,010	0,010 a <0,020	0,020 a <0,050	0,050
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup> (mg/L)</b>	<150	150 a 250	>250	>250	>250
<b>Parámetros orgánicos</b>					
<b>Sumatoria de los compuestos Organoclorados (mg/L)</b>	ND	ND	ND	0,01	0,01
<b>Sumatoria de los compuestos Organofosforados (mg/L)</b>	ND	ND	ND	0,01	0,01
<b>Biológicos</b>					
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 ml)</b>	<20	20 a 100	1000 a 2000	2000 a 5000	>5000

ND: No detectable por el método utilizado

NA: No Aplicable

[1]: Natural o que no afecta el uso indicado

Este reglamento establece diferentes parámetros (inicial y complementarios) para la clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficial, a partir de esta se establecieron diferentes categorías de uso (ver **cuadro 10**).

**Cuadro 10.** Clasificación de los Cuerpos de Agua según uso potencial y tratamiento que requiera. Fuente: Decreto N°33903.

<b>Usos</b>	<b>Clase 1</b>	<b>Clase 2</b>	<b>Clase 3</b>	<b>Clase 4</b>	<b>Clase 5</b>
<b>Abastecimiento de agua para uso y consumo humano</b>	Con tratamiento con desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
<b>Abastecimiento de agua para actividades industriales destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano</b>	Sin tratamiento previo o con tratamiento simple de desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
<b>Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias</b>	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Con limitaciones	No utilizable
<b>Actividades recreativas de contacto primario</b>	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
<b>Acuicultura</b>	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
<b>Fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas</b>	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
<b>Fuente para la protección de las comunidades acuáticas</b>	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
<b>Generación hidroeléctrica</b>	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable con limitaciones	Utilizable con limitaciones
<b>Navegación</b>	No utilizable	No utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable
<b>Riego de especies arbóreas, cereales y plantas forrajeras</b>	Utilizable	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

#### 5.3.2.1.5 Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertidos

La lógica de este reglamento se basa en el principio de “el que contamina paga”, establecido en la Ley Orgánica del Ambiente (LOA), artículo 2, es por esto que el objeto principal de este reglamento es “la regulación del canon por uso del recurso hídrico para verter sustancias contaminantes”. Además se responsabiliza a “todas las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas que utilicen directa o indirectamente los cuerpos de agua para introducir, transportar, diluir y/o eliminar vertidos que provoquen modificaciones en la calidad física, química y biológica del agua”.

Otro aspecto de suma relevancia establecido por este instrumento jurídico es la definición que establece para cuerpo receptor, la cual versa en el artículo 3 de la siguiente manera:

- **Cuerpo receptor:** Es todo aquel manantial, río, quebrada, arroyo permanente, lago, laguna, marisma, embalse, canal, artificiales o no, estuario, mar, manglar, turbera, pantano de agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales, según su clasificación.

A diferencia de los instrumentos jurídicos presentados en esta sección este es el único que menciona a los mares como objeto de recepción de la contaminación humana, o sea un cuerpo receptor, por ende la necesidad de la medición de la contaminación. Sin embargo no hace referencia a procedimientos para su análisis, sino únicamente a los efluentes que llegan a este.

#### 5.3.2.1.6. Ley de Conservación de la vida silvestre

En su artículo 128 como medida de protección a los hábitats de especies dice: “Prohíbese arrojar aguas servidas, aguas negras, desechos o cualquier sustancia contaminante en manantiales, ríos, quebradas, arroyos permanentes o no permanentes, lagos, marismas y embalses naturales o artificiales, esteros, turberas, pantanos, humedales, aguas dulces, salobres o saladas, en sus cauces o en sus respectivas áreas de protección. Las instalaciones agroindustriales e industriales, así como las demás instalaciones, deberán estar provistas de sistemas de tratamiento para impedir

que los desechos sólidos o las aguas contaminadas de cualquier tipo destruyan la vida silvestre. La certificación de la calidad del agua será dada por el Ministerio de Salud.”

Este artículo es fundamento legal para la creación del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales con el objetivo de evitar y controlar la contaminación de los cuerpos de agua.

### 5.3.2.2 Experiencias internacionales

#### 5.3.2.2.1 México

##### Competencias

Se atribuye la decisión de cuál playa será sujeta a vigilancia a las autoridades de salud (Comisión Estatal Contra Riesgo Sanitario o Regulación Sanitaria), quienes deciden según los resultados del monitoreo cuál playa presenta anomalías y lo comunican a la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, en adelante COFEPRIS.

Las Autoridades Estatales de Salud serán responsables de:

- Realizar los muestreos y análisis de agua,
- Transmitir la información al Comité Local de Playas Limpias,
- Enviar los resultados de los muestreos pre-vacacionales a la COFEPRIS e informar de las acciones que se realizan en las playas que sobrepasen los niveles de contaminación establecidos en los presentes lineamientos,
- Difusión de los resultados de muestreos mensuales.

##### Criterios de toma de muestra, Indicadores

Las muestras se colectan dentro del horario de uso de la playa en bajamar, en sitios con afluencia de bañistas y donde se realicen actividades recreativas, también se toma una muestra cada 500 m de extensión de la playa.

La calidad se determina mediante dos parámetros microbiológicos, principalmente que son los enterococos intestinales y los coliformes fecales con sus respectivos límites en esta normativa (ver **cuadro 11**).

**Cuadro 11.** Valores límites para clasificación de playas.

Indicador	Apta para uso recreativo	No Apta para uso recreativo
Enterococos intestinales (UFC/100ml)	0-200 (NMP/100ml)	>200 (NMP/100ml)
Coliformes fecales (UFC/100ml)	0-1000 (NMP/100ml)	>1000 (NMP/100ml)



### Frecuencia de muestreo

La frecuencia de los muestreos se realiza de dos maneras: mensualmente y en periodos previos a las vacaciones (semana santa, julio y diciembre), programándose con prioridad, deben tomarse mínimo seis muestras por playa durante dos semanas previas al periodo vacacional, y de estos resultados se reporta la media geométrica.

#### 5.3.2.2 Unión Europea

La Directiva 2006/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño, está dirigida a todos los estados miembros de la Unión Europea, por lo tanto cada estado asigna las funciones a su departamento de salud o al que le corresponda. Dicho departamento designa funciones y será el total responsable de la gestión de las aguas de baño, así como el que delegue funciones y los distintos niveles de organizaciones locales.

### Criterios de toma de muestra, Indicadores

Las muestras se toman en sitios donde la profundidad no sea mayor a 1 m y 30 cm bajo la superficie.

La evaluación de la calidad de las aguas se realiza en función de los datos microbiológicos de las bacterias Enterococos intestinales y *Escherichia coli* (ver cuadro 12).

**Cuadro 12.** Concentraciones máximas establecidas por la normativa de la Unión Europea. Fuente: Directiva 2006/7/Ce, 2006

Indicador	Calidad excelente	Calidad Buena	Calidad Suficiente	Métodos de análisis de referencia
Enterococos intestinales (UFC/100ml)	100(*)	200(*)	185(*)	ISO7899-1 o ISO7899-2
E.coli (UFC/100ml)	250(*)	500(*)	500(*)	ISO 9308-3 o ISO 9308-1

La Directiva prevé el establecimiento de perfiles que permitan identificar la eventual contaminación de una sola de las aguas de baño o de varias aguas contiguas. Consistirán fundamentalmente en la evaluación de:

- Las características físicas, geográficas e hidrológicas de las aguas de baño y de las aguas superficiales de la cuenca hidrográfica,
- La contaminación y sus causas,
- Las medidas de gestión.

### Frecuencia de muestreo

Los países integrantes determinan anualmente las aguas de baño de su territorio y definen la duración de la temporada de baño.

Basados en lo anterior los muestreos se definen en cuatro momentos del año, el primero antes de iniciar la temporada de baño y las otras tres durante la temporada, si esta no excede las ocho semanas, estos muestreos no deberán tener separaciones mayores a un mes. En caso de un evento de contaminación de corta duración se tomará una muestra adicional que no se analizará con las demás que se toman periódicamente.

Todas las aguas de baño de la UE deben al menos ser de calidad suficiente antes de la temporada de baño.

### Mecanismos de comunicación a poblaciones

Las autoridades nacionales permiten que el público se informe y participe en la gestión de la calidad de las aguas, de tal modo que los ciudadanos puedan formular sugerencias, observaciones y quejas. Asimismo, pueden participar en la creación, revisión y actualización de las listas de calidad de las aguas.

#### 5.3.2.2.3 Colombia

### Competencias

El sistema de monitoreo de calidad de las aguas está a cargo del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR,) por medio de la Red de Monitoreo de Calidad de Aguas Marinas y Costeras de Colombia, que es un programa interinstitucional para la gestión y toma de decisiones.

Cada una de las instituciones involucradas está en una constante mejora del sistema y trabajan según su región, donde realizan acciones como programas para la certificación de playas, campañas de limpieza e identificación de vertidos en playas o sitios cercanos.

### Criterios de toma de muestra, Indicadores

El único parámetro microbiológico utilizado como indicador en este sistema es el de Enterococos fecales, los valores de referencia y su clasificación por categorías son determinadas de acuerdo al Percentil 95, según la probabilidad de contagio y la concentración de Enterococos (ver cuadro 13).

Además, este sistema monitorea otras variables como fisicoquímicas, plaguicidas, hidrocarburos, nutrientes y metales pesados.

**Cuadro 13.** Valores de referencia microbiológicos utilizados para la clasificación de las aguas marinas en Colombia. Fuente: INVEMAR, 2011

<b>Categorías</b>	<b>Valor de referencia Enterococos fecales</b>
<b>A</b>	≤40 UFC/100ml
<b>B</b>	41-200 UFC/100ml
<b>C</b>	201-500 UFC/100ml
<b>D</b>	>500 UFC/100ml

#### Mecanismos de comunicación a poblaciones

Toda la información que posee este sistema se encuentra disponible para cualquier persona, institución o programa en la página web del INVEMAR, (<http://siam.invemar.org.co/siam/redcam/index.jsp>) con los datos históricos de 13 años de monitoreo y más de 1000 estaciones de muestreo en los doce departamentos costeros de Colombia.

Este sistema permite el acceso a todas las variables analizadas, las estaciones de monitoreo en mapas geográficos y a una calculadora estadística para analizar datos.

## 6. Marco Metodológico

El marco metodológico fue planteado a partir de la construcción de un modelo lógico el cual posee una serie de fases desarrolladas mediante objetivos. El recuadro verde enmarca las cuatro fases planteadas de la investigación y el recuadro naranja son las palabras claves de los objetivos planteados (ver Figura 4)

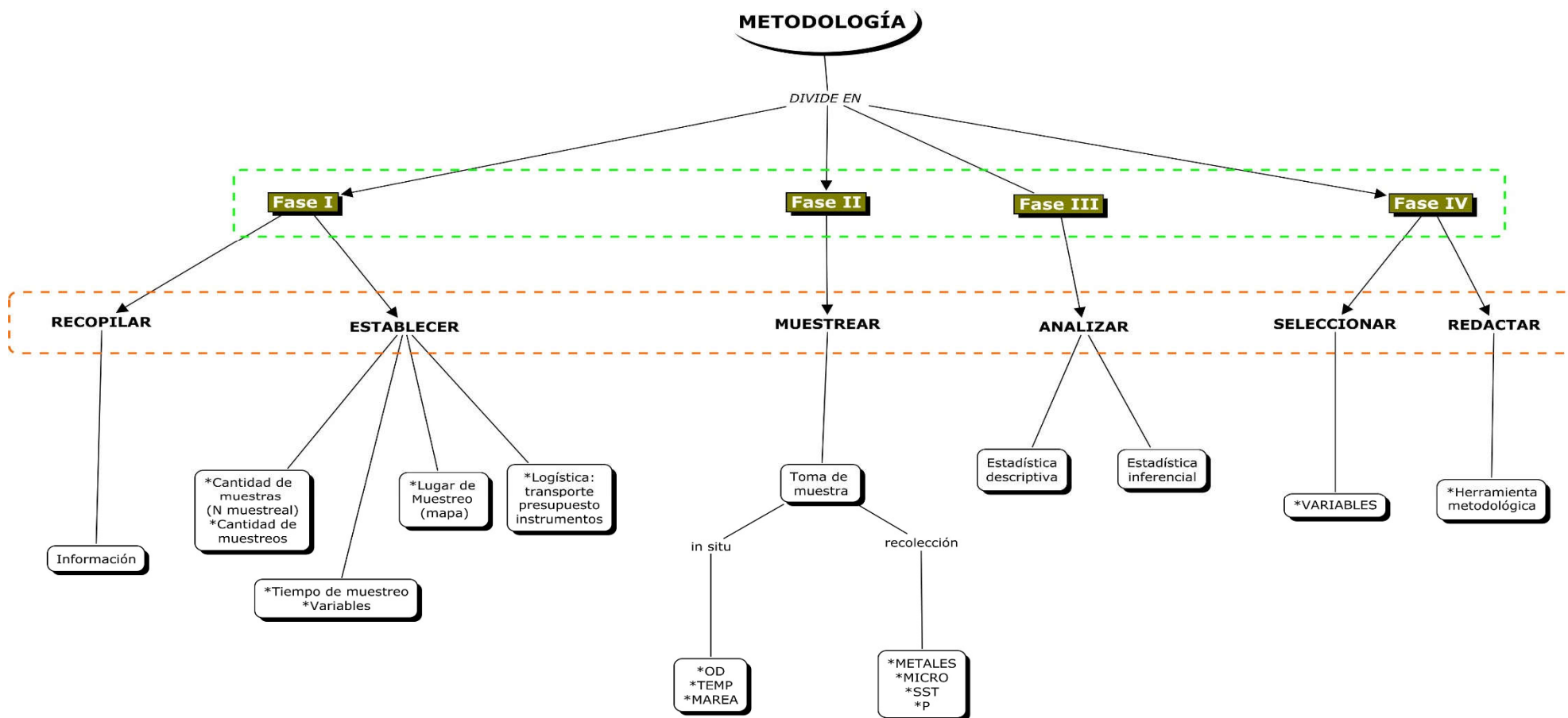


Figura 4. Mapa conceptual de las fases metodológicas. Heredia, 2014.

## **6.1 Fase I**

### **6.1.1 Recopilación de información**

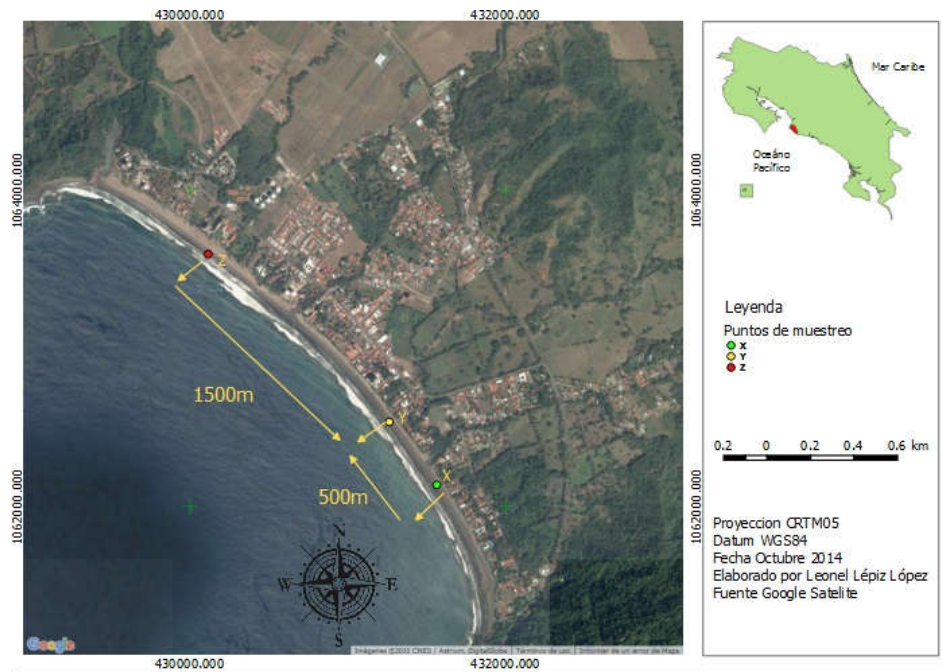
El estudio se inició mediante el análisis de los principales instrumentos jurídicos de Costa Rica que influyen en la vigilancia y protección de los espacios costeros, así como legislación a nivel internacional, con el objetivo de poder comprender los resultados de experiencias en otros países, relacionadas a la regulación de los ambientes marino-costeros. Conjuntamente se evaluaron los diferentes estudios realizados en el país y los efectuados a nivel mundial.

### **6.1.2 Selección del área de estudio**

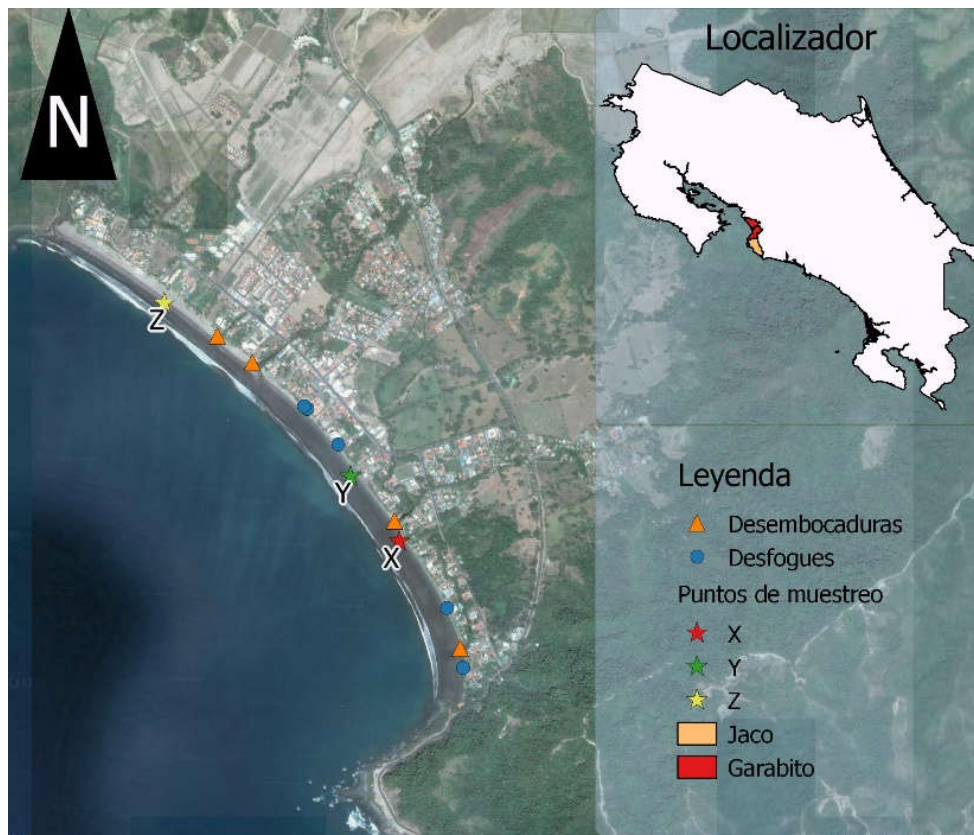
El estudio fue realizado en la playa de Jacó, localizada en el Pacífico Central, en la provincia de Puntarenas, cantón de Garabito, distrito Jacó. Las características político administrativas de esta ciudad son importantes, ya que Jacó al haberse declarado como distrito durante el año 1965, no se rige por lo establecido en la ley de la Zona Marítimo Terrestre (N°6043) y es declarada como zona urbana.

Esta zona del litoral Pacífico clasificada por Díaz (1980) como unidad Herradura, está rodeada hacia el este por las filas: Chilera, Quebrada Bonita y Cerro Puntudo. Propiamente la morfología que presenta el área de estudio es de ensenada, con un relieve plano y uniforme (Porrás 2009; Paniagua 2010).

La distancia lineal de playa Jacó es de 3,5 km, se definieron 3 sitios de muestreo, seleccionados al azar a partir de 7 puntos estudiados anteriormente por Bermúdez et al. (2013), se buscó evitar el sesgo a la hora de la selección de los sitios. El objetivo fue determinar si existe una influencia sobre las variables, dependiendo del punto en el que se tomaban las muestras, por lo que se eligieron tres puntos para poder tener 3 distancias diferentes entre los puntos, 500, 1500 y 2000 metros (ver la figura 5).



**Figura 5.** Imagen satelital georreferenciada de playa “Jacó”, con la ubicación de los sitios de muestreo, así como la división longitudinal entre los puntos. Heredia 2014.



**Figura 6.** Mapa de ubicación de puntos de muestreo, desfuegos y desembocaduras. Agosto 2016.

Además, los motivos por los que se eligió esta playa es la cercanía que posee con el Gran Área Metropolitana (GAM), donde se ubican los laboratorios de análisis microbiológico (San José) y físico-químico (Heredia). Además aunque no se posean datos oficiales de visitación de esta playa, se sabe que es una playa muy visitada durante todo el año por el turismo nacional e internacional, dadas las características, se desarrollan eventos Mundiales de surf y se ha presentado un desarrollo inmobiliario significativo. Por lo tanto Jacó se vuelve un punto importante por su afluencia de visitas y por consiguiente una zona apta para el estudio de la dinámica de sus contaminantes a lo largo de todo el año.

Por otra parte también se definió Jacó dado su historial de contaminación e investigación, debido a que el desarrollo productivo sin la debida planificación, por ende sin sistemas de tratamiento, ha traído consecuencias sobre el ambiente, como la contaminación de los ríos-quebradas y por consiguiente del mar. Se tiene información sobre el comportamiento bacteriológico de las aguas de Jacó desde los años 90 (Mora 2007, Cantero 2008), en este sentido se sabe que las principales fuentes de contaminación son la desembocadura de 4 cuerpos de agua (Herrera 2007, Carvajal 2009), así como la presencia de desfuegos directos a la playa (Bermúdez et al. 2013).

### **6.1.3 Definición del modelo de muestreo**

Las siguientes variables cuantitativas fueron analizadas en playa Jacó, a estas se les llamará Variables independientes:

- Físicas: Sólidos Suspendidos totales (SST), oxígeno disuelto (OD), conductividad (Cond) y temperatura (Temp).
- Químicas: fósforo total, nitrógeno total y metales (Sb, Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Pb, Cu, Mn).
- Microbiológicas: Enterococos (ETCC) y *Escherichia coli* (*E. coli*).

Una vez establecidas las variables independientes, fue tomada la decisión de realizar tres campañas de muestreo durante al año 2014. Esto por motivo de la información recopilada, en algunos estudios habían importantes variaciones según la época del año en que se realizaba el muestreo o si había presencia o no de lluvia; un ejemplo de ello es el “Estudio comparativo de la calidad de agua mar en las playas de Acapulco” (Silva, 2011). Y con esta variable observar el comportamiento a lo largo del año y evaluar la variación estacional. De la misma manera se decidió en cada campaña tomar muestras a diferentes horas, y así poder ver la variación temporal por día, estableciendo 4 momentos de muestreo: 5, 9, 13 y 18 horas.

Además, se estableció que se tomarían muestras en diferentes alturas de la columna de agua (ver Figura 7) para los parámetros químicos como metales pesados y las variables microbiológicas, con el fin de poder observar el comportamiento espacial dentro de un mismo punto de muestreo (Enns et al. 2012). Las variables restantes fueron recolectadas únicamente una vez por punto a una altura de 50 cm (ver cuadro 14). Las variables de época, altura, hora y punto son las variables dependientes.

Los datos in situ (temperatura, OD, conductividad) fueron medidos una sola vez y recolectados mediante una ficha de campo. No se hicieron repeticiones de las muestras, solo se tomó una muestra según los criterios anteriormente planteados.

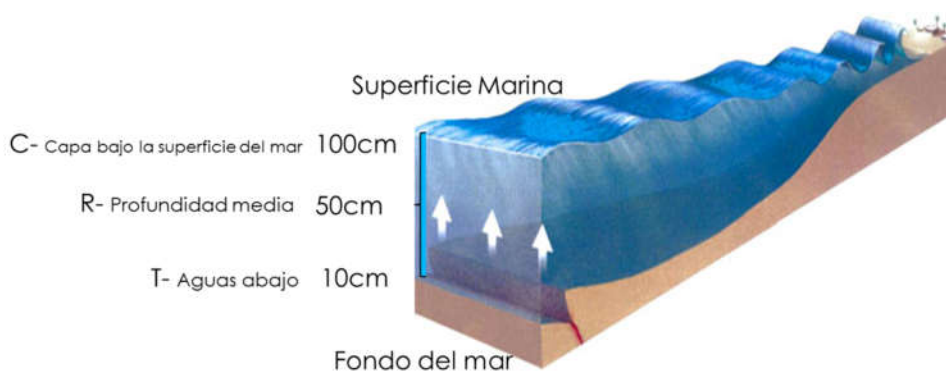
**Cuadro 14.** Cantidad de muestras establecidas según los parámetros seleccionados. Heredia, 2014.

	Tipo	Puntos	Momentos	Niveles	Campañas	n Total
<b>Metales</b>	Sb, Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Pb, Cu, Mn	3	4	3	3	108
<b>Microbiológicos</b>	Enterococos E. coli	3	4	3	3	108
<b>Parámetros Físicos</b>	SST, Temperatura, OD, conductividad	3	4	1	3	36
<b>Parámetros Químicos</b>	Fósforo total Nitrógeno Total	3	4	1	3	36

Puntos: X, Y y Z

Horas: 5, 9, 13 y 18

Niveles: C, R y T



**Figura 7.** Puntos de muestreo a través de la columna de agua(C, R, T). Heredia, 2015.

#### 6.1.4 Logística

Las instituciones involucradas y en constante coordinación fueron el Ministerio de Salud (quien aportó los análisis microbiológicos), el Laboratorio de Análisis Ambiental en Heredia (financió los análisis físicos y químicos, así como el transporte y los equipos para el muestreo) y el Laboratorio San Martín en San José (realizó los análisis microbiológicos), para definir los días específicos de muestreo, la entrega y recepción de las muestras.

Se realizaron todas las preparaciones para el muestreo, solicitando los equipos necesarios:

- Automóvil



- Hieleras
- Envases microbiológicos, para metales y físicos
- Medidor de OD y temperatura
- Pizeta
- Guantes

## 6.2 Fase II

### 6.2.1 Muestreo

#### 6.2.1.1 Procedimiento de toma de muestras y conservación de los parámetros físico-químicos

- **Recolección de datos *In situ***

En cada sitio de muestreo se midió la temperatura y el Oxígeno Disuelto con el equipo Hach Company HQ40D; tomando una muestra de agua en un recipiente plástico de 1 L y con ello determinar la medición de cada variable con sus respectivos instrumentos, fue anotado el valor obtenido en una ficha de campo, en donde también se registró la marea según el calendario de mareas del Miocimar (Módulo de información oceanográfica). Es importante considerar que la medición de la conductividad con instrumentos que no están calibrados para ambientes hipersalinos (salinidad >5%), puede afectarla, debido a los iones presentes en el agua (Silva, 2011).



**Figura 8.** Medición *In situ* de la temperatura y el oxígeno disuelto. Playa Jacó, 2014

- **Recolección de las muestras físico-químicas**

Para el muestreo de los parámetros físico-químicos, tales como el fósforo total y sólidos suspendidos totales, fue recolectada una muestra en una botella de 1 litro de polietileno de alta densidad, la cual se lavó tres veces con agua de mar (*in situ*), luego se introdujo a unos 30 cm de la superficie del agua, poniendo la botella en posición horizontal y moviéndola contra corriente. Una

vez recolectadas las muestras fueron colocadas en una hielera con hielo, para mantener una temperatura aproximada de 4 °C hasta que se ingresaran en el laboratorio.

### **6.2.1.2 Procedimiento de toma de muestras y conservación de metales**

Para la colección de la muestra de metales se utilizó un recipiente de polipropileno de alta densidad de 150 ml, estos fueron preparados previamente en un baño ácido de HNO<sub>3</sub> al 10% y lavado tres veces con agua Milli-Q.

Todos los recipientes de metales fueron etiquetados con sus códigos respectivos, en el momento del muestreo cada recipiente se enjuagó tres veces (con agua de mar *in situ*), luego se colectó la muestra poniendo la botella en posición horizontal a las diferentes alturas establecidas. Una vez recolectadas las muestras se colocaron en una hielera con hielo, para mantener una temperatura aproximada de 4 °C hasta que se ingresaran en el laboratorio.



**Figura 9.** Procedimiento de toma de metales, Playa Jacó, 2014

### **6.2.1.3 Procedimiento de toma de blanco de metales**

Para recolectar la muestra en campo fue utilizado un recipiente de 50 ml con agua Milli-Q, tomado en uno de los puntos de muestreo seleccionado al azar, en el momento de la toma de una muestra se abrió el recipiente durante dos minutos sobre la superficie, luego debidamente cerrado se

guardaba en la hielera con hielo, para conservar una temperatura aproximada a las 4°C hasta su entrada al laboratorio.

#### 6.2.1.4 Procedimiento de toma de muestras microbiológicas y su conservación

La colección de las muestras se realizó en un recipiente esterilizado de polipropileno de 100 ml. Cada recipiente fue etiquetado según el código correspondiente, una vez recolectada la muestra debidamente asegurada de que no tuviera fugas y se guardaba en una hielera aparte de las otras, con bastante hielo para conservar la muestra a una baja temperatura alrededor 4 °C.

#### 6.2.1.5 Procedimiento de asignación de códigos a las muestras

El cuadro 15 representa los códigos asignados para las muestras recolectadas, es fundamental la identificación de las muestras para el ingreso al laboratorio y el reporte de resultados. El laboratorio asigna un número de lote único para todas las muestras en el momento de ingresarlas, por lo tanto esto hace la diferencia entre campañas y la fecha en que se muestreó.

**Cuadro 15.** Código de etiquetaje para las muestras de los parámetros. Heredia, 2014

Código de Etiqueta					
Muestras Físico-Químicas		Muestras Microbiológicas Metales		Sitio de muestreo	Hora de Muestro
N°	Código	N°	Código		
1	PCJcx-c1 <sup>1</sup>	1	PCJcx-c1	X	05:00
		2	PCJcx-r1		
		3	PCJcx-t1		
2	PCJcy-c1	4	PCJcy-c1	Y	05:00
		5	PCJcy-r1		
		6	PCJcy-t1		
3	PCJcz-c1	7	PCJcz-c1	Z	05:00
		8	PCJcz-r1		
		9	PCJcz-t1		
4	PCJcx-c2	10	PCJcx-c2	X	09:00
		11	PCJcx-r2		
		12	PCJcx-t2		

<sup>1</sup> PC: significa la zona del país al que pertenece la playa. Puede ser Pacífico Norte (PN), Pacífico Sur (PS), Pacífico Central (PC) y Caribe Sur (CS).

Jc: Representa las iniciales de la playa a muestrear (Jacó)

x: el número del sitio de muestreo, puede ser x, y o z

-c: representa la profundidad en la que se toma la muestra. A profundidad de los 100 cm del fondo (c), a los 50 cm del fondo(r) y al 0 cm del fondo (t)

1: el último número representa la hora del día en que se toma la muestra. Puede variar de 1-4, siendo (1) 5 am, (2) 9 am, (3) 13 y (4) 18

Código de Etiqueta				Sitio de muestreo	Hora de Muestro
Muestras Físico-Químicas	Muestras Microbiológicas	Metales			
5	PCJcy-c2	13	PCJcy-c2	Y	09:00
		14	PCJcy-r2		
		15	PCJcy-t2		
6	PCJcz-c2	16	PCJcz-c2	Z	09:00
		17	PCJcz-r2		
		18	PCJcz-t2		
7	PCJcx-c3	19	PCJcx-c3	X	13:00
		20	PCJcx-r3		
		21	PCJcx-t3		
8	PCJcy-c3	22	PCJcy-c3	Y	13:00
		23	PCJcy-r3		
		24	PCJcy-t3		
9	PCJcz-c3	25	PCJcz-c3	Z	13:00
		26	PCJcz-r3		
		27	PCJcz-t3		
10	PCJcx-c4	28	PCJcx-c4	X	18:00
		29	PCJcx-r4		
		30	PCJcx-t4		
11	PCJcy-c4	31	PCJcy-c4	Y	18:00
		32	PCJcy-r4		
		33	PCJcy-t4		
12	PCJcz-c4	34	PCJcz-c4	Z	18:00
		35	PCJcz-r4		
		36	PCJcz-t4		



**Figura 10.** Etiquetado de los envases para la toma de muestras. 2014

## **6.3 Fase III**

### **6.3.1 Análisis estadísticos**

#### **6.3.1.1 Procesamiento de datos**

Inicialmente fueron tabulados los datos analizados *in situ* y los resultados emitidos por los laboratorios, en una tabla de Excel que fuera de fácil manipulación, esta tabla contenía toda la información de las tres campañas, con las características cualitativas y cuantitativas de los muestreos realizados.

La herramienta utilizada para el procesamiento de los datos fue la versión de prueba del InfoStat que es un software estadístico desarrollado en Argentina por el Grupo InfoStat, un equipo de investigadores en estadística aplicada de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

#### **6.3.1.2 Estadística descriptiva**

Para el análisis estadístico fue necesario estudiar la distribución de los valores y su comportamiento por medio de pruebas estadísticas en las que se analizó el tipo de distribución de los datos, ejecutando un análisis en tres momentos que fueron: distribución de frecuencias, pruebas de normalidad y medidas resumen.

##### **6.3.1.2.1. Distribución de frecuencias**

La distribución de frecuencias fue realizada con la finalidad de aproximar el repartimiento de los valores a alguna función o modelo teórico, para cualquier análisis y cálculo probabilístico. Esta distribución identifica los datos extremos y que son poco frecuentes.

Realizando una tabla de frecuencia para cada una de las variables en estudio (Mn, Cd, Co, Fe, Cr, Ni, Cu, Pb, *E.coli*, ETCC, Cond, SST, Temp y OD) y se seleccionaron las clases donde se encontraban como mínimo el 75% de los datos.

Se seleccionaron las clases donde estuvieran el conjunto de datos por arriba del 75%, con la finalidad de obtener uno o los intervalos donde se encuentran la mayoría de estos datos y poder ver tendencias sin los valores atípicos o extremos.

Las clases son el número de agrupaciones en intervalos con valores que tengan la misma amplitud, y la amplitud corresponde a la diferencia entre el límite superior e inferior de la clase.

Teniendo conocimiento de dónde se encontraban la mayoría de los datos, se depuró la tabla general de Excel eliminando todos los valores que estaban fuera del Límite Inferior y Límite Superior.

### 6.3.1.2.3. Medidas resumen

El análisis estadístico inició realizando tablas de medidas resumen (ver **cuadro 16**), construyendo gráficas de barras, diagramas de dispersión, cajas y bigotes. Para esto se utilizó el software InfoStat versión 2014. Se plantearon diferentes escenarios para analizar los comportamientos por época, horas del día, sitios de la playa y alturas de la toma de la muestra.

**Cuadro 16.** Medidas de tendencia central analizadas.

Medida resumen	Símbolo
Observaciones	N
Media	$\bar{X}$
Mediana	$d(\bar{X})$
Desviación estándar	S
Mínimo	Min
Máximo	Max

### 6.3.1.3. Estadística inferencial

#### 6.3.1.3.1. Prueba de Shapiro-Willks

Con el objetivo de poder tener una noción del comportamiento de las variables y su distribución se aplicó la prueba de Shapiro-Willks y de esta manera poder analizar la normalidad de los datos para los distintos escenarios planteados, utilizando un nivel de confianza del 95%; en el que se establecieron las siguientes hipótesis:

- $H_0$ = "Los datos tiene distribución normal"
- $H_1$ = "Los datos no tienen distribución normal"

A partir de los resultados obtenidos del estadístico, fue construida una fórmula lógica en Excel para poder reconocer la aceptación o no aceptación de la hipótesis nula.

#### 6.3.1.3.2. Análisis de Varianza paramétrico

El objetivo planteado fue determinar si hay diferencias significativas en los promedios de las mediciones de las variables dependientes con respecto a los diferentes escenarios planteados (época, punto, hora y altura). Se utilizó el paquete estadístico JMP versión 5.0.1.2 para el procesamiento del análisis de varianza.

Es importante aclarar que se realizó únicamente un análisis sobre las interacciones simples y dobles, debido a que la eliminación de datos produjo que diversas interacciones se indefinieran, por ende no hubo resultados para las interacciones triples y cuádruple. Además se aplicó la prueba del ANOVA únicamente a aquellas variables con un comportamiento normal, basándose en los resultados obtenidos de la prueba de Shairo-Willks.

En cada caso que presentó efectos significativos se aplicó la prueba de Tukey para determinar el origen de la significancia. Esta prueba se basa en utilizar el estadístico de rango estudentizado para

hacer todas las comparaciones por parejas entre los grupos y calcula el porcentaje de error del experimento en relación con el porcentaje de error de todas las comparaciones por pareja (Martín y de Paz 2007).

## 7. Resultados

### 7.1 Estadística descriptiva

#### Distribución de frecuencias

En el siguiente cuadro se pueden observar los rangos de concentraciones de los indicadores de calidad establecidos, donde se presentan el límite inferior y superior.

**Cuadro 17.** Rango de valores con datos extremos excluidos para cada variable en estudio. Heredia, 2016.

Variables Independientes	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Mn (µg/l)	1	[5,00	763,33]	384,17	80	0,76
Cd (µg/l)	1	[9,00	252,50]	130,75	102	0,97
Co (µg/l)	1	[2,00	5,30]	3,65	84	0,80
Fe (mg/l)	1	[0,002	152,84]	76,42	102	0,97
Cr (µg/l)	1	[2,00	63,17]	32,58	85	0,81
Ni (µg/l)	1	[4,00	19,00]	11,50	68	0,65
	2	[19,00	34,00]	26,50	18	0,17
Cu (µg/l)	1	[2,00	8,83]	5,42	53	0,50
	2	[8,83	15,67]	12,25	24	0,23
	3	[15,67	22,50]	19,80	15	0,14
Pb (µg/l)	1	[0,80	7,33]	4,07	59	0,56
	2	[7,33	13,87]	10,60	15	0,14
E. coli (NMP/100ml)	1	[2,00	185,00]	93,50	58	0,72
	2	[185,00	368,00]	276,50	17	0,21
ETCC (NMP/100ml)	1	[2,00	41,67]	21,83	69	0,75

Clase= Agrupaciones en intervalos

LI=Límite Inferior

LS= Límite Superior

MC= Es el punto medio de una clase  $[(LI+LS)/2]$

FA= Frecuencia Absoluta

FR=Frecuencia Relativa



## Selección de datos

A partir de la tabla de frecuencias se seleccionó el 75% de los datos en cada una de las tres campañas ejecutadas en 2014, en el Anexo III se adjuntan las tablas de resultados obtenidas.

Con la selección de datos se trabajó para las siguientes etapas de análisis descriptivo e inferencial

## Medidas resumen

El comportamiento de los datos en la primera época refleja un alto nivel de variabilidad, en este sentido la desviación estándar supera al promedio de las variables como por ejemplo en el cadmio o hierro (ver **cuadro 18**). Uno de los elementos que influye de forma directa sobre este comportamiento es la baja cantidad de datos con la que se contaba.

**Cuadro 18.** Medidas de tendencia central y dispersión para el primer muestreo. Heredia, 2016.

Época	Variable Independiente	n	Media	D.E.	Mín	Máx
I	Mn (µg/l)	27,0	223	170,35	5	690
I	Cd (µg/l)	35,0	17,9	22,4	9,0	114,0
I	Co (µg/l)	28,0	2,4	1,0	2,0	5,0
I	Fe (mg/l)	35,0	5,6	9,0	0,002	43,6
I	Cr (µg/l)	23,0	19,0	16,9	2,0	58,0
I	Ni (µg/l)	26,0	15,5	10,1	4,0	34,0
I	Cu (µg/l)	34,0	6,4	2,6	3,0	12,0
I	Pb (µg/l)	34,0	4,3	5,2	0,8	20,0
I	Sb (µg/l)	35,0	3,0	0,0	3,0	3,0
I	<i>E.coli</i> (NMP/100ml)	24,0	108,1	108,1	2,0	240,0
I	ETCC (NMP/100ml)	27,0	5,4	4,5	2,0	16,0
I	COND (µS/cm)	12,0	54,1	0,5	53,0	55,0
I	SST (mg/l)	12,0	227,4	24,2	202,7	275,5
I	TEMP (°C)	12,0	30,2	0,8	28,9	31,3
I	OD (mg/l)	12,0	8,5	1,7	5,7	11,5

\*\*n= tamaño de la muestra D.E= Desviación estándar

Para la segunda campaña de muestreo (ver **cuadro 19**) se observa un comportamiento similar en torno a la superación de la desviación estándar por sobre el promedio, siendo casos significativos de nuevo el hierro y la bacteria *E.coli*.

**Cuadro 19.** Medidas de tendencia central para el segundo muestreo. Heredia, 2016

Época	Variable Independiente	n	Media	D.E.	Mín	Máx
II	Mn (µg/l)	20	43,8	40,84	8	162
II	Cd (µg/l)	33	12,21	9,17	10	62
II	Co (µg/l)	31	2,1	0,54	2	5
II	Fe (mg/l)	33	23,25	35,45	0,002	152
II	Cr (µg/l)	33	13,76	14,43	2	61
II	Ni (µg/l)	31	12,97	7,61	6	30
II	Cu (µg/l)	29	10,55	6,76	3	22
II	Pb (µg/l)	35	14,97	8,8	0,8	30
II	Sb (µg/l)	36	3,0	0,0	3,0	3,0
II	E.coli (NMP/100ml)	26	36,34	52,49	2	240
II	ETCC (NMP/100ml)	20	19,84	9,03	2	33
II	COND (µS/cm)	12	54,42	0,67	53	55
II	SST (mg/l)	12	231,83	38,17	172,9	279,3
II	TEMP (°C)	12	29,92	1,03	28,4	31,4
II	OD (mg/l)	12	3,84	0,77	2,97	5,3

En el tercer muestreo se presentaron niveles altos de variabilidad, superando únicamente en el caso de la bacteria *E.coli* la desviación estándar al promedio.

**Cuadro 20.** Medidas de tendencia central para el tercer muestreo. Heredia, 2016

Época	Variable Independiente	n	Media	D.E.	Mín	Máx
III	Mn (µg/l)	33	128	142,17	20	702
III	Cd (µg/l)	34,0	10,0	0,0	10,0	10,0
III	Co (µg/l)	25,0	2,5	1,0	2,0	4,9
III	Fe (mg/l)	34,0	6,7	5,5	0,0	21,0
III	Cr (µg/l)	29,0	21,7	17,4	2,0	62,0
III	Ni (µg/l)	30,0	12,8	12,9	6,0	72,0
III	Cu (µg/l)	29,0	10,6	5,7	2,0	22,0
III	Pb (µg/l)	34,0	6,6	5,3	0,8	23,0
III	Sb (µg/l)	34,0	3,0	0,0	3,0	3,0

Época	Variable Independiente	n	Media	D.E.	Mín	Máx
III	E.coli (NMP/100ml)	25,0	89,6	99,5	2,0	240,0
III	ETCC (NMP/100ml)	22,0	22,7	7,1	2,0	33,0
III	COND ( $\mu$ S/cm)	12,0	55,1	1,4	53,0	58,0
III	SST (mg/l)	12,0	36,6	15,1	9,0	60,6
III	TEMP ( $^{\circ}$ C)	12,0	28,3	2,0	24,7	30,3
III	OD (mg/l)	12,0	6,5	1,1	4,3	8,0

## 7.2 Estadística Inferencial

### 7.2.1 Pruebas de normalidad

Dentro de los primeros análisis que se desarrollaron se encuentra la prueba de normalidad de Shapiro-Willks, la cual presentó que 80% de las variables independientes presentan un comportamiento con una distribución normal en los diferentes puntos de la playa (ver Anexo IV).

En relación a la hora del día en la que se tomaron las muestras el 73,33% de las variables presentó una distribución normal. Las muestras recolectadas en diferentes alturas presentaron en un 88,88% una distribución normal. Y por último un 73,18% de las variables tuvieron un comportamiento normal durante las tres campañas.

El Oxígeno Disuelto fue la única variable que presentó un comportamiento no paramétrico en todos los escenarios.

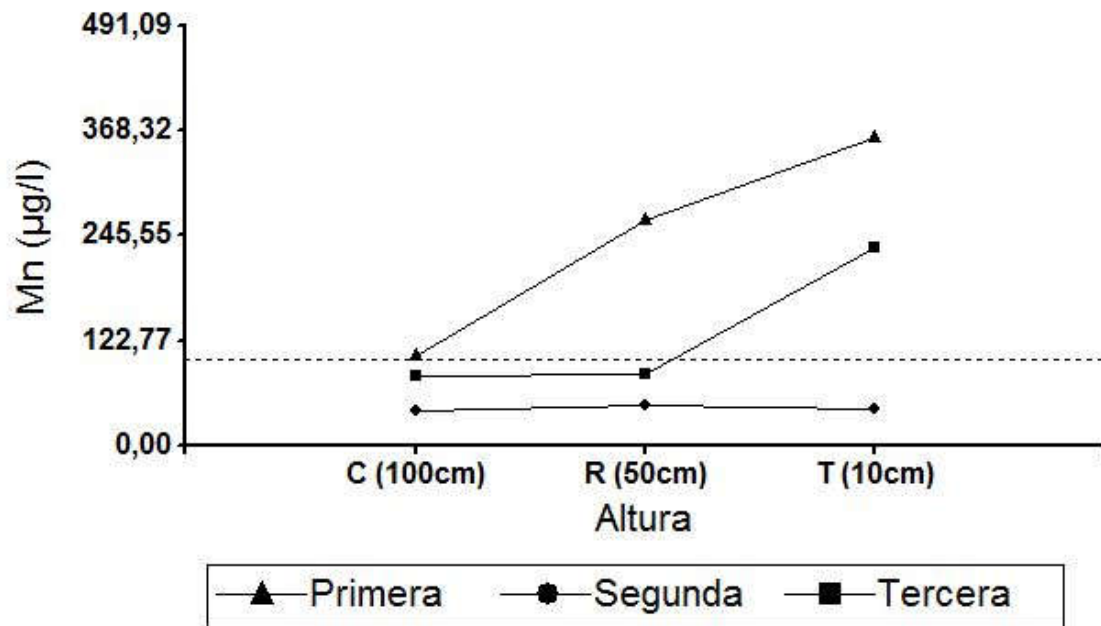
### 7.5.2 ANOVA

#### 7.5.2.1 Metales

##### *Manganeso (Mn)*

Al tomar la muestra a diferentes alturas se reflejó una tendencia a incrementar la concentración de este metal conforme disminuía en profundidad según el análisis descriptivo. Además, el estrato donde se encuentran las concentraciones más elevadas fue en T (10 cm), hallándose concentraciones promedio superiores que las señaladas por la normativa Neozelandesa. Al mismo tiempo los mayores promedios se presentaron en los sitios Z y X, no obstante las diferencias entre los promedios encontrados no son significativas entre los puntos,  $p > 0,05$ . Las desembocaduras cercanas a estos puntos puede que hayan influido sobre los resultados obtenidos (ver **figura 6**).

En otro orden de ideas, las horas en las que se presentaron las mayores concentraciones fueron las 9 y 18, sin embargo, la diferencia entre los promedios no es significativa  $p = 0,3818$ . El manganeso tuvo un comportamiento no paramétrico durante la primera campaña, en esta además se presentó la concentración promedio más alta de las tres campañas.

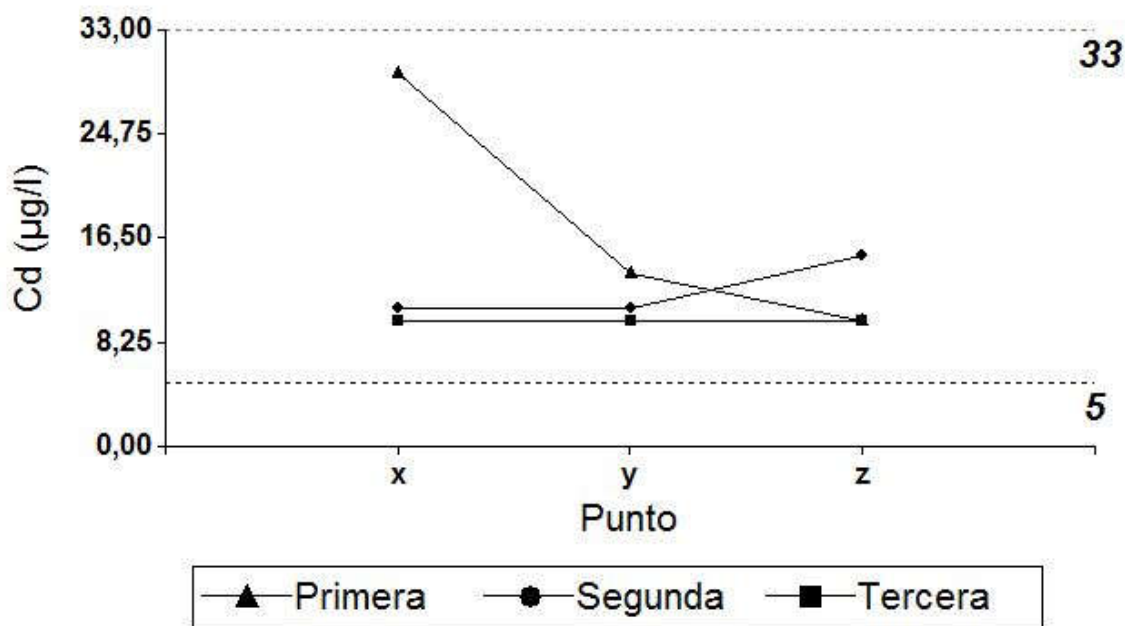


**Figura 11.** Concentraciones promedio de manganeso (Mn) para las diferentes alturas, durante las campañas de 2014. La línea punteada es el límite máximo establecido por la normativa de Nueva Zelanda y Australia (100 µg/l). Febrero, 2017.

### ***Cadmio (Cd)***

El cadmio presentó un comportamiento no paramétrico durante la tercera campaña.

En relación a la altura no presenta ninguna tendencia clara. Por otro lado con respecto a la hora, sí hay un comportamiento mayor en las horas de la mañana (5 y 9 de la mañana); sin embargo, no presenta una diferencia significativa ( $p > 0,05$ ).



**Figura 12.** Concentraciones promedio de cadmio (Cd) en diferentes puntos de playa Jacó, durante las campañas de 2014. Las líneas punteadas son los límites máximos establecidos por la normativa Chilena (33 µg/l) y Canadiense (5 µg/l). Febrero, 2017.

El sitio X en la primer campaña reportó la mayor concentración promedio de 29,5 µg/l, y una concentración máxima de 114,0 µg/l. Comparado con las normativas Chilena y Canadiense este valor sobrepasa los niveles máximos establecidos (ver **figura 12**).

A pesar de lo anterior el ANOVA no presentó diferencias significativas para la hora, punto y altura.

### **Cobalto (Co)**

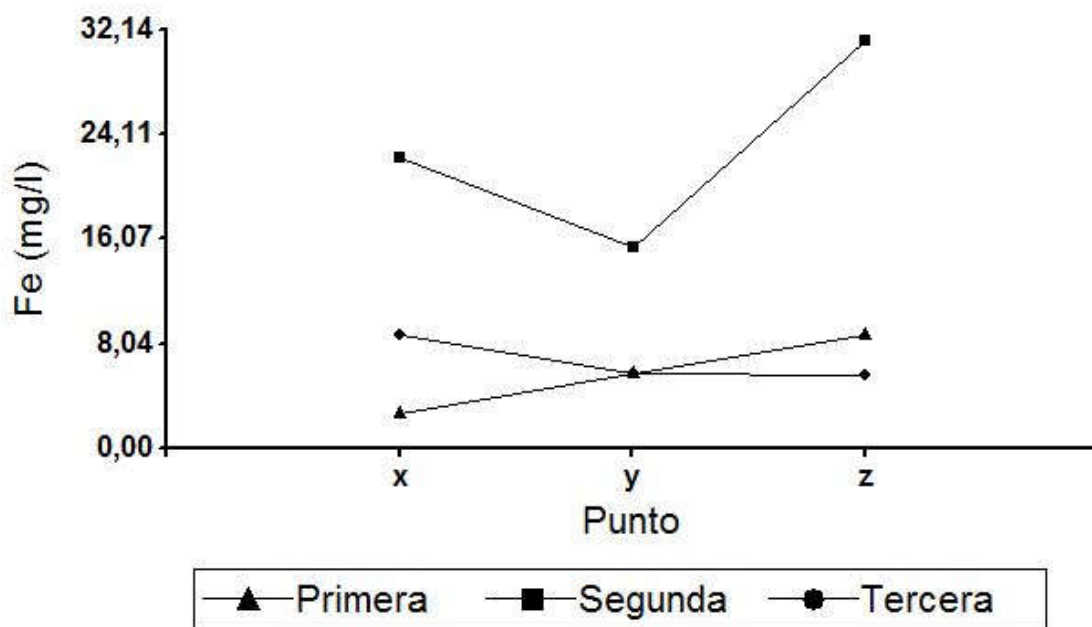
Presentó un comportamiento normal en todos los tratamientos.

El cobalto fue un metal reportado principalmente a través del nivel de detección que determina el laboratorio (1,9 µg/l), encontrando máximos que no sobrepasan los 5µg/l. El análisis descriptivo no evidenció ningún comportamiento diferente para los escenarios estudiados (altura, sitio, hora y campaña). Además el análisis de varianza confirma que según los resultados obtenidos no hay diferencias significativas para ningún escenario.

### **Hierro (Fe)**

El hierro reportó un aumento de las concentraciones hacia la altura T (10 cm); sin embargo, esta diferencia no es significativa  $p=0,4137$ . Con relación a la hora del día el hierro presentó un aumento significativo a las 13 horas durante la segunda campaña de monitoreo, sin embargo esta diferencia no fue significativa.

Asimismo, hay una diferencia significativa entre los sitios en los que fueron recolectadas las muestras ( $p < 0,05$ ). La segunda campaña contiene las mayores concentraciones de las tres épocas, principalmente en el sitio Z (ver **figura 13**). Según la prueba de Tukey, X es el punto que muestra diferencias significativas con Z y Y ( $p = 0,0045$ ). En este contexto la desembocadura ubicada cerca del punto Z, puede que sea un factor influyente en los resultados obtenidos (ver figura 19), estos comportamientos de aumento de concentraciones de metales cerca de desembocaduras también han sido reportados por otras investigaciones (Jonathan et al. 2011).



**Figura 13.** Concentraciones promedio de hierro (Fe) en los diferentes puntos de playa Jacó, durante las campañas de 2014, Febrero, 2017.

### ***Cromo (Cr)***

A la altura T (10 cm) se reportaron las mayores concentraciones promedio en las tres campañas de monitoreo, con un crecimiento constante de las concentraciones hacia este estrato (ver la **figura 14**). Esta variable tuvo un comportamiento no paramétrico a la altura de T (10 cm).

Para la primera y tercera campaña, donde se encontraron las mayores concentraciones fue en el punto X, mientras que para el segundo muestreo se dio en el punto Y con altas desviaciones estándar. El análisis de varianza determinó que sí hay diferencia significativa en relación al punto de toma de la muestra ( $p = 0,014$ ), estas diferencias están entre los puntos X y Z.

En relación a las variaciones de las concentraciones durante las horas del día se visualizó una tendencia a presentar mayores concentraciones promedio a las 5 de de la mañana en las tres campañas y disminuyendo conforme avanzaron las horas del día.

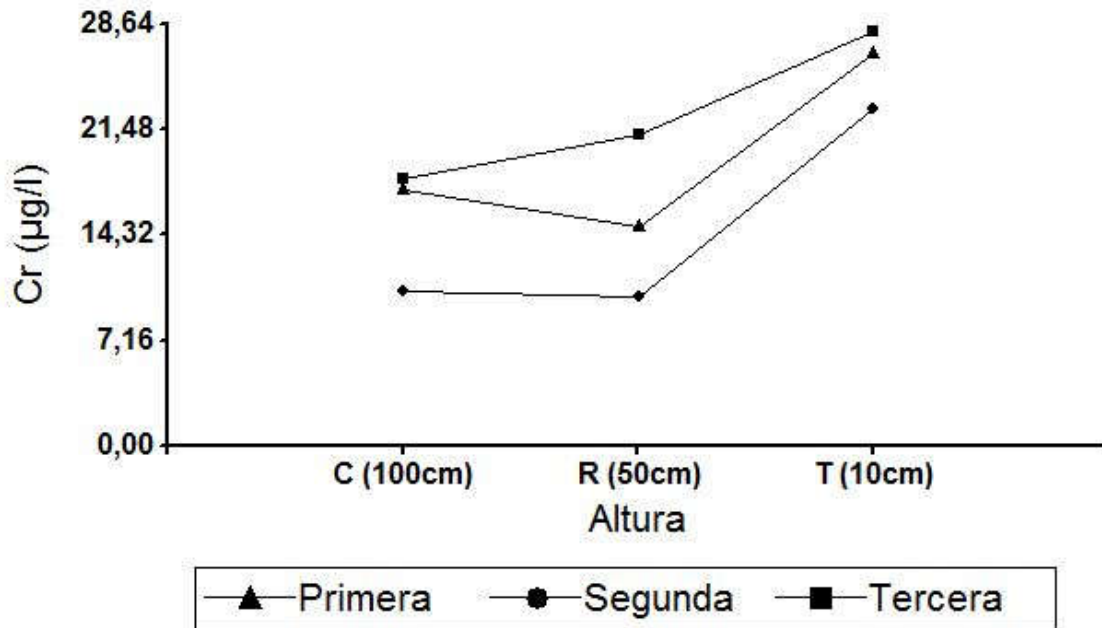


Figura 14. Concentraciones promedio de cromo (Cr) en las diferentes alturas, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.

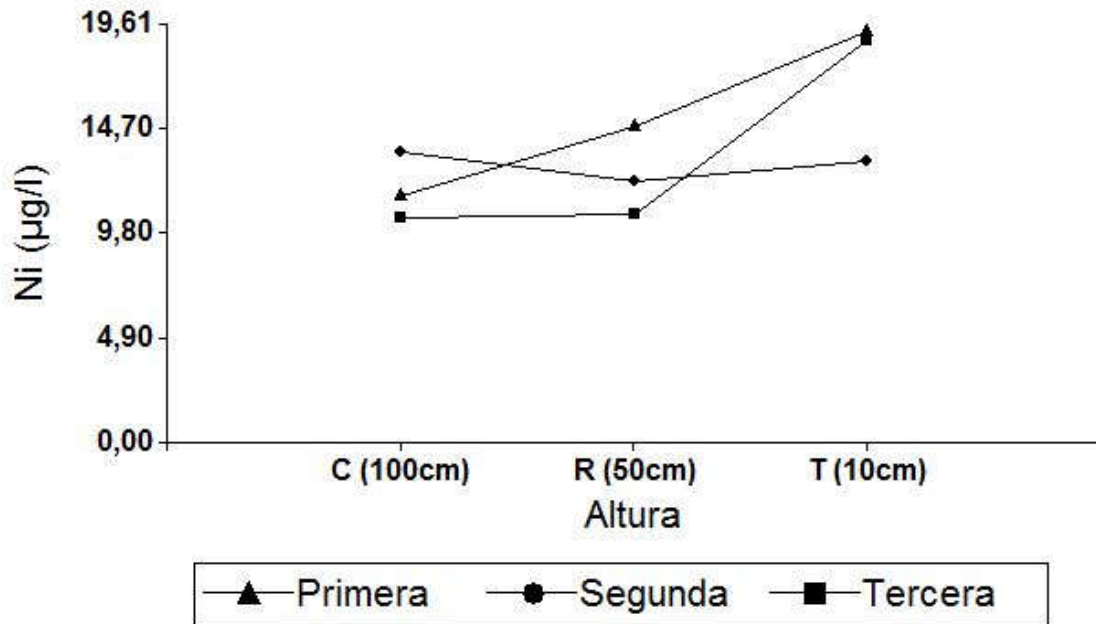
### Níquel (Ni)

Este metal presentó un comportamiento no paramétrico a las 5 horas.

Durante la primera y tercera campaña se presentaron las mayores concentraciones promedio, principalmente a la altura de T (10 cm) (ver figura 15).

Según el sitio de muestreo, para la segunda y tercera campaña las mayores concentraciones fueron encontradas en Z, mientras que para la primera fue en X; sin embargo no se presentó una diferencia significativa según el ANOVA.

Con respecto a las horas del día no se observa una tendencia clara. El análisis de varianza determinó que las concentraciones promedio no presentan diferencias significativas en ninguno de lo escenarios estudiados.



**Figura 15.** Concentraciones promedio de níquel (Ni) en las diferentes alturas, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.

### **Cobre (Cu)**

En la altura T (10 cm) se encontraron las mayores concentraciones, a lo largo de las tres campañas de monitoreo; sin embargo, las diferencias no son significativas para la altura.

El comportamiento según el sitio de muestreo en las tres campañas es muy similar. El sitio X presentó las concentraciones más elevadas, excepto en la segunda campaña (ver **figura 16**). No obstante, no se evidencia una diferencia significativa para los diferentes sitios ( $p > 0,05$ ).

Es posible visualizar una semejanza en el promedio de las concentraciones del segundo y tercer muestreo, siendo la primera campaña muy diferente a las otras dos. A pesar de lo anterior, estas diferencias no son significativas.



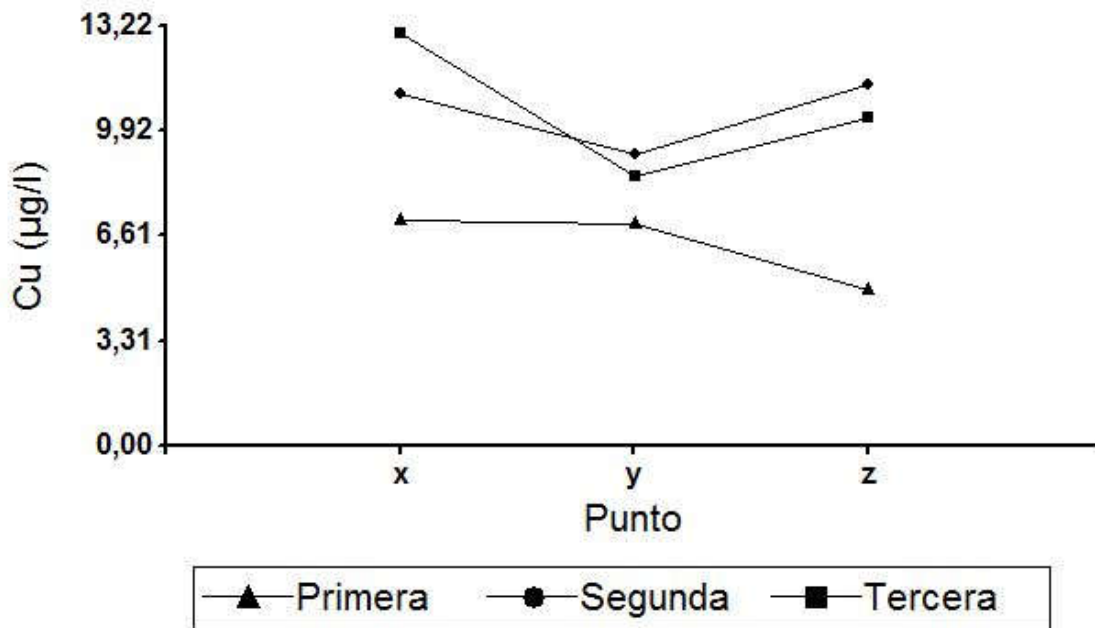


Figura 16. Concentraciones promedio de cobre (Cu) en los diferentes puntos de playa Jacó, durante las camapañas de 2014. Febrero, 2017.

### **Plomo (Pb)**

Según los estratos de altura el plomo no presenta ninguna tendencia a aumentar sus concentraciones, además no se halló diferencia significativa.

Para el sitio se puede observar una semejanza en la distribución de la media de los datos, aumentando en X y disminuyendo en Z (ver **figura 17**), principalmente en la segunda y tercera campaña. Además el análisis de varianza presenta que hay una diferencia significativa según el sitio en que se tome las muestras ( $p < 0,05$ ). La prueba de Tukey muestra que hay una diferencia significativa entre los sitio X y Z.

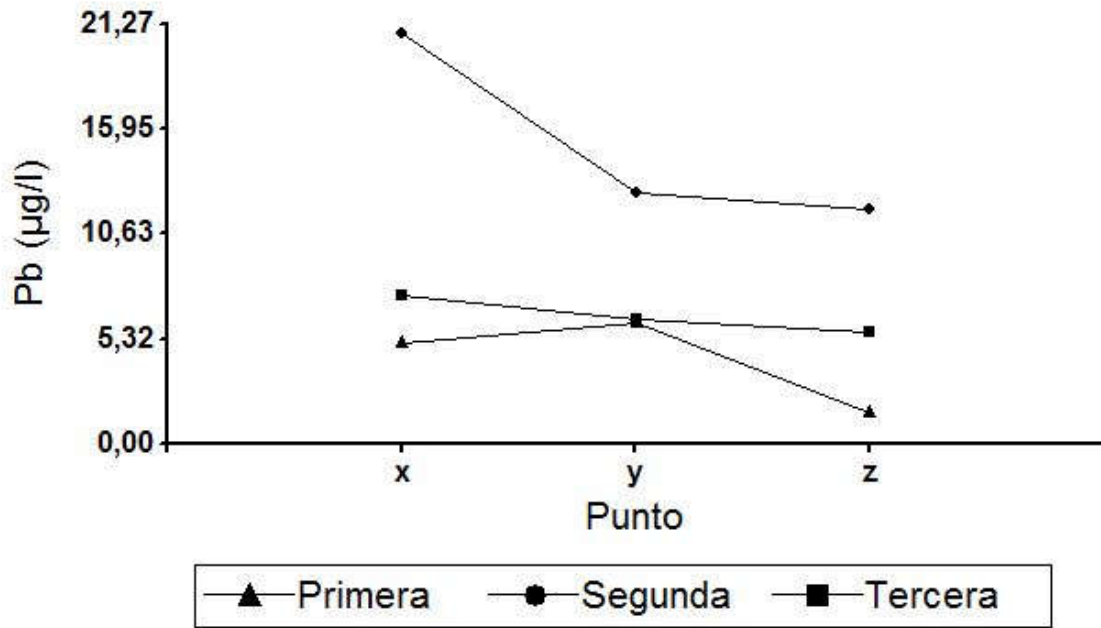


Figura 17. Concentraciones promedio de plomo (Pb) reportadas en los diferentes puntos de playa Jacó, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.

El efecto de la hora presenta una tendencia creciente conforme pasan las horas del día, en las campañas primera y tercera (ver figura 18). No obstante, el análisis de varianza demuestra que no hay una diferencia significativa entre los promedios de las mediciones por hora ( $p > 0,05$ ).

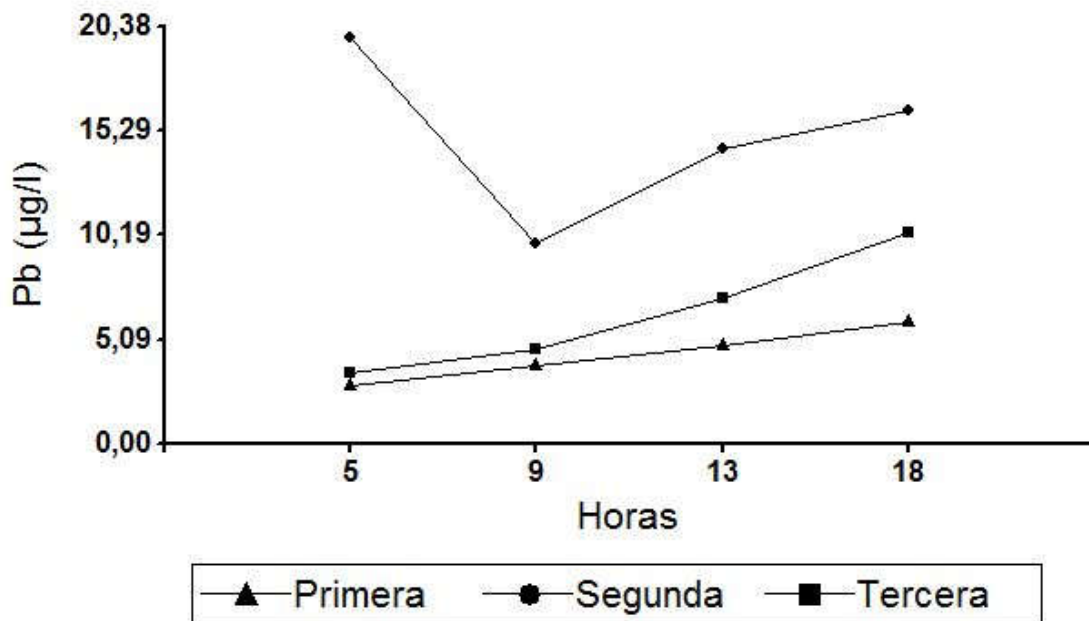


Figura 18. Concentraciones promedio de plomo (Pb) reportadas a diferentes horas del día, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.

Por otro lado sí hay una diferencia significativa entre la segunda campaña con respecto a las demás ( $p < 0,0001$ ).

### ***Antimonio (Sb)***

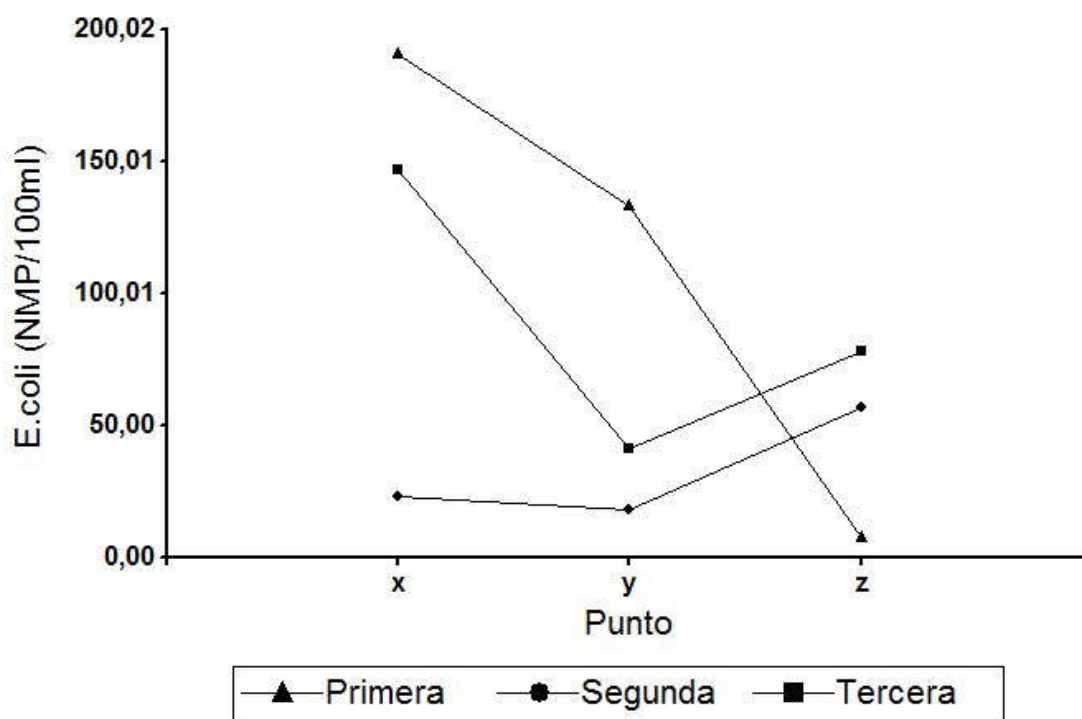
No se reportaron datos.

## **7.5.2.2 Indicadores microbiológicos**

### ***E. coli***

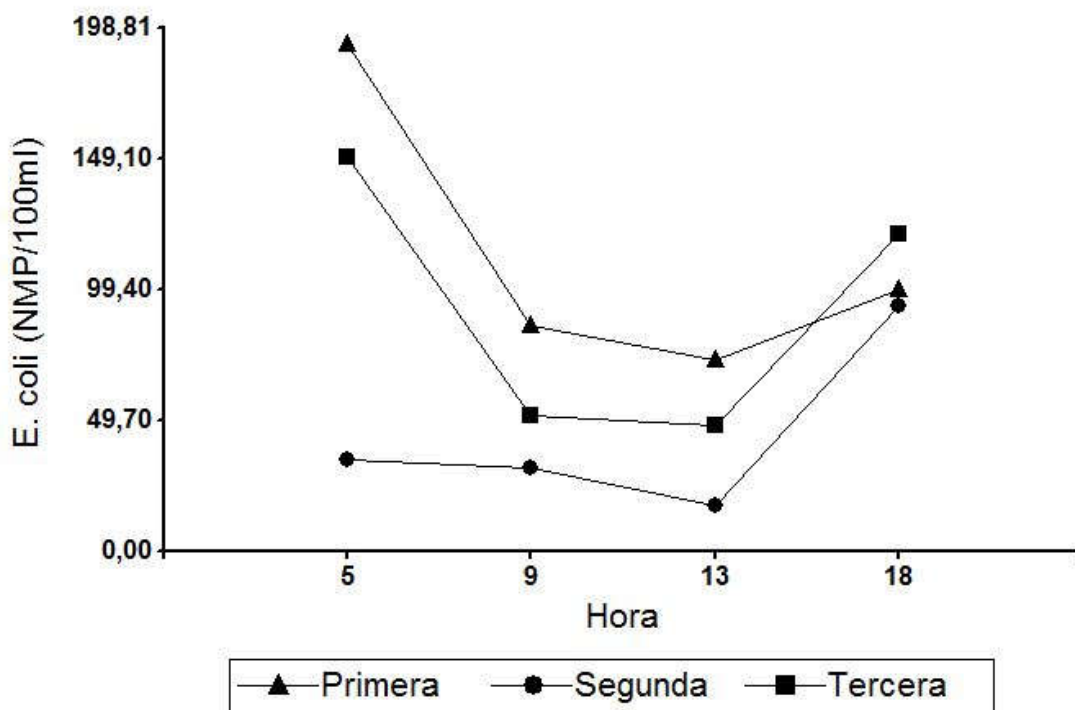
Presentó un comportamiento normal en todos los escenarios.

Esta bacteria presentó un comportamiento significativamente distinto en las diferentes alturas en las que se muestreó ( $p = 0,0435$ ). Sin embargo, a la hora de aplicar la prueba de Tukey, no se definió cuál es la altura que era significativamente distinta.



**Figura 19.** Concentraciones promedio de *E. coli* en los diferentes sitios de playa Jacó, durante las campañas de 2014, Febrero, 2017.

En relación al sitio en el que se tomó la muestra *E. coli*, el punto X presentó mayores concentraciones para la primera y tercera campaña (ver **figura 19**), uno de los elementos que pudo haber influido sobre este resultado es la cercanía a una desembocadura (**figura 6**). No obstante la diferencia entre los promedios encontrados no es significativa para los sitios de muestreo ( $p > 0,05$ ).



**Figura 20.** Concentraciones promedio de *E. coli* a las diferentes horas del día, durante las campañas de 2014. Febrero, 2017.

*E. coli* presentó un comportamiento igual en las tres campañas durante las horas del día, siendo en la mañana y la tarde, 5 y 18 horas respectivamente, donde se reportaron las concentraciones máximas y promedios más elevados. Además se presentó una tendencia a disminuir hacia las 13 horas y elevarse a las 18 (ver **figura 20**). El análisis de la varianza de los promedios no presentó una diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en las diferentes horas del día. En otros estudios se ha analizado el comportamiento de las bacterias tanto *E. coli* como el grupo enterococos durante el día y la noche, y se han encontrado diferencias significativas entre los promedios hallados (Ekklesia et al. 2015; Enns et al. 2012).

**Cuadro 21.** Análisis de Varianza para las Variables independientes de los indicadores microbiológicos según cada variable dependiente. Febrero, 2016.

Variable independiente	Variable dependiente	$p$	Condición
<b><i>E. coli</i></b>	época	0,7658	Rechaza
	Punto	0,1417	Rechaza
	Hora	0,6724	Rechaza
	Altura	0,0435	No rechaza
<b>ETCC</b>	época	<.0001	No rechaza
	Punto	0,0975	Rechaza
	Hora	0,1285	Rechaza
	Altura	0,2578	Rechaza

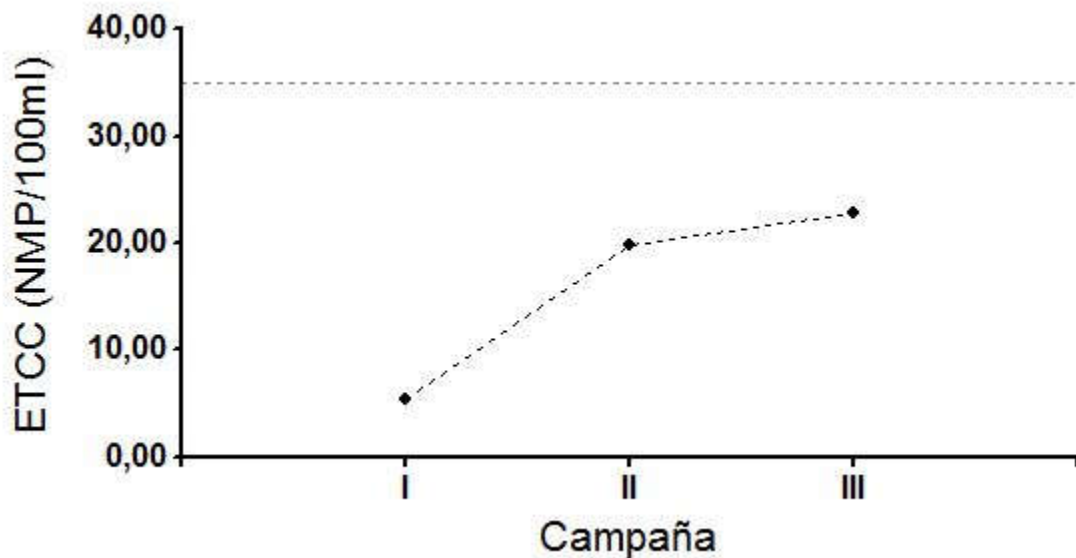
Por otra parte, durante la primera campaña se encontró el promedio más alto, pero la diferencia entre los muestreos no es significativa,  $p=0,7658$ .

### ***Enterococos (ETCC)***

Según el análisis descriptivo e inferencial, los enterococos no presentan ninguna tendencia según la altura, el sitio o la hora. La concentración máxima que se encontró para esta bacteria fue de 33 NMP/100ml.

En relación a la época, para la segunda y tercer campaña se visualiza un aumento significativo de concentraciones comparado con la primera, el análisis de varianza demuestra que por campaña sí se presenta una diferencia significativa ( $p < 0,0001$ ). La diferencia es con respecto a la campaña I.

Por otro lado, es importante recalcar que la legislación Canadiense establece como límite máximo permisible  $\leq 35$  NMP/100ml y el estudio presenta concentraciones un poco inferiores al límite (ver **figura 21**). Cabe mencionar que si hubieron muestras que sobrepasaron este valor, solo que se excluyeron para obtener la normalidad de los datos (figura 22 y 23). Los enterococos son indicadores por su afectación a la salud de las personas, si hay ingesta de agua contaminada.



**Figura 21.** Concentraciones promedio de Enterococos NMP/100ml en las 3 diferentes campañas, con línea de corte en 35 NMP/100 ml según límite máximo establecido en la legislación canadiense. 2016.

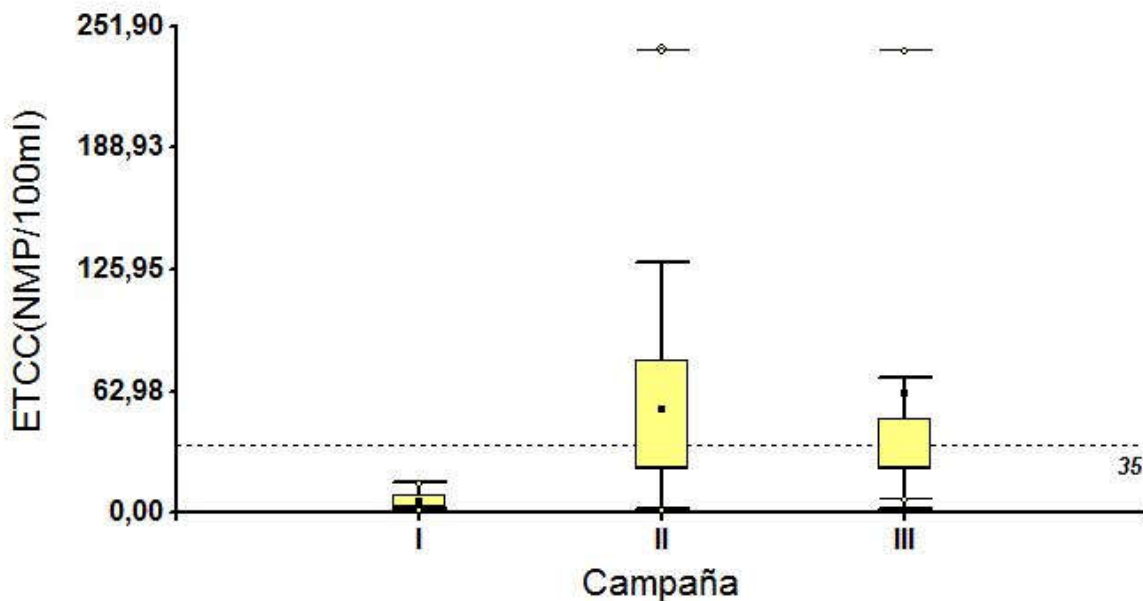


Figura 22. Diagrama Box-plot del Comportamiento del grupo Enterococos en las tres campañas de 2014, construido con el 100% de los datos obtenidos. Febrero, 2017.

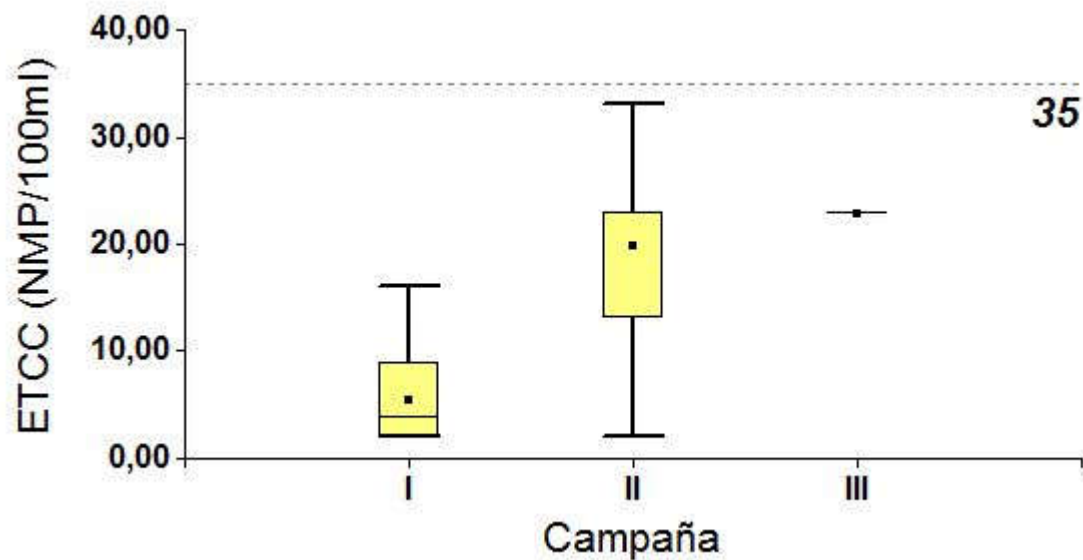
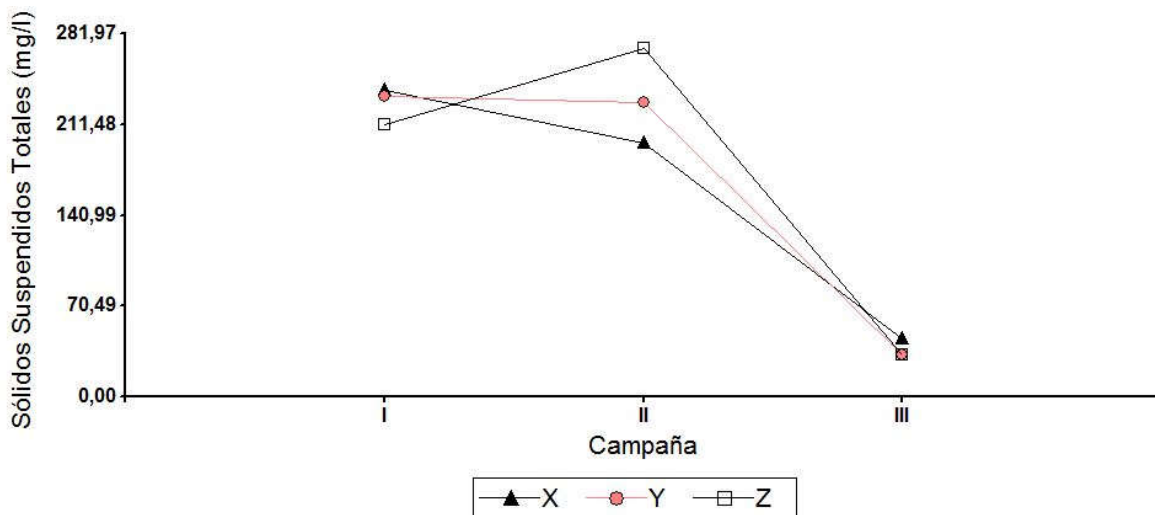


Figura 23. Diagrama Box-plot del comportamiento del grupo Enterococos en las tres campañas de 2014, construido con el 75% de los datos. Febrero, 2017.

### 7.5.2.3 Parámetros Físico-Químicos

#### **Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Esta variable tuvo un comportamiento no paramétrico durante la primer y tercer campaña. Para la primera y tercera campaña se obtuvieron las mayores concentraciones de SST en el punto X, disminuyendo hacia el punto Z, mientras que para la segunda campaña las concentraciones más altas se detectaron en el punto Z, la concentración promedio más elevada se encontró durante la segunda campaña (ver **figura 22**).



**Figura 22.** Concentraciones promedio de SST en diferentes sitios de playa Jacó, durante las tres campañas de monitoreo. Febrero, 2017.

#### **Temperatura (Temp)**

La temperatura se mantuvo en un rango entre 24,7°C y 31,3°C. En la primera campaña las concentraciones fueron mayores que en las demás, Costa Rica tiene dos estaciones muy marcadas (seca y lluviosa) y esa campaña se realizó en época seca (ver **cuadro 22**).

**Cuadro 22.** Datos resumen de temperaturas según las tres campañas de monitoreo. Septiembre, 2016.

Época	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
I	TEMP	12	30,19	0,8	28,9	31,3
II	TEMP	12	29,92	1,03	28,4	31,4
III	TEMP	12	28,28	1,99	24,7	30,3

La temperatura tuvo un comportamiento no paramétrico en el punto Y, a las 9, 13 y 18 horas y en la tercera campaña.

Es posible observar que el punto Y se encontraba cerca de dos desfuegos los cuales pudieron influir sobre la temperatura del agua en esa zona, sin embargo para el presente estudio no se puede concluir dicha influencia.

### ***Oxígeno Disuelto (OD)***

Esta variable a través de las tres campañas no presenta grandes variaciones; durante la primera campaña se encontró la concentración media más alta (ver **cuadro 23**). Mientras que para la segunda campaña se presentaron concentraciones inferiores con una media de 3,84 mg/l.

Esta variable tuvo un comportamiento no paramétrico en todos los escenarios estudiados.

**Cuadro 23.** Datos resumen de concentraciones de oxígeno disuelto según las tres campañas de monitoreo. Septiembre, 2016.

Época	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
I	OD	12	8,47	1,7	5,7	11,5
II	OD	12	3,84	0,77	2,97	5,3
III	OD	12	6,48	1,08	4,29	8,01

### ***Conductividad***

La conductividad presentó un comportamiento similar para todas las épocas y no reflejó diferencias significativas para ninguno de los efectos simples, por lo que no se aplicó la prueba de Tukey.

**Cuadro 24.** Datos resumen de concentraciones de conductividad según las tres campañas de monitoreo. Septiembre, 2016.

Época	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
I	COND	12	54,08	0,51	53	55
II	COND	12	54,42	0,67	53	55
III	COND	12	55,08	1,38	53	58



## 8. Discusión

### 8.1 Influencia de la época

Durante las diferentes épocas el comportamiento de las variables difiere ampliamente, en este sentido la segunda campaña de muestreo presentó las concentraciones más elevadas para los metales hierro, cobre y plomo. La mayoría de los metales presentaron un comportamiento paramétrico, siendo únicamente el manganeso y el cadmio variables no paramétricas, en la primera y tercer campaña respectivamente

En otro orden de ideas el comportamiento microbiológico varió según el grupo analizado, *E. coli* no presentó diferencias significativas entre las campañas, sin embargo en la primera si reflejó un aumento de las concentraciones. Por el contrario el grupo Enterococos si presentó una diferencia significativa según la época, siendo la primer campaña distinta a las demás.

El grupo Enterococos fue encontrado en concentraciones que superan en más del doble las concentraciones establecidas por la normativa Canadiense, sin embargo estos datos no son apreciables debido al tratamiento que recibieron los datos. La selección de datos ayudó a estabilizar los niveles de variabilidad, sin embargo dicho tratamiento afectó los promedios (ver **figuras 22 y 23**) in-visibilizando las concentraciones que excedían los límites de otras legislaciones.

La época no influyó de forma significativa sobre las variables físico-químicas, únicamente los Sólidos Suspendidos Totales reflejaron una clara disminución en la tercera campaña, esto es posible que tenga una influencia debido a la influencia de las lluvias y el aporte de un mayor caudal que diluya las concentraciones y los aportes de las cuencas, sin embargo es necesario desarrollar más estudios para poder determinar con mayor claridad este comportamiento.

### 8.2. Influencia de la altura

Según los resultados obtenidos algunos metales tienden a aumentar a nivel de T (10cm) principalmente manganeso (Mn), hierro (Fe), cromo (Cr), níquel (Ni) y Cobre (Cu). Otros como el cadmio (Cd) y el Plomo (Pb) no presentaron ninguna tendencia. Todos los metales con excepción del antimonio presentan un comportamiento paramétrico. Sin embargo, la altura no representa ninguna diferencia significativa para estos.

De la misma manera las variables microbiológicas, tienen un comportamiento con distribución normal. Para los grupos de bacterias analizados, solo en *E. coli* si hay una diferencia significativa según la altura en que se tomó la muestra, sin embargo la prueba de Tukey no demostró qué altura era significativamente diferente. Por lo tanto para las variables microbiológicas la altura en que se toma la muestra no se determina una altura específica según las pruebas estadísticas.

Para las variables físico-Químicas no se realizó la toma de muestra a las diferentes alturas, se realizó a nivel de C (50 cm).

### **8.3 Influencia del punto**

La ubicación de los puntos de muestreo se hizo a partir de una selección al azar de una serie de punto de un estudio anterior, con esto se buscó la eliminación del sesgo a la hora de la selección de los sitios, manteniendo diferencias de distancia cuantificables, en este caso 500, 1000 y 1500 metros de distanciamiento, en X-Y, Y-Z y X-Z, respectivamente.

Se logra evidencia a partir de las diferentes variables analizadas que la presencia de una desembocadura cercana al punto X y dos desembocaduras cercanas al punto Y, influyeron en el aumento de las concentraciones de seis de los nueve metales analizados (manganeso, hierro, cromo, níquel, cobre y plomo), y en dos de estos (hierro y cromo) hubo una diferencia significativa con respecto al punto X.

El grupo Enterococos no reflejó una tendencia o una influencia dependiendo del sitio donde fueron analizados. Por otro lado las bacterias *E. coli* sí presentaron una tendencia a encontrarse en mayores concentración en el punto X, donde se ubicaba una desembocadura. A pesar de que no se presentó una diferencia significativa, es importante evaluar el comportamiento cercano a estos sitios para futuros.

El comportamiento de las variables físico-químicas tuvieron un comportamiento similar con relación al punto, y presentando comportamientos no paramétricos en al menos un punto. No se concluye ninguna tendencia clara.

### **8.4 Influencia de la hora del día**

La toma de muestra en diferentes momentos del día presentó una tendencia en 4 de los nueve metales analizados (cadmio, cromo, plomo, manganeso). Se reportaron altas concentraciones para cadmio, cromo y plomo a las 5 a.m; el manganeso tendió a disminuir conforme pasaban las horas del día. A pesar de lo anterior ningún metal presentó una diferencia significativa a las diferentes horas.

Por otro lado el grupo *E.coli* presentó una clara tendencia a disminuir conforme pasaban las horas del día, sin embargo la diferencia entre los promedios no es significativa. En este sentido uno de los elementos que puede influir en la significancia de los resultados es la cantidad de repeticiones de la toma de muestras.

Los parámetros físico-químicos no presentaron diferencias significativas o tendencias a través de las diferentes horas.

## **9. Conclusiones**

Una de las principales limitantes del estudio fue la cantidad de muestras recolectadas, (n=108) en su totalidad, ninguna variable tuvo la cantidad completa de muestras. Es necesario desarrollar repeticiones constantes o con mayores frecuencias, tomando en cuenta aspectos como transporte y almacenamiento, para poder ejecutar un análisis más robusto con mayor cantidad de datos.

Los resultados obtenidos reflejan que existen niveles de contaminación de ciertos metales que se encuentran por encima de los valores máximos permisibles por diversas normativas internacionales. Además, los valores de indicadores microbiológicos también fueron superados.

Algunos metales, monitoreados en estudios anteriores y este, se reportaron con el límite de detección brindado por el laboratorio; como el cobalto, además hubo metales no reportados como el antimonio, el cual se recomienda no monitorearlo dado que no es un metal que sea señalado en normativas internacionales.

El cromo, níquel, cobre y presentaron tendencias y concentraciones promedio máximas a la altura T (10m).

Los puntos en los que se tomaron las muestras, que presentaron una tendencia a aumentar, fueron X y Z, los dos están cercanos a la desembocadura de cuerpos de agua. Sería importante desarrollar campañas de monitoreo de estos cuerpos de agua en ciertos sitios, ejecutar una modelación de la contaminación hacia adentro del continente y sobre el área marina, con variables como hierro, sólidos suspendidos totales, manganeso, plomo y *E. coli*; además de poder desarrollar análisis estadísticos en la correlación de la presencia de cuerpos de agua e indicadores como los antes mencionados.

Un elemento a ser valorado para los monitoreos es que la distancia mínima entre cada punto sea de 500 metros. Además se deben evaluar las condiciones de la playa como por ejemplo la presencia de desembocaduras, analizando las actividades cercanas y revisando el cumplimiento de la reglamentación vigente.

Los resultados microbiológicos encontrados superaron en diferentes ocasiones algunos límites establecidos en normativas internacionales o los sugeridos por la OMS, estos picos de concentraciones pueden perjudicar directamente a los bañistas con infecciones gastrointestinales o en los oídos. Por otro lado los metales presentan efectos acumulativos en especies de fauna marina que puede afectar la salud de quienes consumen su carne y no por contacto con el agua.

## **10. Recomendaciones**

Se recomienda incluir los metales (Cd, Fe y Cr) y los grupos bacteriológicos analizados dentro de la normativa a desarrollar en Costa Rica, ya que fueron encontrados durante las tres campañas, son evaluados por otras normativas y representan un riesgo para la salud humana. Es recomendable utilizar de apoyo la normativa Chilena y de Nueva Zelanda y Australia, dado que a partir de estas se logró visualizar la presencia de dichos metales en concentraciones cercanas a los límites establecidos.

En este estudio se analizaron algunos metales que no superaron el límite de detección así como otros que no hubo datos reportados como el antimonio, estos pueden ser reemplazados en siguientes estudios por otros como el mercurio, plaguicidas e hidrocarburos, dado que todos son

peligrosos para la salud humana y hay presencia de actividades que los generan en la mayoría de las cuencas hidrográficas que drenan a diversas playas recreativas del país.

En relación a *E.coli* se recomienda tomar las muestras entre las 5 y las 10 horas, o entre las 15 y las 18 horas, para brindar anuncios sobre su calidad antes de las horas pico de visitación, así como la obtención de resultados cuando hay mayor proliferación de bacterias. Por otro lado, es importante desarrollar análisis para los grupos microbiológicos durante todo el año, ya que la época se presentó como un efecto significativo.

Cuando los datos reportados, relativos a un muestreo, presenten valores extremadamente mayores o menores al conjunto de datos se debe realizar una repetición del muestreo. Se recomienda aplicar criterios a partir de porcentajes establecidos como en la normativa mexicana, europea y chilena. Para las bacterias *E. coli* se recomienda establecer un límite máximo que no sea superior a 200 NMP/100ml; y para el grupo enterococos no superior a 70 NMP/100ml, con una única muestra.

Es importante cambiar la metodología de monitoreo de los grupos bacteriológicos. Ha sido ampliamente reconocido por instituciones internacionales, así como normativas de otros países la necesidad de contar con técnicas más rápidas. Los métodos tradicionales tardan una cantidad de tiempo que no permite tomar decisiones precisas y en un tiempo de prevención óptimos, cuando se presentan altas concentraciones de bacterias en una playa determinada (Bushon et al. 2008). Se recomienda realizar estudios que analicen las muestras mediante el método de filtración de membrana o la reacción en cadena de polimerasa (PCR por sus siglas en inglés).

## **Bibliografía**

Aranda, N. 2004 Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical. Universidad de Barcelona, departamento de ecología.

Acuña J, Vargas J, Gómez E, García J. 2004. Hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 52 (Suppl. 2): 43-50 p

Alvarado, JJ; Aguilar, JF. 2009. Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. Citado por Mann, K.H. & J.R.N. Lazier. 1996. Dynamics of Marine Ecosystems: Biological-Physical Interactions in the Oceans. Blackwell Science, Oxford, Inglaterra.

Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC); Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMACANZ). 2000. Australian and New Zealand Guideline for Fresh and Marine Water Quality.

ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades). 2000. Resumen de Salud Pública Manganese. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos.

ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades). 2004. Resumen de Salud Pública Cobalto. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos.

ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades). 2004. Resumen de Salud Pública Níquel. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos.

ATSDR (Agencia para sustancias Toxicas y Registro de Enfermedades). 2005. Resumen de Salud Pública Cobre. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos

Bermúdez, F; Campos, A; Lépiz, L. 2013. Propuesta metodológica para el monitoreo de calidad de agua de mar en zonas costeras recreativas de Costa Rica. Práctica Profesional Supervisada. Heredia, CR. Universidad Nacional. 118 p

Bravo, F; Piedra, G; Piedra, L. 2012. Evaluación Físico-Química de los sedimentos en el Estero Tamarindo y sus tributarios, Guanacaste, Costa Rica. Universidad Nacional. UNICIENCIA. 41-50 p

Borbolla, M; De la Cruz, L; Piña, O; De la Fuente, J; Garrido, S. 2003. Calidad de agua en Tabasco. Salud en Tabasco. Secretaría de Salud del Estado de Tabasco. Villahermosa, México 9 (001)

Bushon, RN; Brady, AM; Likirdopulos, CA; Cireddu, JV. 2009. Rapid detection of Escherichia coli and enterococci in recreational water using an immunomagnetic separation/adenosine triphosphate technique. Journal of Applied Microbiology. 106: 432-441 p.

CGR (Contraloría General de la República, CR). 2013. Informe acerca de la eficacia del Estado para garantizar la calidad de agua en sus diferentes usos.

Cabelli, VJ; Dufour, AP; McCabe, LJ; Levin, MA. 1983. A marine recreational water quality criterion consistent with indicator concepts and risk analysis. Water Pollution Control Federation. 55(10). 1306-1314 p

Cantaro, M. 2008. El director del Programa Bandera Azul Ecológica afirmó que playa Jacó reporta contaminación desde hace 20 años, pero nadie ejecuta acciones. La Nación. San José, CR, ago. 10:8A

Carvajal, E. 2009. Agua es buena para nadar. Al Día. San José, CR, mar. 29:7p

Castro, P; Huber, M. 2007. Biología Marina. Trad. J Benito; JB Jesús; C Roldán. 6 ed. McGraw-Hill. 230, 231, 232 p

Cicerone, D; Sánchez-Proañó, P; Reich, S. 2007. Contaminación y medio ambiente. 1ª ed. Buenos Aires: Eudeba. Editorial Universitaria de Buenos Aires. 80-90 p.

Cofepris (Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios). 2013. Lineamientos para Determinar la Calidad De Agua de Mar para Uso Recreativo con Contacto Primario. México. Secretaría de salud. 13 p

Comisión de Evidencia y Manejo de Riesgos 2013. Lineamientos para determinar la calidad de agua de mar para uso recreativo con contacto primario. Programa: Agua. Proyecto: Agua de Contacto México 2013.

Cotoruelo, L; Marqués, M. s.f. Eliminación de nutrientes en aguas residuales. Consultado en abril 2014; disponible en: <http://www.inese.es/html/files/pdf/amb/iq/363/08articulo.pdf>

publishers, Chelsea, Michigan.

Decreto n° 31176-MINAE, 2003. Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertidos (derogado). Diario Oficial La Gaceta. Costa Rica. 22 abr.

Decreto n°33903 MINAE-S, 2007.Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficial. Diario Oficial la Gaceta. Costa Rica. 17 sep.

Decreto n°33601-MINAE-S, 2007. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Diario Oficial La Gaceta. Costa Rica. 19 mar.

De la Lanza, G; Hernández, S; Carbajal, JL. 2011. Organismos indicadores de la calidad de agua y de la contaminación (bioindicadores). (en línea). Plaza y Valdés, S.A. Consultado 20 abr. 2015. Disponible en: <http://site.ebrary.com/>

Díaz-Andrade, JM. 1980. Los litorales de Costa Rica. Geográfica de América Central no. 13-14: 191-194 p

Directiva 2006/7/Ce Del Parlamento Europeo Y Del Consejo. 2006. relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE. Diario Oficial de la Unión Europea

Ekklesia, E; Shanahan, P; Chua, LHC; Eikaas, HS. 2015. Temporal variation of faecal indicator bacteria in tropical urban storm drains. *Water Research*. 68: 171-181 p

Enns, A; Vogel, L; Abdelzaher, A; Solo-Gabriele, H; Plano, L; Gidley, M; Phillips, M; Klaus, J; Piggot, A; Feng, Z; Reniers, Ad; Haus, B; Elmir, Z; Zhang, Y; Jimenez, N; Abdel-Mottaleb, N; Schoor, M; Brown, A; Khan, S; Dameron, A; Salazar, N; Fleming, L. 2012. Spatial and temporal variation in indicator microbe sampling is influential in beach management decisions. *Water Research*. 46: 2237-2246 p

EPA (Environmental Protection Agency). 2015. Introducción a la Ley de Agua Limpia. (en línea). Consultado el 11 de junio de 2015. Disponible en: <http://cfpub.epa.gov/watertrain/index.cfm>

Escobar, J. 2007. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. Recursos naturales e infraestructura. Santiago, CH. Serie 50. 68 p

Fatoki, O; Mathabatha, S. 2001. An assessment of heavy metal pollution in the East London and Port Elizabeth harbours. *Waster SA* 27(2).

Flores F. Agraz C. Benitez D. S.F. Ecosistemas acuáticos costeros: Importancia, retos y prioridades para su conservación. Consultado en mayo 2015, disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/533/ecosistemas2.pdf>

Folleto Informativo 3.1.1.0 Oxígeno Disuelto (OD). Gobierno de Canadá. Consultado el 03 de abril del 2015 disponible en: [:www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/.../3110sp.pdf](http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/.../3110sp.pdf)

González, C. 2013. Situación de las áreas Marino-Costeras de Costa Rica. *Revista Ambientico*. No.230-231. 27-31 p

Herrera, M. 2007. Playa Jacó en peligro de ser insalubre dentro de 5 años. *La Nación*. San José, CR, dic. 10.



Herrera, J; Rodríguez, S; Rojas, JF; Herrera, E; Chaves, M. 2013. Variación temporal y espacial de la calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Virilla (Costa Rica) entre 2006 y 2010. *Revista Ambientales*. No 45. 51-62 p

Horowitz A. 1991. *A primer on sediment-trace element chemistry*. 2 ed, Lewis

Jonathan, MP; Roy, PD; Thangadurai, N; Srinivasalu, S; Rodríguez-Espinosa, PF; Sarkar, SK; Laksumanan, C; Navarrete-López, M; Muñoz-Sevilla, NP. Metal concentrations in water and sediments from tourist beaches of Acapulco, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. 62: 845-850 p.

INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2009. *Metales Pesados*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.

Jaramillo, F; Rincón, AR; Rico, R. 2009. *Toxicología Ambiental*. (en línea). Consultado el 20 de mayo de 2015. Disponible en: <http://site.ebrary.com/lib/unacrsp/detail.action?docID=10889809&p00=toxicologia+ambiental>

Ley de la Zona Marítimo Terrestre n° 6043. *Diario Oficial La Gaceta*. Costa Rica. 16 mar. 1997.

Ley Orgánica del Ambiente n° 7554. *Diario Oficial La Gaceta*. Costa Rica. 13 nov.1995.

Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados n°2726. *Diario Oficial La Gaceta*. Costa Rica. 18 may. 2004.

Leyton, H; Parra, A. 2007. *Proposición de un plan de gestión ambiental para minimizar el proceso de eutrofización en la cuenca de la laguna de acúleo, región metropolitana Chile*. Universidad de Santiago de Chile.

Lizano, O; Alfaro, E; Salazar, A. 2012. Un método para evaluar el enriquecimiento de metales en sedimentos marinos en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 60(Supl.) 197-211

Mansilha, C; Coelho, C; Heitor, A; Amado, J; Martins, J. 2009. Bathing waters: New directive, new standards, new quality approach. *Marine Pollution Bulletin*. 58. 1562-1565

Martín Q; Cabero M; de Paz Y. 2007. Tratamiento estadístico de datos con SPSS. Editorial Paraninfo. España. 169

Méndez, R. 2004. Desarrollo y Validación de una prueba de fácil aplicación para determinación de Enterococos en Agua de Consumo Humano. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas Y Farmacia. Guatemala (en línea). Consultado el 30 de octubre del 2013, disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06\\_2252.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2252.pdf)

MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía), 2015. Áreas de acción. Agenda Azul. Políticas Azules y Viceministerio de Agua y Mares. Consultado en octubre 2016, disponible en: <http://www.minae.go.cr>

Minister of Health (Canada). 2012. Guidelines for Canadian Recreational Water Quality. Third Edition. Ottawa, Ontario.

Miravet, ME; Lugoioy, M; Loza, S; Enríquez, D; Delgado Y; Carmenate, M; Pérez, DM. 2009. Procedimiento para el monitoreo de la calidad ambiental en la zona marino costera a partir de microorganismos. La Habana, CU

Miescier, J; Cabelli, V. 1982. Enterococci and other microbial indicators in Municipal wastewater effluents. *Water Pollution Control Federation*. 54(12). 1599-1606

Mora, D. 2007. Calidad sanitaria de las aguas de playa en Costa Rica. Primera edición. San José, CR. Campo Directo.

Mora, D. S.f. Criterios microbiológico para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos. Revista Costarricense de Salud Pública. 26-33

Mora, D. 2009. Calidad sanitaria de las aguas de playa Jacó. Costa Rica 1986-2008. Revista costarricense de salud pública 2009; 18: 5-9.

Mora, D; Chavez, A; Felipe, C. 2012. Calidad Sanitaria de las Aguas de Playa en Costa Rica período 1996-2011. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Laboratorio Nacional de Aguas.

Morales-Rojas, A; Víquez, R; Rodríguez, K; Vargas, M. 2001. Marea roja por *Lingulodinium polyedrum* (Perdiniales, Dinophyceae) en Bahía Culebra, Golfo de Papagayo, Costa Rica. Revista de Biología Tropical. 49 (Supl). 19-23

Nuzzi, R; Burhans, R. 1997. The use of enterococcus and coliforms in characterizing bathing-beach waters. Journal of Environmental Health 60:16-22.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 1998. Guías para ambientes seguros en aguas recreativas. Volumen 1. Aguas costeras y aguas dulces. Versión preliminar para consulta. Ginebra 27.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2003. Guidelines for Safe Recreational Water Environments. Volume 1: Coastal and fresh waters.

Ortiz, B 2000. Desarrollo de una metodología sencilla para establecer la presencia de coliformes en agua de consumo humano y su correlación con el método de fermentación de Tubos Múltiples (NMP). Tesis Químico Biólogo. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia).

Palomino de Dios, A; Cabrera, M; Martinez, E; Sanchez, JA. 2012. Environmental quality of Sitges (Catalonia, NE Spain) beaches during the bathing season. Ocean & Coastal Management vol. 55 128-134.

Paniagua, LC. 2010. Impacto de los Índices de Fragilidad Ambiental (IFA) en las opciones de desarrollo de la Ciudad de Jacó y su Plan Regulador. Tesis Mag. Sc. Heredia, CR, Universidad Nacional.

Porras, M. 2009. El riesgo de la contaminación fecal en Jacó y su gestión. Tesis Lic. Soc. Heredia, CR, Universidad Nacional.

Programa Estado de la Nación, 2012. Decimoctavo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Programa Estado de la Nación.

Programa Estado de la Nación, 2013. Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Programa Estado de la Nación.

Quintero, LA; Agudelo, E; Quintana, YA; Cardona, S; Osorio, A. 2010. Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. Revista Gestión y Ambiente 13(8):51-64.

Ronzano E; Dapena J. S.F. Eliminación de fósforo en las aguas residuales. (en línea) Consultado en abril de 2014, disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/fosforo.pdf>

Rodríguez, R; García- Cortés, A. 2006. Los residuos mineros-metalúrgicos en el medio ambiente. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Salas, H. 2000. Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) 53. 27 p

Salazar, A; Lizano, O; Alfaro, E. 2004. Composición de sedimentos en las zonas costeras de Costa Rica utilizando fluorescencia de rayos-X (FRX). Revista de Biología Tropical. 52: 61-75 p

Salazar, R. 2004. Investigación, análisis y desarrollo del derecho ambiental. EDITORAMA. Primera edición. San José, CR. 484 p

Seoáñez, M. 2000. Manual de contaminación marina y restauración del litoral: contaminación, accidentes y catástrofes agresiones a las costas y soluciones. Mundi-Prensa. Barcelona, ES. 43, 45, 46, 141, 142 p

Silva, NS. 2011. Estudio comparativo de la calidad del agua de mar en las playas de Acapulco. Tesis Mag. Sc. Querétaro, MX. Instituto Politécnico Nacional. 78 p

Silva, A; Acuña-González, J. 2006. Características físico-químicas de dos estuarios en la bahía de Golfito, Golfo Dulce, Pacífico de Costa Rica. Revista de Biología Tropical. 54 (Supl): 241-256 p

Silva, AM; Vieira, H; Martins, N; Granja, AT; Vale, MJ; Vale, FF. 2009. Viral and bacterial contamination in recreational waters: a case study in the Lisbon bar area. Journal of Applied Microbiology. 108: 1023-103 p

Sponberg, A. 2004. PCB contamination in marine sediments from Golfo Dulce, Pacific coast of Costa Rica. Revista Biología Tropical. 52(Supl.): S23-S32

Vivas-Aguas, L.J., L. Espinosa, J. Sánchez, B. Cadavid, P. Bautista, M. Quintero, J. Betancourt, J.P. Parra, L.G. Parra, I. Cuadrado, K. Ibarra. 2012. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia –REDCAM. Informe técnico 2012. INVEMAR. Santa Marta, 310 p

Wang, J; Solo-Gabriele, H; Abdelzaher, A; Fleming, L. 2010. Estimation of enterococci input from bathers and animals on a recreational beach using camera image. Marine Pollution Bulletin. 60(8):1270-1278 p

Winslow, C; Moxon, D. 1928. Bacterial pollution of bathing beaches in New Haven Harbor. Am. J. Hyg. 8:299

Wong, S; Santoro, A; Nidzieko, N; Hench, J; Boehm, A. 2011. Coupled physical, chemical, and microbiological measurements suggest a connection between internal waves and sur

World Resources Institute (WRI). 2000. Coastal Ecosystems. (en línea). Consultado el 10 de octubre de 2014. Disponible en: [http://www.costabalearasostenible.es/PDFs/AMYKey%20References\\_Indicators/PAGE\\_WRI.pdf](http://www.costabalearasostenible.es/PDFs/AMYKey%20References_Indicators/PAGE_WRI.pdf).

Zhang, W; Wang, J; Fan, J; Gao, D; Ju, H. 2013. Effects of rainfall on microbial water quality on Qingdao No. 1 Bathing Beach, China. *Marine Pollution Bulletin*. 66(1-2): 185-190 p.

## **Anexos**