

**Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”**

**Facultad de Ciencias Técnicas**

**Departamento de Química e Ingeniería Química**



**Trabajo de diploma presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Químico.**

*Estudio de la contaminación en la costa sur de la  
Península de Hicacos asociada al vertimiento de  
aguas residuales.*

*Autora:* Daililys Malpica Cabrera

*Tutoras:* MSc. Mariela Almeida Rodríguez

**Matanzas, 2018.**

# Nota de Aceptación

---

---

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

---

-----

Nombres y Apellidos

-----

Firma

-----

Nombres y Apellidos

-----

Firma

-----

Nombres y Apellidos

-----

Firma

## Declaración de Autoridad

---

### **Declaración de Autoridad:**

Yo Daililys Malpica Cabrera declaro ser la única autora de este trabajo el cual tiene por título: “Estudio de la contaminación en la costa sur de la Península de Hicacos asociada al vertimiento de aguas residuales.” con el fin de optar por el título de Ingeniero Químico. Según las facultades que me están conferidas autorizo para su consulta a todo aquel que la necesite, quedando prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

---

\_\_\_\_\_  
Firma:

**"El agua es la fuerza  
motriz de toda la  
naturaleza".**

**Leonardo da Vinci**



# Dedicatoria

---

## **Dedicatoria**

A mi novio Juan Carlos, por estar siempre a mi lado y sostenerme cuando todo se venía abajo; por toda la paciencia, respeto y amor en estos años.

A mis padres Justo e Idalmis ser la escalera de mi vida, con su apoyo y ejemplo sé que puedo llegar cada vez más alto.

A mi tutora y amiga Mariela por darme su apoyo incondicional para que este trabajo fuera posible.

A mi amiga y compañera de trabajo Damarys por ayudarme de todo corazón.

# Agradecimiento

---

## **Agradecimiento**

Para la realización de este trabajo de diploma fueron muchas las personas que aportaron su grano de arena e hicieron que fuera posible su presentación, por ellos quiero plasmar en las siguientes líneas mis más sinceros agradecimientos.

En primer lugar, quiero agradecerle a Dios por permitirme disfrutar de la vida y proveerme de muy buena salud.

A Mariela que además de ser mi compañera de trabajo es también mi tutora y amiga que ha dedicado todo su tiempo para la realización de este trabajo de diploma, trabajar a tu lado me ha enseñado muchísimo, no me alcanzarían las palabras para agradecerle su esfuerzo y paciencia.

A Damarys que a pesar que no ser mí tutora se ha portado como tal, sin dejar de decir que es una excelente compañera de trabajo y amiga, aquella que da ánimo y ayuda en todo momento.

Carli, mi amor, me has acompañado desde el inicio de mi carrea, no pudiste llegar a mi vida en mejor momento, por todo tu amor y apoyo incondicional a ti “mi niño” quiero que lleguen mis más sinceros agradecimientos.

Que podría decir de mis padres que me han dado la vida, me educaron y me hicieron esa mujer fuerte que hoy alcanza lo que se propuso sin miedo a los obstáculos que la vida presenta, nunca olvidaré su apoyo incondicional, a mi padre por esa rectitud que lo caracteriza y lo hace el mejor padre del mundo y a mi mamá porque su ejemplo me ayudo a tomar todo lo bueno que nos llega.

A mi hermano que desde pequeños no se separaba de mí, siempre fuimos los mejores hermanos del mundo por eso es que lo quiero tanto y quiero agradecerle.

A Irina por dedicarnos un poco de su tiempo para que este trabajo se terminara en tiempo, siempre con la paciencia y dedicación que la caracteriza.

Mi compañera de trabajo Yusleidy que ayudó en la confección de los mapas del trabajo.

A mi prima Adisbel por sus conocimientos aportados acerca del tema.

# Resumen

---

## Resumen

Por la importancia que posee para la economía del país el turismo en Cuba, resulta de interés la preservación de los recursos naturales sobre los cuales se desarrolla este renglón. El presente trabajo se realizó en la Península de Hicacos y estudió el comportamiento de la contaminación provocada por vertimientos de aguas residuales en su costa sur, proveniente de los sistemas de tratamientos por lodos activados Hicacos y Sol Palmeras y los sistemas lagunares Taínos II y Siguapa. La caracterización de los afluentes y efluentes de estos sistemas mostraron elevados contenidos de nutrientes y de densidades de Coliformes Fecales, los que influyen junto a las corrientes marinas en que la calidad de las aguas en este ecosistema clasifican entre dudosa y mala. Se realizó un procesamiento estadístico de los parámetros físicos químicos y microbiológicos de los afluentes y efluentes de cada sistema en estudio, los que presentaron una distribución normal. Las plantas de tratamiento por lodos activados mostraron una eficiencia superior al 92 % en cuanto a Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), mientras que los sistemas lagunares son los que mayor remoción de carga contaminante presentaron acorde a los caudales que procesaron.

# Summary

---

## **Summary**

Because of the importance of tourism in Cuba for the economy of the country, the preservation of the natural resources on which this line develops is of interest. The present work was carried out in the Hicacos Peninsula and studied the behavior of the pollution caused by wastewater discharges in its southern coast, from the treatment systems by activated sludge Hicacos and Sol Palmeras and the Taínos II and Siguapa lagoon systems. The characterization of the effluents and effluents of these systems showed high nutrient contents and Fecal Coliform densities, which influence together with the marine currents in which the quality of the waters in this ecosystem classify between doubtful and bad. Statistical processing of the chemical and microbiological physical parameters of the effluents and effluents of each system under study was carried out, which presented a normal distribution. The activated sludge treatment plants showed efficiency higher than 92% in terms of Biochemical Oxygen Demand (BOD5), while the lagoon systems are the ones with the highest removal of pollutant load according to the flows they processed.

# Índice

---

## Índice

|   |    |
|---|----|
| Introducción: .....   | 1  |
| Capítulo 1 Análisis Bibliográfico .....   | 4  |
| 1.1 Ecosistemas marinos .....   | 4  |
| 1.1.1 Aguas marinas para uso recreativo .....   | 5  |
| 1.2 Contaminación Ambiental.....  | 6  |
| 1.2.1 Origen de la contaminación .....  | 6  |
| 1.2.2 Fuentes y causas de la contaminación marina.....  | 8  |
| 1.2.3 Indicadores de la contaminación .....   | 8  |
| 1.3 Aguas residuales.....   | 11 |
| 1.3.1 Clasificación de las aguas residuales .....   | 11 |
| 1.3.2 Características de las aguas residuales .....   | 12 |
| 1.4 Tratamiento de aguas residuales .....   | 14 |
| 1.4.1 Tipos de tratamiento.....   | 15 |
| 1.5 Dispersión de la contaminación asociada a corrientes marinas .....  | 19 |
| 1.6 Conclusiones parciales .....  | 22 |
| Capítulo 2 Materiales y Métodos .....   | 23 |
| 2.1 Descripción del área de estudio .....   | 24 |
| 2.2 Descripción de los sistemas de tratamiento .....  | 24 |
| 2.2.1 Sistema de Tratamiento por lodos activados Sol Palmeras .....   | 26 |
| 2.2.2 Sistema de Tratamiento por lodos activados Hicacos .....  | 28 |
| 2.2.3 Sistema Lagunar Taínos II .....   | 31 |
| 2.2.4 Sistema Lagunar Sigüapa.....  | 33 |
| 2.3 Caracterización Físico Geográfico y condiciones ambientales de la Bahía de Cárdenas ....  | 34 |
| 2.4 Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas residuales procedentes de los sistemas de tratamiento .....                                 | 35 |
| 2.4.1 Determinaciones analíticas .....  | 36 |
| 2.5 Herramientas estadísticas para el procesamiento de los datos .....  | 38 |
| 2.6 Evaluación de los sistemas de tratamiento.....  | 38 |
| 2.6.1 Cálculo de la eficiencia de remoción.....   | 39 |
| 2.7 Compilación de datos correspondientes a los muestreos en las estaciones asociadas a cada sistema de tratamiento en el período del 2013-2017 ..... | 39 |

# Índice

---

|  |    |
|--|----|
| 2.7.1 Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas marinas asociadas a cada sistema de tratamiento en las campañas de muestreo desde el 2013-2017.....  | 40 |
| 2.8 Análisis físico –químico y microbiológico de los puntos de dispersión en la zona costera asociados a los sistemas de tratamiento en estudio .....            | 41 |
| 2.8.1 Toma de muestra de agua marina, preservación y almacenamiento.....   | 43 |
| Capítulo 3 Resultados y Discusión.....   | 45 |
| 3.1 Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas residuales procedentes de los sistemas de tratamiento en estudio .....                                 | 45 |
| 3.1.1 Caracterización estadística del afluente y efluente de los sistemas de tratamientos .....  | 48 |
| 3.1.2 Comparación de los resultados de los efluentes con NC-521: 2007.....   | 51 |
| 3.2 Evaluación de los sistemas de tratamiento.....   | 55 |
| 3.2.1 Resultados del cálculo de la eficiencia de remoción.....   | 57 |
| 3.3 Resultados físicos –químicos y microbiológicos de las aguas marinas asociadas a cada sistema de tratamiento en campañas de muestreo desde el 2013-2017 ..... | 60 |
| 3.3.1 Resultados Físicos - Químicos .....  | 60 |
| 3.3.2 Resultados Microbiológicos .....   | 65 |
| 3.4 Análisis físico – químico y microbiológico de los puntos de dispersión en la zona costera asociados a los sistemas de tratamiento en estudio .....           | 67 |
| 3.4.1 Resultados Físicos - Químicos .....  | 68 |
| 3.4.2 Resultados Microbiológicos .....   | 75 |
| Conclusiones .....   | 79 |
| Recomendaciones .....  | 80 |
| Bibliografía .....   | 81 |
| ANEXOS .....   | 81 |

# Introducción

---

## **Introducción:**

En los últimos años, los investigadores de diversos países prestan especial atención a la contaminación, la preservación y al control del medio ambiente terrestre y marino debido al aumento, en las últimas décadas, de la presión antropogénica sobre los ecosistemas marinos y, sobre todo, en las zonas costeras. Durante siglos el océano ha podido soportar la contaminación natural y actuación de la sociedad sin sufrir grandes modificaciones, pero desde inicio del siglo XX el incremento de las actividades humanas alcanzó tal nivel que pueden perturbar gravemente los ciclos vitales del ambiente marino/costero y poner en peligro toda su diversidad biológica (Muñoz, 2008).

El término “contaminación” de los sistemas acuáticos, en general, abarca efectos nocivos ocasionados por el hombre mediante acciones como: son los vertidos de sustancias tóxicas y/o radiactivas, sobrecalentamiento del agua de mar como resultado de su paso por los circuitos de refrigeración de las instalaciones industriales costeras (contaminación térmica), vertidos de agentes patógenos, desechos sólidos y dispersos, transporte de especies ajenas al hábitat local (contaminación biológica), ruidos provocados por los motores de los vehículos marítimos (contaminación acústica), entre otros. Actualmente, la contaminación química es la que posee mayor importancia porque ocurre con más frecuencia y provoca un mayor impacto ecológico.

El hombre ya se ha percatado de la poca sostenibilidad del concepto de dilución en los mares, por tanto, existen leyes y normas que regulan y prohíben el vertimiento de sustancias con determinadas concentraciones, consideradas para el medio, como contaminantes en los mares y costas. A lo largo de los años distintos países han tratado de unirse para conformar normas que sean aplicables para la protección de estos ecosistemas.

A lo largo de la década 2001-2010 se resaltan en Cuba alrededor de dos mil fuentes contaminantes principales de diversos tipos y categorías, que incluyen tanto los residuales de origen doméstico como los industriales y agropecuarios, los que han provocado, por diferentes causas, determinada contaminación de las

## Introducción

---

aguas interiores y marinas, los suelos y la atmósfera (CITMA, 2009). Un aspecto notable en ello es la concentración de instalaciones industriales en zonas urbanas, las cuales se favorecen del empleo de las corrientes superficiales como receptoras de residuales crudos o parcialmente tratados, los que con frecuencia terminan en las cuencas hidrográficas y en la zona costera.

Con el desarrollo de la industria del turismo en la mayor de las Antillas, las playas llegan a constituir un recurso de gran atención, de ahí que en la medida que se pueda ofertar este producto con mayor calidad se podrá lograr una mejor explotación y aprovechamiento de sus aguas.

Matanzas cuenta con el mayor polo turístico de sol y playa del país, la playa de Varadero, en la Península de Hicacos, considerada por muchos como la más hermosa y que resulta un atractivo para miles de visitantes de diversas partes del mundo. Esto hace que en toda la extensión de su territorio tanto al norte, con sus playas, como al sur, se desarrollen actividades recreativas que en su mayoría involucran el contacto directo e indirecto con el agua, por lo que es de vital interés la conservación de la calidad de las mismas, y por tanto desarrollar estudios en las zonas más sensibles y propensas a la contaminación.

Hacia la costa sur de la Península Hicacos se encuentran ubicadas las Plantas de Tratamiento de Residuales Líquidos (PTRs) provenientes de la actividad turística, las cuales en su mayoría tienen sus puntos de vertimientos hacia la zona costera y que según estudios reportados por (Almeida *et al.*, 2014) los residuales vertidos no cumplen con la calidad requerida y provocan impactos negativos sobre este ecosistema, que posee gran interés para el futuro desarrollo turístico que se potencia en la zona. Por todo lo anterior se plantea como **problema científico**: Los residuales líquidos vertidos a la costa sur de la Península de Hicacos, por los sistemas de tratamiento de aguas residuales, provocan variación en la calidad del agua y se desconoce el alcance que genera la contaminación sobre este ecosistema.

**Hipótesis:** Si se estudian las aguas vertidas por los sistemas de tratamiento de aguas residuales y la calidad de las aguas en diversos puntos de la costa sur de la

# Introducción

---

Península de Hicacos, será posible analizar el comportamiento de la contaminación que se genera en este ecosistema marino.

## **Objetivo general**

Estudiar el comportamiento de la contaminación de la costa sur de la Península de Hicacos por vertimiento de aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento.

## **Objetivos específicos**

- Caracterizar los afluentes y efluentes de las PTRs Hicacos, Sol Palmeras, y de los sistemas lagunares Taínos II y Siguapa.
- Evaluar el funcionamiento de los sistemas de tratamiento en función de la eficiencia de los mismos y porcentos de remoción de carga contaminante.
- Caracterizar la calidad del agua marina en las zonas asociadas al vertimiento de residuales de la costa sur de la Península.
- Analizar la dispersión de contaminantes en la costa sur asociado al comportamiento de las corrientes marinas.

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

### 1.1 Ecosistemas marinos

Los mares y océanos cubren el 71 % de la superficie del planeta y representan el 97 % del volumen de agua disponible. Los ecosistemas marinos incluyen los océanos, mares, marismas y son de vital importancia para el funcionamiento del planeta, debido a que son los grandes generadores del oxígeno que respiramos. Entre otras funciones, las aguas marinas regulan el clima en la tierra y han amortiguado los efectos del cambio climático con la absorción del 25 al 30 por ciento de todas las emisiones antropogénicas de carbono (Noone, 2012). Los océanos son también importantes generadores de vida, y proporcionan alimento para miles de millones de personas. Se trata de uno de los ecosistemas más productivos del planeta, constituyen una valiosa fuente de servicios para el bienestar humano, se encargan de apoyar el turismo y las actividades recreativas alrededor del mundo (Duarte, 2012).

Entre los problemas ambientales a los que se enfrentan este tipo de ecosistemas a nivel mundial se encuentran (Brito, 2009):

- ✚ El deterioro de los recursos pesqueros, en particular por la pesca excesiva.
- ✚ La amenaza a la diversidad biológica marina, por diversos factores humanos y climáticos.
- ✚ La degradación de las zonas costeras, sometidas a fuertes presiones por el desarrollo industrial, el turismo y la urbanización incontrolada.
- ✚ La contaminación marina, por desechos domésticos e industriales.
- ✚ Los cambios en el océano y su relación con el clima mundial; en particular, la disminución de su capacidad de absorción de dióxido de carbono.
- ✚ Los cambios en la circulación oceánica y la elevación del nivel del mar.

# Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

- ✚ La explotación de los recursos no-vivos, tanto los oceánicos como los costeros, con particular referencia al petróleo, la arena y la grava.
- ✚ La violación de las reglamentaciones para el transporte marino (carga general y petróleo).

A criterio de la autora, los recursos del mar son sobreexplotados por los humanos, lo que amenaza la biodiversidad marina. Las consecuencias de la sobrepesca y la destrucción del hábitat son evidentes en muchas partes del mundo, lo que puede causar un daño en los ecosistemas de manera irreversible. Es por estas razones, que resulta de gran prioridad realizar un manejo adecuado de este valioso recurso para su preservación y recuperación, para disfrutar de los bienes sociales, culturales y recreativos, que brinda a las generaciones actuales y las futuras.

## 1.1.1 Aguas marinas para uso recreativo

El uso recreativo de las aguas continentales y marinas se ha elevado en varios países a través del mundo. Estos usos varían desde los deportes de inmersión total, tales como la natación, el *surfing* y el piragüismo hasta los deportes de no contacto como la pesca, caminar, observar aves, entre otros. Las categorías de la recreación acuática: no contacto, contacto casual y contacto total del cuerpo se describen detalladamente en las *Guías para Ambientes Seguros de Aguas Recreativas* de la OMS (Organización Mundial para la Salud), donde se trata de actividades acuáticas recreativas, en las que tiene lugar el contacto total del cuerpo (por ejemplo, aquellas donde hay un riesgo significativo de ingerir agua). Donde tal contacto ocurre, se debe contemplar una evaluación ambiental de los riesgos y una evaluación de calidad microbiológica de la misma.

El concepto de calidad del agua es complejo y difícil de precisar. Sin embargo, se puede valorar al identificar y medir sus cualidades, que se identifican con cuantificaciones químicas, físicas y biológicas, para poder calificarla. Del estudio de la calidad del agua se pueden inferir los contaminantes y procesos que la afectan, con el fin de implantar los valores máximos permisibles de contaminantes,

cuyas concentraciones no pongan en estrés a la vida acuática y permita al ser humano aprovechar el agua para diferentes usos (CSAM, 2007).

## **1.2 Contaminación Ambiental**

La contaminación ambiental se define como la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos que perjudique o resulte nocivo para uno o varios de los factores o componentes del medio en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o encontrarse por encima de sus concentraciones normales en cualquier elemento del medio ambiente, altera su composición y condición natural. Esta se origina generalmente como consecuencia del crecimiento y el desarrollo incontrolado de centros de población, turísticos e industriales, con el correlativo incremento de las fuentes de contaminación y el deterioro de los recursos naturales. En la actualidad este es un problema que va en aumento, cada día se agrava la situación, afecta la salud de las personas e influye en la desaparición de muchas especies animales (Paira, 2009).

### **1.2.1 Origen de la contaminación**

La presencia de sustancias (basura, pesticidas, aguas sucias) extrañas de origen humano en el medio ambiente, que ocasionan alteraciones en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, se encuentran entre las formas más comunes de contaminación ambiental y se manifiesta por alteraciones en los ecosistemas; generación y propagación de enfermedades en los seres vivos, muerte masiva en casos extremos, la desaparición de especies animales y vegetales; inhibición de sistemas productivos y, en general, degradación de la calidad de vida (salud, aire puro, agua limpia, recreación, disfrute de la naturaleza, entre otros). Los contaminantes pueden ser químicos, físicos y biológicos (Peñaloza, 2012).

Según Peñaloza (2012) los contaminantes químicos son compuestos provenientes de la industria química, pueden ser de efectos perjudiciales muy marcados, como los productos tóxicos minerales (compuestos de hierro, cobre, zinc, mercurio, plomo, cadmio), ácidos (sulfúrico, nítrico, clorhídrico), los álcalis (potasa, sosa cáustica), disolventes orgánicos (acetona), detergentes, plásticos, los derivados

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

del petróleo (gasolina, aceites, colorantes, diesel), pesticidas (insecticidas, fungicidas, herbicidas), y abonos sintéticos (nitratos, fosfatos), entre otros.

Los contaminantes físicos son factores que proceden de diferentes formas de energía presentes en el ambiente de trabajo y que aparecen de la misma forma o modificados por el proceso de producción y repercuten negativamente en la salud. Se caracterizan por no representar un peligro para el hombre siempre que se encuentren dentro de ciertos valores óptimos y que produzcan una condición de bienestar en el trabajo (Terán, 2013).

Los contaminantes de tipo físico según Terán, (2013) se clasifican en:

- ✚ Ruido y vibraciones.
- ✚ Radiaciones ionizantes y no ionizantes.
- ✚ Temperatura, humedad, velocidad del aire, presión atmosférica.
- ✚ Calor (estrés térmico).
- ✚ Presiones y depresiones.
- ✚ Campos eléctricos y magnéticos.

Los contaminantes biológicos son todos aquellos seres vivos, ya sean de origen animal, vegetal o derivados de éstos, capaces de inducir efectos perjudiciales para la salud de la población o de los trabajadores y pueden causar procesos infecciosos, tóxicos o alérgicos. Estos también pueden afectar la calidad del aire, agua, alimentos y suelo. Se pueden clasificar en (Terán, 2013):

- ✚ Virus
- ✚ Bacterias
- ✚ Hongos
- ✚ Gusanos

### 1.2.2 Fuentes y causas de la contaminación marina

Entre las principales causas de la contaminación de los ecosistemas marinos se encuentran las actividades humanas como la construcción, la agricultura, las industrias y el uso doméstico. También la precipitación pluvial puede contener partículas y materia disuelta que contribuyen a la contaminación de los cuerpos de agua receptores. Cerca de la costa la lluvia puede contener sales, y tierra adentro puede contener materia orgánica y ácidos disueltos provenientes de materiales suspendidos en la atmósfera, que llegan a este sitio por actividades humanas y procesos naturales (De Buen, 2007).

Según Arias (2014) las fuentes de contaminación son de dos tipos: puntuales y no puntuales, esta clasificación se relaciona con la manera en que el agua contaminada llega al cuerpo receptor. Las aguas residuales provenientes de los hogares y de la industria se llaman fuentes puntuales, lo que significa, que estos desechos se recolectan mediante una red de tubos o canales que los conducen hacia un solo sitio en donde se descargan.

También existen fuentes de contaminación no puntuales que son escurrimientos que pasan sobre la superficie del terreno o por canales de drenaje natural, hasta llegar al cuerpo de agua más cercano. Frecuentemente estas fuentes de contaminación se deben a aguas pluviales en su mayoría. La contaminación de este tipo, sobre todo en época de lluvia, se recolecta en alcantarillados combinados, que conducen agua de lluvia y terminan, frecuentemente, en descargas puntuales (Arias, 2014).

### 1.2.3 Indicadores de la contaminación

Mundialmente se miden diversos indicadores físicos, químicos y biológicos a los cuerpos de agua de cualquier naturaleza para determinar su grado de contaminación. Según Menéndez y Pérez, (2007) los principales indicadores que determinan la calidad del agua son: la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), nitrógeno, fósforo y sólidos, entre otros, los cuales se describen a continuación:

## Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Proporciona una medida de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica y otras sustancias inorgánicas oxidables contenidas en el agua.

La determinación de la DQO presenta ventajas con respecto a la  $DBO_5$ , las condiciones de oxidación por este método es efectivo para más compuestos químicos, sus condiciones de ensayo pueden ser estandarizados con más facilidad, para dar resultados precisos, los cuales son útiles para indicar el daño potencial de las aguas con una baja concentración en los depósitos de lodos y también para determinar las diluciones necesarias en ensayos de  $DBO_5$ . Las limitaciones están dadas porque ciertos compuestos no son oxidados bajo las condiciones químicas, o se escapan como compuestos volátiles antes de ser oxidados (el amoniaco, los hidrocarburos aromáticos, los hidrocarburos saturados, la piridina y otros). El empleo de dicromato de potasio con ácido sulfúrico exige cuidados de manipulación para evitar accidentes; la oxidación de ión cloruro o cloro puede afectar los resultados de la DQO, aunque no afecta la  $DBO_5$ .

## Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ )

La  $DBO_5$  es uno de los indicadores más utilizados en la caracterización de los contaminantes orgánicos. Esta determinación brinda un estimado del oxígeno disuelto requerido por los microorganismos en la degradación de los compuestos biodegradables. El mecanismo presente durante la prueba de laboratorio de la  $DBO_5$  es biológico y no depende sólo del oxígeno presente y que se utiliza en un momento dado, sino también de la velocidad a la que este se consume, y por tanto, del tiempo. Así, es necesario fijar un tiempo y temperatura de incubación estándar, que normalmente es de cinco días, y 20 °C como temperatura de referencia (Menéndez y Pérez, 2007).

# Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

## Nitrógeno

El nitrógeno se encuentra presente en el agua residual en cuatro formas: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrito y nitrato. La conversión biológica de nitrógeno amoniacal a nitratos ocurre cuando la concentración de oxígeno disuelto es suficientemente elevada para mantener un adecuado desarrollo de las bacterias nitrificantes. Esta conversión tiene gran importancia para impedir el acceso del nitrógeno amoniacal a cursos de agua receptores donde puedan tener efectos tóxicos sobre la fauna y ser el principal causante de la eutroficación artificial. Este proceso se debe a la acción del hombre y se puede frenar al eliminar la causa que lo origina, la cual proviene fundamentalmente por un aporte de sustancias nutritivas (nitrógeno y fósforo) procedentes de vertidos de aguas urbanas e industriales, escorrentías sobre diversos terrenos, entre otros. Aunque la eutroficación es un fenómeno muy común y a veces irreversible en lagos y embalses, en las aguas marinas, dado el volumen de estas, no es un fenómeno a generalizar y aparece únicamente cerca de la costa y en mares cerrados o semicerrados (Menéndez y Pérez, 2007).

## Fósforo

La remoción de fósforo en aguas residuales es de gran importancia pues este nutriente es el más crítico en cuanto a la influencia que ejerce sobre el proceso de eutroficación. Los organismos involucrados en los procesos biológicos de tratamiento de agua residual requieren de fósforo para la reproducción y síntesis de nuevos tejidos celulares. Las aguas residuales domésticas contienen elevados contenidos de fósforo que exceden la cantidad necesitada para estabilizar la materia orgánica presente. Se debe mantener buenas características de sedimentación del lodo, puesto que la gran mayoría del fósforo que se logra eliminar es precisamente por el proceso de sedimentación (Menéndez y Pérez, 2007).

## Sólidos

Los sólidos presentes en el agua residual pueden ser de varios tipos: sólidos totales, sólidos suspendidos (sedimentables y no sedimentables), sólidos filtrantes (coloidales y disueltos). El conocimiento del contenido de sólidos de un agua residual aporta valiosa información sobre sus características, lo que permite conocer de forma general, su naturaleza y si estas requieren de algún tratamiento en particular que facilite su remoción o eliminación. Todos ellos a su vez son de naturaleza inorgánica u orgánica. La fracción orgánica de los sólidos se determina mediante la pérdida por ignición a 600° C (Menéndez y Pérez, 2007).

Entre los principales causantes de la alteración de estos indicadores, se encuentra el vertimiento incontrolado de aguas residuales sin un tratamiento adecuado que alteran la calidad de los cuerpos receptores.

### **1.3 Aguas residuales**

Las aguas residuales son aquellas que resultan de la combinación de aguas y residuos procedentes del uso doméstico o industrial, las cuales pueden agregárseles de forma eventual determinados volúmenes de agua subterránea, superficial y pluvial. Se les llama también aguas grises, negras y cloacales. Son residuales porque una vez usadas contienen sustancias que degradan sus propiedades y no son utilizables para el uso directo, se les llama negras por el color que habitualmente poseen. Las aguas residuales aparecen sucias y contaminadas: llevan grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria y de los ganados, herbicidas y plaguicidas y en ocasiones algunas sustancias muy tóxicas. Estas aguas residuales, previas a ser incorporadas nuevamente a la naturaleza, deben ser depuradas. Para ello se conducen a las plantas o estaciones depuradoras, donde se realiza el tratamiento más adecuado para verterlas en las mejores condiciones posibles (Terry *et al.*, 2006).

#### **1.3.1 Clasificación de las aguas residuales**

Según Hierro (2005), las aguas residuales se clasifican en:

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

- ✚ Aguas residuales municipales: residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y procesados en una planta de tratamiento municipal.
- ✚ Aguas residuales industriales: las aguas residuales provenientes de las descargas de industrias.

Otra forma de clasificar a las aguas residuales es en base al contenido de contaminantes que esta posea, así se conocen como: (Pinzón, 2010).

- ✚ Aguas negras: las aguas residuales que transportan excretas y son ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes.
- ✚ Aguas grises: las aguas residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, que aportan sólidos suspendidos, fosfatos, grasas y coliformes, esto es, aguas residuales domésticas, se excluyen las que contienen fecales.
- ✚ Aguas negras industriales: es la mezcla de las aguas de una industria en combinación con las aguas negras residuales de sus descargas. Los contaminantes provenientes de la descarga están en función del proceso industrial y tienen, la mayoría de ellos, efectos nocivos a la salud si no existe un control de la descarga.

### 1.3.2 Características de las aguas residuales

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para la evacuación y control así como la gestión de la calidad medioambiental. Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica (Metcalf y Eddy, 2003), (Gómez, 2012).

**Características Físicas:** turbiedad, color, olor, sabor, temperatura, sólidos y conductividad eléctrica.

- ✚ Sólidos: es la materia sólida contenida en el agua, ya sea disuelta o en suspensión. Los sólidos pueden estar constituidos por materia orgánica,

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

arenas, arcillas y materia coloidal. Son procedentes del agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incorporadas.

- ✚ Olor: es debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Son procedentes del agua residual en descomposición.
- ✚ Temperatura: suele ser más elevada que la del agua de suministro, esto se debe principalmente a la incorporación de aguas con mayor temperatura procedentes de los diferentes usos.
- ✚ Color: puede representar el tiempo de existencia del agua residual, se determina cualitativamente en función de su color y olor.
- ✚ Turbiedad: se emplea para determinar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales, en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

**Características químicas:** el estudio de las características químicas comprende los siguientes grupos:

- ✚ Orgánicos: donde se encuentran los carbohidratos, grasas animales, aceites y grasas, pesticida, fenoles, proteínas, agentes tenso activos, compuestos orgánicos volátiles.
- ✚ Inorgánicos: donde se encuentra la alcalinidad, cloruros, metales pesados, compuestos nitrogenados, pH, fósforo, azufre y compuestos tóxicos inorgánicos.

**Características biológicas:** comprende animales, plantas, eubacterias, arqueobacterias y virus.

Más que caracterizar a cada organismo patógeno por separado se prefiere el empleo de los microorganismos indicadores los cuales no tienen necesariamente una relación directa con el número de patógenos, si no que se dirige más a

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

evaluar el grado en el que ha sido contaminado con heces fecales humanas o de otros animales de sangre caliente (contaminación fecal), entre estos se destacan:

- ✚ Coliformes Totales: grupos de bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram (-) no esporulados, baciliformes que fermentan la lactosa con la formación gas en un período de 48 horas a 35 C°.
- ✚ Coliformes fecales o termotolerantes: subgrupo del anterior en el que se encuentran los microorganismos con mayor probabilidad de proceder de los intestinos de animales de sangre caliente. Ambos grupos se determinan por el método del Número Más Probable (NMP). Otra forma de determinar Coliformes es por el método de Filtración por Membrana. Las bacterias coliformes detectadas por las dos técnicas no siempre son exactamente las mismas. En general se acepta que el método de filtración por membrana que tiene como ventaja con respecto del NMP, la reproducibilidad.
- ✚ Estreptococos Fecales: se emplean para conocer la fuente probable de contaminación, la relación coliformes/estreptococos es siempre mayor a 4,0 en aguas residuales domésticas, mientras que la relación para las aguas residuales de granja (donde se vierten heces de aves de corral, gatos, perros y roedores) es menor a 0,7.

### 1.4 Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales que provienen de diversas fuentes contiene materias en suspensión y disueltas que alteran sus propiedades. Según el tipo de utilización, estas presentan características muy diferentes. En especial, existe una gran diferencia entre las aguas residuales urbanas o domésticas, originadas en el uso del agua en las viviendas y las aguas residuales industriales, provenientes de instalaciones fabriles. Entre estas últimas la diversidad es muy acusada, ya que la alteración de propiedades del agua resultante del uso industrial puede variar entre contaminación puramente física (como ocurre en la contaminación térmica que presentan las aguas de refrigeración) hasta contaminación bioquímica de gran

complejidad (aguas que reciben efluentes de industrias farmacéuticas o químicas) (Madrid, 2012).

Cualquiera que sea su procedencia, las aguas residuales representan una fuente de contaminación para el medio ambiente, ya que modifican las características iniciales del medio natural donde se produce su descarga y depende de sus propiedades y cantidad vertida. Por tanto, es importante antes de seleccionar un método de tratamiento, estudiar sus características.

### 1.4.1 Tipos de tratamiento

Aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos se conocen como operaciones unitarias, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza con base en procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios. Al referirse a operaciones y procesos unitarios es porque se agrupan entre sí para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario (Metcalf y Eddy, 2003).

Procesos físicos: son aquellos en los que se emplean las fuerzas para el tratamiento. En general las operaciones físicas se emplean durante todo el proceso del tratamiento de las aguas residuales. Los principales procesos físicos son: el desbaste, evaporación, homogenización de caudales, mezclado, floculación, sedimentación, flotación y filtración.

- ✚ Procesos químicos: son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes del agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Los procesos químicos se utilizan en la depuración de aguas junto a operaciones físicas y procesos biológicos. La precipitación química, transferencia de gases, separación de amoníaco mediante arrastre con aire, adsorción, desinfección con cloro, oxidación, eliminación de sustancias inorgánicas disueltas son tantos de los procesos químicos que existen para el tratamiento de aguas residuales.

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

✚ Procesos biológicos: son aquellos en que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo por la actividad de los microorganismos, los cuales convierten la materia orgánica biodegradable coloidal y disuelta en gases y tejido celular. Según la presencia o ausencia de oxígeno disuelto, los tratamientos biológicos se clasifican en:

Aerobios: condición en la que existe oxígeno molecular disponible.

Anaerobios: condición caracterizada por la ausencia de cualquier forma de oxígeno disponible.

Los procesos biológicos anaerobios y aerobios se utilizan para tratar aguas residuales con altas concentraciones de  $\text{DBO}_5$  (Terry *et al.*, (2006).

Según Terry *et al.*, (2006) el tratamiento biológico puede realizarse por diferentes tecnologías como son: los lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, sistemas de lagunas facultativas y aerobias y sedimentación secundaria, se suele incluir la desinfección. Este método se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta, la cual es costosa de eliminar por tratamientos físico-químicos. Consisten en la oxidación aerobia de la materia orgánica en sus diversas variantes de fangos activados, lechos de partículas, lagunas de oxidación y otros sistemas o su eliminación anaerobia en digestores cerrados. Ambos sistemas producen fangos en mayor o menor medida que, a su vez, deben ser tratados para su estabilización, acondicionamiento y destino final.

Según Metcalf y Eddy, (2003) el grado o nivel de tratamiento y que puede dividirse en pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado, se aplica en función de los objetivos que se quieren alcanzar:

**Tratamiento preliminar:** consiste en acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejas, tamices, desarenadores y desgrasadores, implica la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga, bien a los cuerpos receptores o para pasar a un tratamiento secundario (Metcalf y Eddy, 2003).

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

Las operaciones utilizadas en la etapa de tratamiento preliminar son: (Díaz, 2006).

**Desbaste:** elimina objetos de gran tamaño, se pueden emplear cámaras de rejillas que retienen los sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes que están en suspensión o flotantes y tamices que separan los de tamaño inferior.

**Desarenado:** elimina arena y sustancias en suspensión con una densidad superior a la del agua.

**Desengrasado:** elimina las grasas y aceites.

**Desmenuzadores:** permite reducir el diámetro de los sólidos de grandes dimensiones.

**Tratamiento primario:** el principal objetivo es el de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar como las grasas. Busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin aditivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química poco utilizada en la práctica, salvo aplicaciones especiales, por su elevado costo.

**Tratamiento secundario:** es generalmente el tratamiento que incide en el contaminante principal. Es el que se aplica después del tratamiento preliminar y primario. Puede ser biológico o químico en dependencia del agente contaminante.

Este tratamiento intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85 % de la DBO<sub>5</sub> y sólidos suspendidos (SS), aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, DQO y bacterias patógenas.

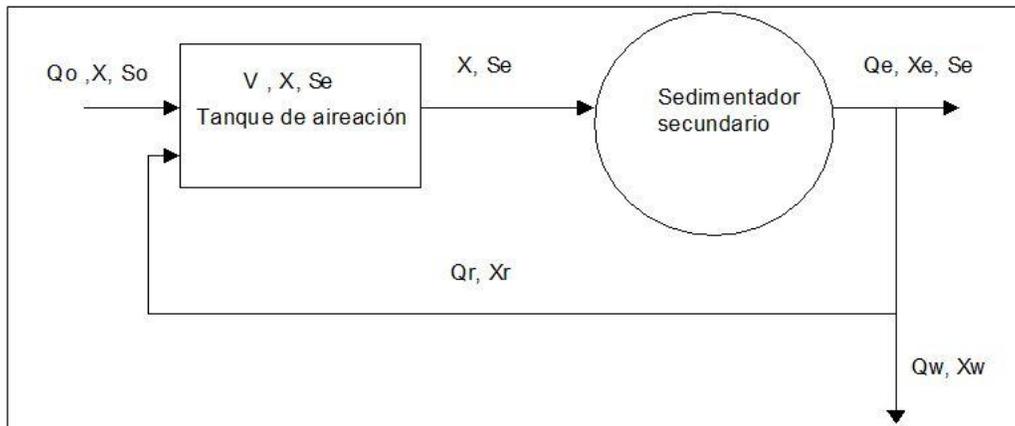
Según Menéndez y Pérez, (2007) existen diversos procesos para el tratamiento de aguas residuales y estos son:

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

Lodos activados: estos mezclan las aguas residuales con los microorganismos donde mediante la aireación los microorganismos pueden absorber oxígeno y comienzan a degradar a los contaminantes. Pasado un tiempo determinado las aguas residuales fluyen hacia un tanque de sedimentación donde los sólidos se sedimentan. La composición del lodo activado, en lo cuantitativo, depende de la composición del sustrato que le sirve de alimentación y de los parámetros tecnológicos del proceso: tiempo de retención hidráulico, tiempo de retención medio celular, (edad del lodo) y la remoción específica de sustrato (carga de lodo).

De acuerdo con su facilidad de sedimentación, los lodos pueden clasificarse en: floculentos, no floculentos y abultados.

En la **Figura 1.1** se muestra el esquema clásico del proceso de depuración de las aguas residuales mediante el tratamiento secundario biológico por lodos activados.



**Figura 1.1 Esquema del proceso de lodos activados.**

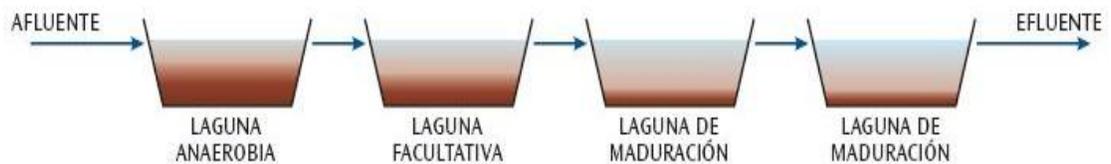
Fuente: (Ocampo, 2013).

- ✚ Lagunas de estabilización: se emplean para el tratamiento de aguas residuales que contengan compuestos orgánicos biodegradables que se encuentra muy difundido. Las lagunas son estructuras simples de fácil operación y mantenimiento que se basan en el proceso de autopurificación. Generalmente están constituidas por embalses naturales o artificiales, en tierra, expuestos al aire y al sol, por lo que las condiciones climáticas

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

influyen significativamente en el funcionamiento de estas. Por esta razón el diseño de las lagunas es posiblemente, de todos los procesos de tratamiento biológico, el menos definido. De acuerdo a la naturaleza de la actividad biológica que tiene lugar en la misma, y por tanto al metabolismo que prevalece durante su funcionamiento, las lagunas de estabilización se clasifican en: aerobias, anaerobias y facultativas (Menéndez y Pérez, 2007). En la **Figura 1.2** se muestra el esquema de un sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales.



**Figura 1.2 Representación esquemática de un Sistemas de lagunas de estabilización.**

Fuente: (Rosabal, 2017).

**Tratamiento terciario:** se forma por tratamientos avanzados. Este sistema debe ser capaz de eliminar nutrientes, metales pesados, algunos iones, minerales, patógenos y otros. Existen varios sistemas y métodos para este tratamiento tales como cloración, ozonización, adsorción, micro y ultrafiltración, ósmosis inversa, radiación ultra violeta (UV), entre otras.

### 1.5 Dispersión de la contaminación asociada a corrientes marinas

Cuando las aguas residuales se descargan en cursos de aguas superficiales, estuarios o en el mar y se alcanza el equilibrio de densidad, la mezcla efluente-agua empieza a dispersarse bajo la influencia de la difusión a medida que la “nube” es transportada por las corrientes. Este proceso resulta en un alargamiento del campo de agua residual y un incremento en la dilución del efluente denominada dilución progresiva.

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

Dispersión: es la interacción de la difusión turbulenta con un perfil definido de la velocidad en la columna de agua que provoca un mayor grado de mezcla. Este fenómeno se conoce como dispersión y es el resultado de las desviaciones de la velocidad puntual del fluido respecto a la velocidad media.

Cuando los desechos llegan al mar son influenciados por distintos factores que permiten el proceso de limpieza de la contaminación orgánica, así en cuestión de días o semanas la contaminación es reinsertada en el ciclo biológico. No obstante en el caso de la contaminación persistente no se logra biodegradar los compuestos, al contrario: de limpiar el sector contaminado, estas se desagrupan y extienden progresivamente en zonas limpias. Este proceso es conocido como dispersión (Yachi, 2014).

La dispersión de la contaminación propiamente dicha se produce con contaminantes persistentes líquidos o sólidos, pues solo estos se mantienen un espacio de tiempo suficiente como para causar daño aun en cantidades mínimas. El ejemplo más conocido es la dispersión causada son los derrames de petróleo. Sin embargo es mucho más común que se produzca con contaminación flotante o en suspensión debido a que se presenta un mayor arrojado de este tipo de contaminación y sus dimensiones permiten un mayor desplazamiento (Yachi, 2014).

La dispersión se origina por distintos factores, de los cuales el más aleatorio o particular es la geografía costera. A estos aspectos se suman a otros más generales como oleaje, marea, afluentes y temperaturas. Como se puede inferir, los procesos costeros son muy complejos debido a la diversidad de factores envueltos. Sin embargo, existe una variedad amplia de estudios sobre los dos factores más influyentes: las corrientes y el viento. La corriente superficial costera causa la mayor dispersión de la contaminación (Collazos, 2014).

Corrientes Marinas: las corrientes oceánicas son masas de agua que avanzan por las cuencas oceánicas de los hemisferios Septentrional y Meridional como enormes remolinos y con movimientos circulares durante miles de kilómetros. A menudo las aguas de las corrientes tienen un color ligeramente distinto al de las

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

aguas circundantes, debido a las diferencias de densidad, temperatura y salinidad, esto hace que la corriente parezca un gran río en el océano. Son originadas principalmente por la acción del calor del sol, el viento y la rotación de la tierra. El funcionamiento de estas corrientes se determina en gran parte, porque el sol calienta la atmósfera de manera diferente en función de la latitud y las diferencias de temperatura de la masa de aire que generan los vientos. El aire tiende a ir desde las zonas de alta presión hacia las de baja presión, generándose los vientos (Francés, 2015).

Las aguas residuales domésticas descargadas en las aguas costeras contienen una mezcla de microorganismos infecciosos e inoocuos. Los patógenos encontrados en las aguas residuales incluyen *Salmonella spp.*, *Eschechia coli*, *Streptococcu ssp.*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, los hongos *Candida*, y virus como enterovirus, hepatitis, poliomelitis, influenza y herpes (Silva, 2011). Los tipos y números de patógenos en el agua residual difieren y dependen de la incidencia de enfermedades y el portador en la contribución a las poblaciones humanas y a la estacionalidad de las enfermedades. En estudios de impacto de la contaminación fecal sobre la salud de los usuarios de aguas recreacionales, se usan organismos indicadores para determinar la calidad del agua, los cuales son el reflejo de la contaminación.

Algunas pruebas han mostrado que 99,99 % de las bacterias indicadoras (coliformes totales y fecales o termotolerantes y estreptococos fecales) se pueden remover con tratamiento de las aguas residuales, pero el 0,01 % restante constituye un problema para diversos usos del agua, como el recreativo (De Buen, 2007).

Hay otro factor que se debe de tomar en cuenta al hacer una evaluación de la calidad del agua y es que la concentración de los organismos decrece con el tiempo y con la distancia que recorre al ser descargado. La concentración C de los indicadores bacteriológicos de la contaminación fecal disminuye con el tiempo de acuerdo a la ecuación de primer orden  $dC/ dt = -KC$ , donde K es una constante

## Capítulo 1 Análisis Bibliográfico

---

que indica la tasa de mortandad. La solución general de esta ecuación  $C_t$ , al tiempo  $t$  dada la concentración inicial  $C_0$  es:  $C_t = C_0e^{-kt}$

Con lo cual se puede calcular la mortandad en las descargas a las aguas receptoras (Pepper, 1996).

Al analizar casos de mortandad en el ambiente marino, frecuentemente se usa un valor de  $K$  de 1,2 por hora, que es alrededor de tres veces mayor que el que se usa para agua dulce, y en general se usan valores que van desde 0,3 hasta 3,8 por hora. El valor más elevado de esta constante para este caso se atribuye principalmente a la salinidad del ambiente marino y también se relaciona con una mayor concentración de animales depredadores (De Buen, 2007).

### 1.6 Conclusiones parciales

- En este capítulo se analizaron diferentes temas relacionados con los ecosistemas marinos que incluyen los océanos, mares y marismas por su importancia para el planeta, así como las diversas fuentes que originan contaminación en los mismos.
- Se describen los indicadores de la contaminación ambiental y la interpretación de cada uno de ellos.
- Por ser una de las fuentes contaminantes se abordan lo referente a diversos sistemas de tratamientos para las aguas residuales que pueden ser químico, físico y biológico y están divididos en: tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.
- El transporte de contaminantes en los ecosistemas marinos están asociada al comportamiento de las corrientes marinas típicas de cada zona.

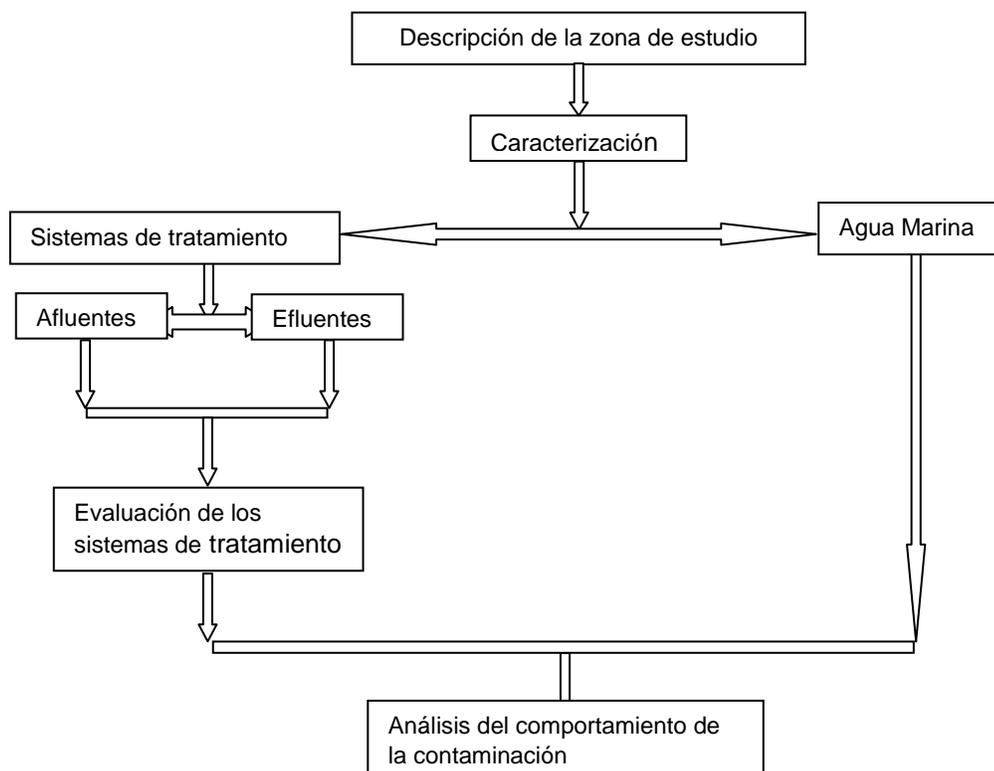
## Capítulo 2 Materiales y Métodos

### Capítulo 2 Materiales y Métodos

En este capítulo se abordan los materiales y métodos a utilizar en la investigación, también se mencionan las técnicas empleadas para la caracterización de las aguas residuales de cada uno de los sistemas de tratamiento, así como las de las aguas marinas asociadas a los puntos de vertimientos donde son evacuados los efluentes finales.

La metodología de trabajo comprende la realización de una descripción detallada de la zona objeto de estudio y de los sistemas de tratamientos a evaluar. La evaluación incluye la caracterización estadística y el análisis del funcionamiento de estos.

A continuación se presenta el esquema metodológico que resume las etapas de la investigación (**Figura 2.1**).



**Figura 2.1** Esquema metodológico de la Investigación.

### 2.1 Descripción del área de estudio

La Península de Hicacos se ubica en la región norte de la provincia de Matanzas. Limita al norte y al este con el estrecho de la Florida y al este y al sureste con la Bahía de Cárdenas. La península es estrecha y alargada con una longitud de aproximadamente 24 km, orientada a 70 grados acimut (Suroeste – Noreste). En su parte más estrecha cuenta con 400 m y 1500 m en su parte más ancha, el ancho promedio no supera el kilómetro. En la **Figura 2.2** se muestra la ubicación geográfica de la Península de Hicacos.



**Figura 2.2 Ubicación geográfica de la Península de Hicacos en la provincia de Matanzas.**

Fuente: *Google Earth*, (2018).

### 2.2 Descripción de los sistemas de tratamiento

Según Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI) en el año 2016, reporta que el país cuenta actualmente con un total de 787 sistemas de tratamiento, de ellos doce plantas de tratamiento de residuales.

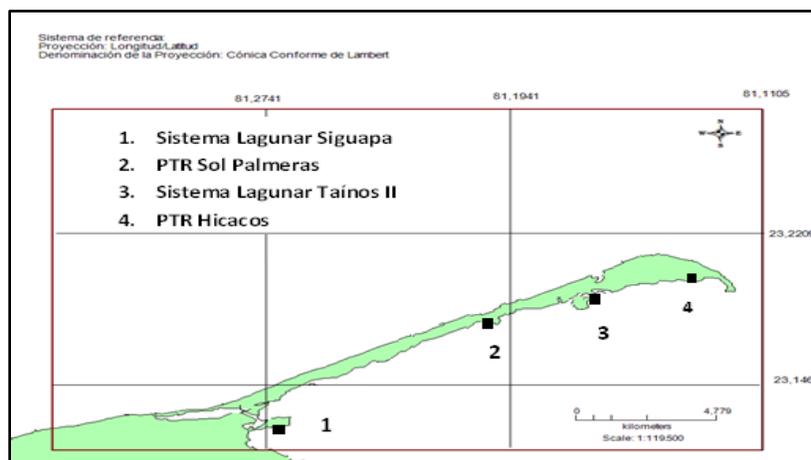
Augusto y Junco en el año 2002, realizan un levantamiento de los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales en la provincia de Matanzas y encontraron que de un total de 77 sistemas de tratamiento, 74 son lagunas de oxidación y solo tres son sistemas de lodos activados. En la actualidad el número de sistemas de tratamiento por lodos activados muestra un aumento con la construcción de tres nuevas plantas ubicadas en el polo turístico de Varadero: Las

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

Conchas, Chapelín y Calle K, de estas solo Las Conchas se encuentra en funcionamiento, las otras están en fase de terminación y puesta en marcha.

Los sistemas de tratamientos existentes en Cuba y en la provincia de Matanzas, específicamente, son lagunas de oxidación lo cual puede justificarse por las condiciones climáticas del país que favorece el funcionamiento de estos sistemas lagunares y por el factor económico puesto que su construcción y mantenimiento es menos costoso que el de lodos activados. Los sistemas de lodos activados tienen un porcentaje de eficiencia superior, pero demandan una mayor inversión y requerimientos energéticos para el suministro de aire u oxígeno al sistema, por lo que solo entidades que dispongan de recursos financieros pueden enfrentar esos gastos que posteriormente se revertirán en una mayor calidad del agua tratada.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales por lodos activados existentes en la provincia de Matanzas corresponden a entidades mixtas que operan en el sector turístico en la playa de Varadero. En este trabajo investigativo de los siete subsistemas que en la actualidad son operadas por la Empresa Aguas Varadero, se hará referencia a dos plantas de tratamiento por lodos activados (Sol Palmeras e Hicacos) y dos sistemas lagunares de estabilización (Siguapa y Taínos II). La ubicación geográfica de estos en la Península de Hicacos, se muestran en la **Figura 2.3**.



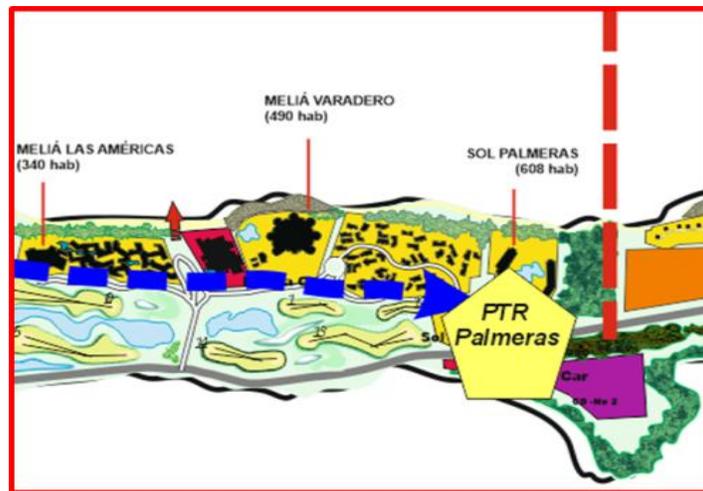
**Figura 2.3 Ubicación de los sistemas de tratamiento.**  
Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

A continuación se realiza una descripción detallada de cada sistema de tratamiento evaluado en la presente investigación.

### 2.2.1 Sistema de Tratamiento por lodos activados Sol Palmeras

La planta de tratamiento en estudio trata el agua residual de los hoteles Sol Palmeras, Meliá Varadero y Meliá Las Américas, es la primera planta por lodos activados construida en la península de Hicacos a principios de la década del 90. En la **Figura 2.4** se observa el esquema de la distribución de las estaciones de bombeo que tributan a la misma.



**Figura 2.4 Esquema de las estaciones de bombeo de aguas residuales que tributa a Sol Palmeras.**

Fuente: Barroso, (2014).

Esta planta está dotada de un pre - tratamiento de desbaste donde la separación de sólidos se realiza mediante un tamiz de malla de acero inoxidable de 2 mm de paso, con una capacidad de tratamiento de 100 m<sup>3</sup>/h, en el cual se elimina los sólidos de mayor tamaño presentes. Seguidamente el agua pasa a un separador de grasas manual provisto de un tabique deflector para la recolección de las grasas de la superficie.

Como sistema fundamental de depuración, la planta dispone de un sistema de lodos activados a flujo pistón. La oxidación biológica tiene lugar en un tanque regular subdividido mediante dos tabiques interiores que delimitan tres canales o compartimentos de circulación. El sistema de suministro de aire está constituido

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

---

por aireación de fondo mediante difusores de cerámica porosos en forma de domos que en un número de 252 se distribuyen equitativamente en cada sección del tanque.

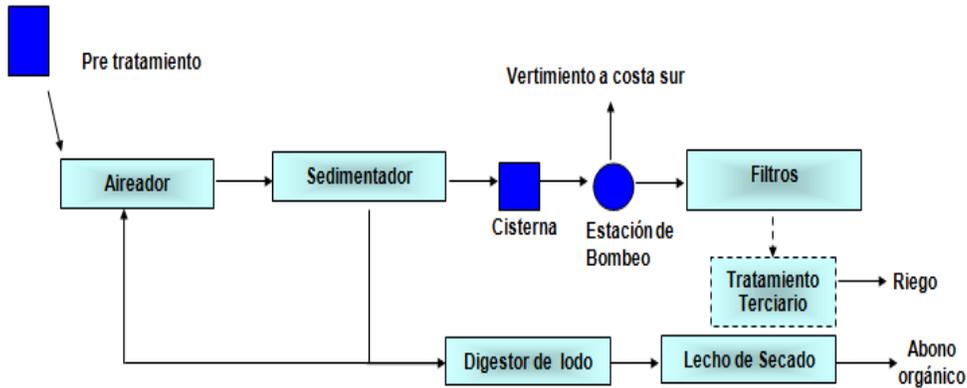
La sedimentación ocurre en tres sedimentadores estáticos troncopiramidales, dotados de una placa atenuadora a la entrada del caudal proveniente del tanque de aireación. En el borde opuesto a la entrada del caudal se encuentra un canal de reboso y una placa deflectora para la recolección del efluente. El retorno de los lodos se realiza mediante tres bombas conectadas a cada uno de los sedimentadores.

La regulación del caudal de recirculación se realiza mediante válvulas de mariposa conectadas en línea, con derivación hacia el paso de digestión aerobia de lodos.

La digestión aerobia de lodos ocurre en otro tanque rectangular que proporciona una capacidad de digestión de 140 kg de lodos diariamente, con un caudal de extracción de 28 m<sup>3</sup> al día. El suministro de aire se realiza mediante difusores de cerámica porosos, que en número de 56 se reparten por el fondo del tanque. La evacuación de los lodos se realiza mediante dos bombas sumergibles.

Finalmente, los lodos se extraen del sistema mediante bombas hacia un lecho de secado, compuesto por un lecho de áridos de diferente granulometría cubierto por ladrillos a junta abierta.

El efluente del proceso se obtiene por reboso en los tanques sedimentadores y se almacena en una cisterna. Posteriormente parte de esta agua se emplea en el riego de las áreas verdes de las instalaciones del Hotel Sol Palmeras y el Campo de Golf. Aproximadamente del 40 al 60 % se vierte hacia la costa sur de la Península de Hicacos (Bahía de Cárdenas). El diagrama de flujo de la planta de tratamiento se muestra en la **Figura 2.5**.

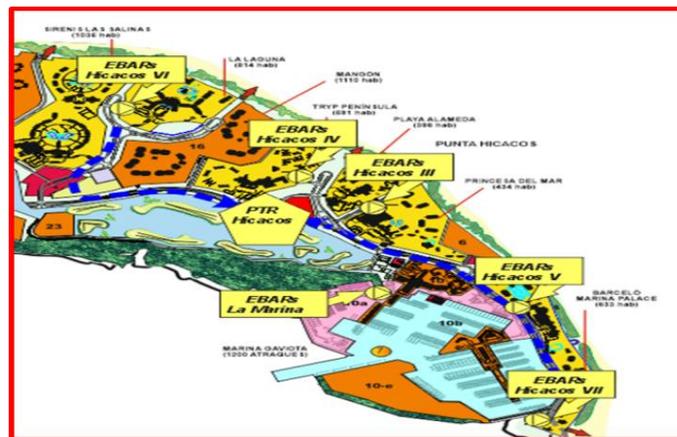


**Figura 2.5 Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento por lodos activados de Sol Palmeras.**

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2 Sistema de Tratamiento por lodos activados Hicacos

A esta planta a través de seis estaciones de bombeo llegan los residuales líquidos provenientes de nueve hoteles (Laguna Azul, Laguna Doradas, Memori, Meliá Península, Alameda, Princesa del Mar, Fiesta Americana Punta Varadero, Meliá Marina Gaviota y Marina Gaviota). La planta es la mayor de todo el polo. Su construcción se realizó por etapas y actualmente consta de tres módulos depurativos. En la **Figura 2.6** se muestra el esquema de la distribución de las estaciones de bombeo que tributan a la misma.



**Figura 2.6 Esquema de las estaciones de bombeo de aguas residuales que tributa a Hicacos.**

Fuente: Barroso, (2014).

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

---

La planta está dotada de un pre - tratamiento de desbaste donde la separación de sólidos se realiza mediante dos tamices rotatorio de malla de acero inoxidable de 2 mm de paso, en el cual se eliminan los sólidos de mayor tamaño. Cuenta con un desarenador – desengrasador que separa las arenas y las grasas por sedimentación y flotación respectivamente. Los residuales pre tratados son distribuidos a los tres módulos mediante registros de distribución y de aquí a los tanques de homogenización. Estos poseen una capacidad de 180 m<sup>3</sup> cada uno, cuyo fin es establecer un flujo constante hacia los aireadores y evitar sedimentaciones y proliferación de malos olores por anoxia. Posee dos aireadores *Venturi jet* cada uno que introducen el aire necesario para estas funciones. Posee cuatro bombas (*ABS PUMS*) con un caudal de 5 y 20 L/s para enviar el agua hacia el reactor biológico.

Este tratamiento secundario es por lodos activados en oxidación total con nitrificación. Está compuesto por cuatro selectores en cada etapa constructiva, donde se mezcla el agua cruda con los lodos de retorno en un laberinto de flujo ascendente – descendente durante 35 minutos y con ayuda de un sistema de aireación. De ahí pasa al reactor biológico o aireador correspondiente de 322 m<sup>3</sup> donde tendrá un tiempo de retención de 24 horas.

En las **Figuras 2.7** y **2.8** se muestran fotos de la planta desde la unidad de pre tratamiento y otra del reactor aerobio.



**Figura 2.7** Vista de la planta.



**Figura 2.8** Reactor biológico aerobio.

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

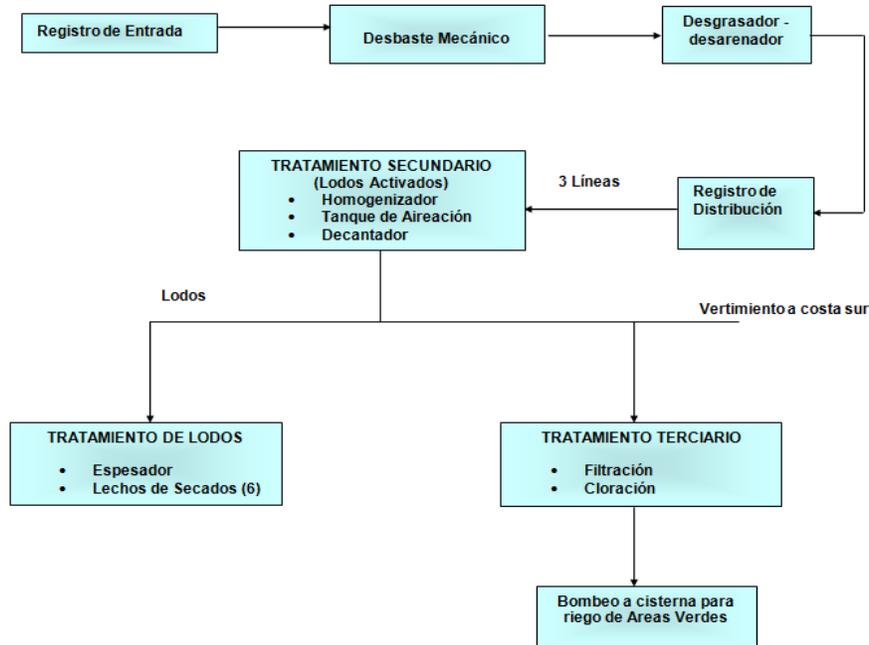
---

Después de finalizar el tiempo de retención en el reactor, la mezcla pasa al decantador de sección circular que tiene un flujo radial de  $500 \text{ m}^3$ , este permite la salida del agua clarificada por la canaleta perimetral y la sedimentación de los lodos que fluyen hacia el centro debido a la inclinación de los fondos y el rastrillo del puente raspador. Posteriormente se dirige a la torre de lodos donde se bombean hacia el reactor biológico. Para esta función se encuentran dos bombas de  $15 \text{ L/s}$  y para la purga de lodos una de  $6,5 \text{ L/s}$ .

La planta cuenta con sistema terciario que incluye las operaciones de filtración y desinfección. El filtro posee una capacidad de  $55 \text{ m}^3/\text{h}$ , es de limpieza automática que se alterna con aire y agua a contracorriente. La cama filtrante es de arena sílice de granulometría tal que retienen los huevos de helmintos que poseen un tamaño medio de  $50 \mu\text{m}$ . Los huevos que no son retenidos se inactivan con la ruptura de su cubierta por las variaciones de presión al atravesar la capa filtrante. El agua procedente del filtro será desinfectada mediante la inyección de hipoclorito de sodio al  $5 \%$  en la conductora hacia la cisterna. Posteriormente se bombea a la red de distribución de agua de reuso para riego, a través de una bomba de  $15 \text{ L/s}$ . Se cuenta con una bomba de  $3 \text{ L/s}$  para reuso de agua tecnológica.

Los lodos en exceso se extraen del decantador y se envían al espesador con capacidad de  $91 \text{ m}^3$ . Los lechos de secados están conformados por seis unidades de  $96 \text{ m}^2$ .

## Capítulo 2 Materiales y Métodos



**Figura 2.9 Diagrama de flujo de la Planta de Tratamiento por lodos activados Hicacos.**

Fuente: Elaboración propia.

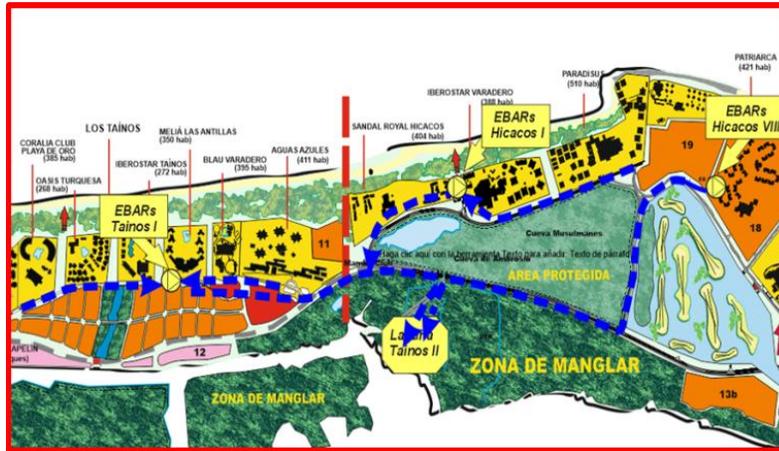
En la actualidad la capacidad de reuso de la planta es de solo un 10 %, índice muy por debajo de la instalada. Los principales hoteles receptores de aguas de reuso son: Patriarca, Laguna Azul, Lagunas Doradas, Memori, Meliá Península, Alameda, Princesa del Mar y Fiesta Americana Punta Varadero y se emplea en las labores de riego de jardines y áreas verdes. El resto se vierte hacia la costa sur de la Península de Hicacos (Bahía de Cárdenas) a través de un sistema de colección de pluviales cercano a la entrada de Marina Gaviota. El diagrama de flujo de la planta de tratamiento se muestra en la **Figura 2.9**.

### 2.2.3 Sistema Lagunar Taínos II

El sistema de tratamiento lo conforman dos lagunas conectadas en series precedidas por un digestor – sedimentador anaeróbico. A través de dos estaciones de bombeo llegan los residuales líquidos provenientes de los hoteles: Blau Varadero, Riu Turquesa, Playa de Oro, Iberostar Taínos, Meliá Antillas, Starfish Varadero, Royalton, Paradisus, Patriarca, Iberostar Varadero. En la **Figura 2.10** se

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

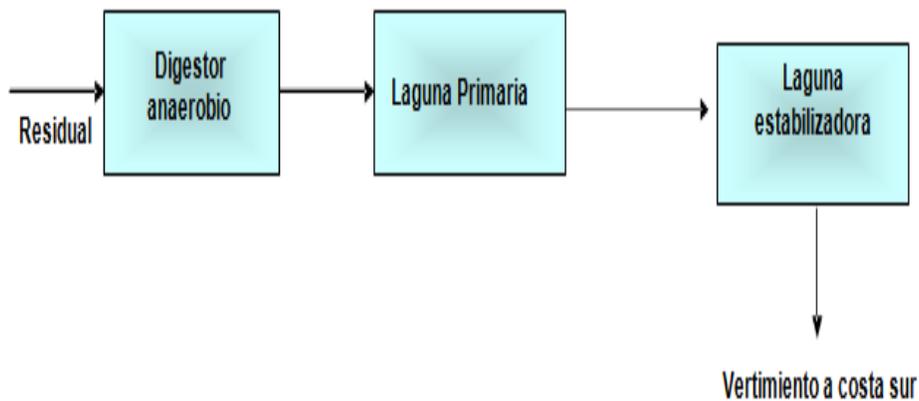
muestra el esquema de la distribución de las estaciones de bombeo que tributan al mismo.



**Figura 2.10 Esquema de las estaciones de bombeo de aguas residuales que tributa a Taínos.**

Fuente: Barroso, (2014).

El destino final del efluente tratado es la costa sur de la Península de Hicacos (Bahía de Cárdenas). En la laguna de oxidación Taínos II se elaboró el proyecto de inversión para la incorporación de un tratamiento terciario y minimizar su impacto en la zona costera al reutilizar su efluente en el riego de áreas verdes. El comienzo de estas obras está pendiente de financiamiento. El diagrama de flujo de este sistema lagunar se muestra en la **Figura 2.11**.

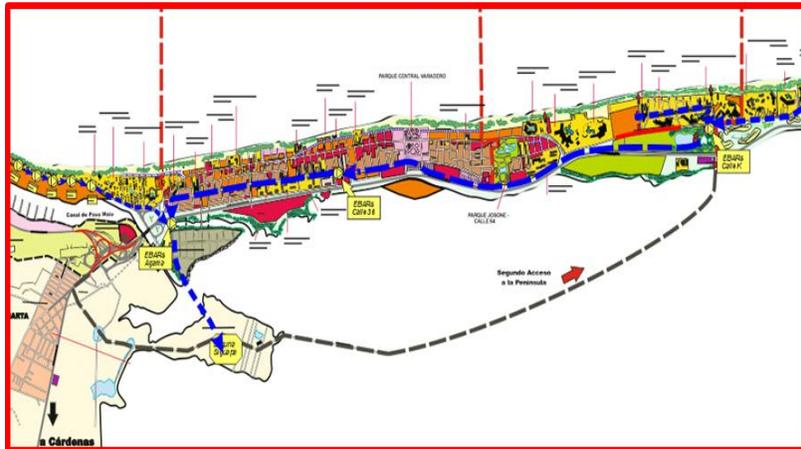


**Figura 2.11 Diagrama de flujo del sistema lagunar Taínos II.**

Fuente: Elaboración propia.

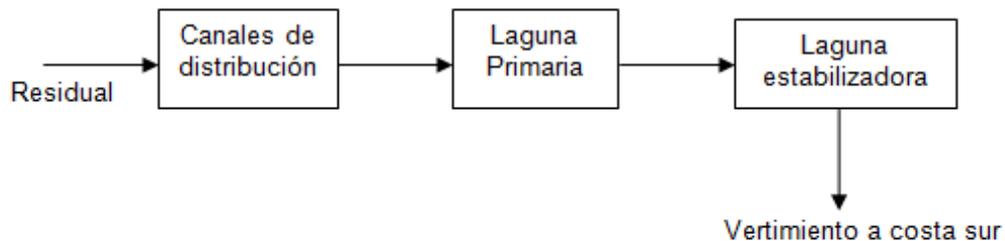
### 2.2.4 Sistema Lagunar Siguapa

El sistema consiste en dos lagunas conectadas en series. A través de 3 estaciones de bombeo y rebombeo la laguna recibe los residuales líquidos de las instalaciones turísticas Riu Las Morlas, Coral Sirena, Tuxpán, Bella Costa, Solymar, Arenas Blancas, Cuatro Palmas, Dos Mares, Palma Real, Los Delfines, Villa Lupe, Villa Lamar, Mar del Sur, Playa Azul, Villa Caleta, Sun Beach, Acuazul y Varazul, Turquino, Barlovento, Club Tropical y las aguas residuales urbanas procedentes de la población desde la Calle 13 hasta la Calle 46. El destino final del efluente tratado es la costa sur de la Península de Hicacos (Bahía de Cárdenas). En la **Figura 2.12** se muestra el esquema de la distribución de las estaciones de bombeo que tributan al mismo.



**Figura 2.12** Esquema de las estaciones de bombeo de aguas residuales que tributa a Siguapa.

Fuente: Barroso, (2014).



**Figura 2.13** Diagrama de flujo del sistema lagunar Siguapa.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3 Caracterización Físico Geográfico y condiciones ambientales de la Bahía de Cárdenas

La Bahía de Cárdenas tiene una extensión superficial de 514 km<sup>2</sup> y puede considerarse como una amplia laguna costera. Se ubica en la costa norte de la provincia de Matanzas. Limita al noroeste con la estrecha península de Hicacos y al suroeste y sureste con la costa firme de la Isla de Cuba.

Por su configuración la Bahía de Cárdenas es una bahía abierta, pero al tener situada frente a su entrada una franja de cayos, el intercambio efectivo con aguas de mar abierto es deficiente lo que hace que disminuya el poder autodepurador de la misma (Sende *et al.*, 2017).

Según CITMA, (2002) los resultados de estudios que se realizaron a diferentes ecosistemas marinos de Cuba con diversos grados de calidad, permiten determinar que los nutrientes (nitrogenados y fosforados), los microcontaminantes (hidrocarburos del petróleo, plaguicidas organoclorados y metales pesados) y los microorganismos procedentes de la actividad humana constituyen los principales indicadores de los procesos de contaminación que se generan en los mismos. Aunque los niveles de contaminación de la Bahía de Cárdenas son de diferentes tipos y orígenes, aún son relativamente bajos. No obstante, se determinan concentraciones apreciables de nutrientes (compuestos de fósforo, nitrógeno y silicatos) y en la concentración de sólidos suspendidos en los últimos diez años, que sobrepasan los índices de calidad para este tipo de agua según las Normas Cubanas (CITMA, 2002; Sendé *et al.*, 2017).

En el informe sobre el diagnóstico de la calidad ambiental del ecosistema de la zona Varadero - Cárdenas que presenta el Centro de Investigación de Manejos de Bahías (CIMAB) (Sendé *et al.*, 2017) se reporta que para el nitrógeno amoniacal se alcanzan elevadas concentraciones en algunas de las estaciones ubicadas dentro de la bahía y para el fósforo los niveles sobrepasaron las normas de calidad en todas las estaciones, mientras que para el nitrógeno en forma de nitritos y en forma de nitratos se obtuvo bajas concentraciones en todas las estaciones muestreadas lo que evidencia que estos compuestos no constituyen un

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

---

contaminante de peso en el área monitoreada. En cuanto a la presencia de oxígeno disuelto se reporta que tanto en la superficie como en el fondo se alcanzan valores estables por encima de 6,5 mg/L.

Los estudios de las comunidades biológicas relacionados con los parámetros hidroquímicos indican un mayor grado de eutroficación en el litoral costero cercano a la Ciudad de Cárdenas y especialmente en la zona de los pedraplenes, donde la escasa circulación de las aguas y la cercanía de vertimientos de aguas residuales provocan la presencia de altas concentraciones de algas, que bajo ciertas condiciones pueden provocar una marea roja (Sende *et al.*, 2017).

### **2.4 Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas residuales procedentes de los sistemas de tratamiento**

Se realiza un análisis de toda la información referida a cada sistema de tratamiento en estudio y se emplean los datos de caudales aportados por la Empresa Aguas Varadero a partir de las variaciones diarias (fluctuaciones en los caudales).

Las aguas residuales afluentes de todos los sistemas se caracterizan por ser un líquido turbio de color gris y su olor no es francamente ofensivo. En ellas se observan sólidos flotantes de gran tamaño (materia fecal, papel y desperdicios de cocina, entre otras materias suspendidas), y sólidos desintegrados de menor tamaño. Su aspecto turbio se debe a la presencia de sólidos muy pequeños en suspensión coloidal.

Para realizar el análisis físico-químico y microbiológico de estas aguas residuales (afluentes y efluentes) se lleva a cabo la recopilación de diferentes muestreos realizados por el Laboratorio de la Empresa Aguas Varadero, durante el año 2017 en cada uno de los sistemas de tratamiento en estudio. Además de muestreos realizados por el Centro de Servicios Ambientales de Matanzas (CSAM) en el mes de diciembre de 2017.

El muestreo para los análisis físico-químicos se realiza según establece la norma ISO 5667-1:(1993). Las muestras se colectan en frascos de vidrio de color ámbar

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

---

con capacidad de 5 L y se conservan en refrigeración en un intervalo de temperatura de 2-5 °C hasta la llegada al laboratorio.

El muestreo para el análisis microbiológico se realiza por la norma ISO 5667-3: (1994). Las muestras se recogen en frascos de vidrios de color ámbar estéril de capacidad 120 mL y se conservan en neveras con hielo para su transportación hasta el laboratorio.

### 2.4.1 Determinaciones analíticas

Las muestras que se procesan en el Laboratorio de Monitoreo Ambiental perteneciente al CSAM y que se ubica en las instalaciones de la Universidad de Matanzas, Sede Camilo Cienfuegos se rige según el *Standard Methods of Analysis of Water and Wastewater* (AWWA APHA, WPCP, 2005) para el análisis físico-químico y microbiológico de las muestras de agua residual.

#### **Análisis físico-químico de las muestras de agua residual**

Temperatura: se realiza medición directa *in situ* con termómetro.

pH: se emplea método de Potenciometría Directa. Se utiliza un pH metro digital HANNA pH 213 con electrodo de vidrio combinado. Representa una medida del grado de acidez o alcalinidad de un agua residual.

Sólidos Totales, Suspendidos y Solubles Totales: para su determinación se utiliza el método gravimétrico. Los sólidos totales son los que constituyen el residuo después de evaporarse una muestra a sequedad a una temperatura entre 103 y 105 °C. Dentro de estos tenemos:

- ✚ Sólidos totales fijos: se obtienen mediante la materia inorgánica que se encuentra en la muestra en forma de ceniza. (Las sales inorgánicas se descomponen a 550°C).
- ✚ Sólidos totales volátiles: se determinan por la diferencia de los totales con los fijos, ya que es el contenido de materia orgánica y es importante su determinación para conocer la estabilidad biológica de los lodos.

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

---

Los sólidos suspendidos totales brindan información sobre la posibilidad de sedimentación total en el sistema.

- ✚ Sólidos suspendidos fijos: muestran la cantidad de materia inorgánica presente en las aguas residuales. Se obtienen después de ser llevada la muestra a 550 °C donde se escapan los volátiles.
- ✚ Sólidos suspendidos volátiles: se determinan por la diferencia de los totales con los fijos y brindan información acerca de los microorganismos en el sistema.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): se utiliza el método volumetría Redox. Oxidación de la muestra con dicromato de potasio en medio ácido y valoración por retroceso con sal de Mohr.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>): esta determinación brinda un estimado del oxígeno disuelto requerido por los microorganismos en la degradación de los compuestos biodegradables. Se realiza por el método respirométrico mediante la incubación de la muestra a 20 °C durante 5 días con las mediciones de la concentración de oxígeno disuelto al inicio y al finalizar el proceso de incubación. La diferencia entre los consumos de oxígeno expresa el contenido de la DBO<sub>5</sub>.

Alcalinidad: los iones hidróxilo presentes en una muestra de agua, como resultado de la disociación o hidrólisis de sales son neutralizados por reacción cuantitativa con un ácido de concentración conocida y se utiliza como indicador anaranjado de metilo.

Anión Cloruro (Cl<sup>-</sup>): se realiza mediante el método de volumetría por precipitación (método de Mohr), donde se precipita cuantitativamente como cloruro de plata por la adición de una disolución de nitrato de plata, en medio neutro o ligeramente alcalino. El punto final de la valoración se determina al agregar, como indicador una pequeña cantidad de cromato de potasio. Se forma el cromato de plata (Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>), que es un precipitado de color rojizo. La determinación se realiza por valoración con una solución de nitrato de plata al 0,1 mol/L.

### **Análisis microbiológicos de las muestras de agua residual**

Los parámetros microbiológicos a estudiar son los Coliformes Totales (CT) y Coliformes Fecales o Termotolerantes (CF). La determinación de estos organismos se realiza mediante la técnica de fermentación en tubos múltiples, con la series de 3 tubos según la metodología descrita en AWWA APHA, WPCP, (2005). Para la prueba presuntiva y confirmatoria de CT se utiliza el caldo Lactosado y caldo Bilis Verde Brillante respectivamente, para la confirmación de CF se emplea caldo EC. Los resultados se expresan mediante el Número Más Probable (NMP) por 100mL.

### **2.5 Herramientas estadísticas para el procesamiento de los datos**

El procesamiento estadístico de los datos se realiza con el paquete *STARTGRAPHICS Plus 5.3* para *Windows*, donde se determinan los parámetros descriptivos tales como: la media muestral ( $X$ ), la desviación típica muestral ( $S$ ) y el coeficiente de variación ( $CV$ ). Además se analizan los Coeficientes de Asimetría ( $CA$ ) y de Curtosis ( $CC$ ) para comprobar la distribución normal de los datos obtenidos (Metcalf y Eddy, 2003).

Se realiza un análisis de varianza unifactorial para determinar la existencia o no de diferencias significativas en los parámetros de los afluentes y efluentes entre los cuatro sistemas de tratamiento estudiados. El criterio a tener en cuenta es el valor de la probabilidad para un 95 % de confianza.

### **2.6 Evaluación de los sistemas de tratamiento**

En la evaluación de cada uno de los sistemas de tratamiento se incluye la caracterización estadística de los parámetros ambientales del agua residual (afluente y efluente) y el funcionamiento de cada sistema se evalúa respecto a la normativa para el vertimiento a zonas costeras NC-521:2007. Esta norma regula los requisitos para el vertimiento de aguas residuales generadas por actividades socio-económicas a la zona costera y aguas marinas y tiene como objetivo prevenir la contaminación de los ecosistemas marinos y marinos costeros. En la misma se establece una clasificación cualitativa de los cuerpos receptores marinos

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

---

donde se tiene en cuenta las características de los ecosistemas y el uso socio-económico. La zona costera donde se vierten los efluentes residuales procedentes de los sistemas de tratamiento, clasifica según sus diferentes usos en: Clase B: Áreas marinas dedicadas al baño y donde se realizan actividades recreativas en que las personas entren en contacto con el agua, Clase C: Áreas marinas donde se desarrolla la pesca, Clase E: Áreas marinas donde se desarrolla la actividad marítimo portuaria y Clase F: Áreas marinas para la navegación y otros usos. En el **Anexo 1** se muestra Tabla extraída de la NC-521: 2007, con los Límites Máximos Permisibles para el vertimiento de aguas residuales a zonas costeras.

### 2.6.1 Cálculo de la eficiencia de remoción

En el sistema de tratamiento en estudio, la evaluación se realiza mediante el cálculo de la eficiencia de remoción ( $\varepsilon$ ) (MOPT, 1991; Menéndez *et al*, 2007) que no es más que la expresión de la concentración contaminante y se obtiene según la ecuación (2.1):

$$\varepsilon = S_0 - \frac{S}{S_0} \quad (2.1)$$

Donde:  $S_0$ : concentración del contaminante en el afluente.

$S$ : concentración del contaminante en el efluente.

Se selecciona como parámetros de referencia la DQO,  $DBO_5$ , los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y el contenido de CF debido al grado de contaminación del residual, además de ser parámetros que contemplan las normas cubanas para el vertimiento de aguas residuales en zonas costeras y aguas marinas (NC-521: 2007).

### 2.7 Compilación de datos correspondientes a los muestreos en las estaciones asociadas a cada sistema de tratamiento en el período del 2013-2017

Desde el año 2013 la Delegación Territorial del CITMA (Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente) de Matanzas en coordinación con la sociedad mercantil cubana Inversiones Gamma S.A., a través de su División Ambiental

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

---

(GAMMA) realizan contratos pertinentes para la ejecución del Servicio Científico Tecnológico (SCT) “Monitoreo de la calidad de las aguas en la costa norte y sur de la Península de Hicacos utilizando indicadores de la respuesta rápida”. En estos contratos participan entidades como el Instituto de Oceanología (IDO) y el Centro de Servicios Ambientales de Matanzas (CSAM).

Toda la información obtenida se basa en el monitoreo de una red de estaciones para la matriz agua marina que comprende un total de 13, distribuidas en toda la costa sur de la Península de Hicacos, con un total de 10 campañas (dos en el año 2013 en los meses de junio y diciembre, tres en el 2014 en los meses de abril, julio y octubre, dos en el 2015 en los meses de enero y septiembre, en el año 2016 en los meses de marzo y octubre) y una campaña en el mes de diciembre del 2017. La ubicación de cada punto de muestreo fue conciliado con las estaciones que monitorean el Centro Provincial de Higiene y Epidemiología de Matanzas. Solo la zona marina de las descargas del sistema lagunar de Siguapa no se incluyen en estos estudios. En el **Anexo 2** se muestra la red de estaciones en los estudios antes mencionados.

### **2.7.1 Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas marinas asociadas a cada sistema de tratamiento en las campañas de muestreo desde el 2013-2017**

Para la selección de los parámetros de calidad del agua a analizar, se tiene en cuenta, los requisitos de la norma cubana (NC) para zonas de baño NC-22 (ONN, 1999a) y, en su defecto, la NC-25 (ONN, 1999b) para aguas de uso pesquero, otros estándares internacionales.

Los parámetros a evaluar son DQO, DBO<sub>5</sub>, Oxígeno Disuelto, pH, temperatura, salinidad, nutrientes orgánicos e inorgánicos y calidad sanitaria que incluye las determinaciones de los coliformes totales y termotolerantes o fecales.

En el **Anexo 3** se presenta Tabla con las metodologías utilizadas en cada uno de los análisis.

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

Se propone el empleo del índice de calidad química de las aguas (**Anexo 4**) que las clasifica en “buena calidad”, “calidad regular” y “mala calidad”, con las bases de datos históricos de la zona costera del norte de Cuba propuesto por Martínez *et al.*, (2004), con el objetivo de obtener los rangos de concentraciones que respondan a diferentes categorías tróficas y de calidad ambiental, puesto que las normas de calidad cubana para uso recreacional no definen cuando un agua es de buena calidad en cuanto a los nutrientes. En la actualidad este índice es el que se aplica en la Península de Hicacos por la rigurosidad con que evalúa y la importancia que posee para el futuro desarrollo turístico en dicha la zona. Respecto a la NC-25: 1999 existen algunas diferencias, pues esta es más flexible en cuanto a los límites permisibles de los parámetros que se refieren a nutrientes.

### **2.8 Análisis físico –químico y microbiológico de los puntos de dispersión en la zona costera asociados a los sistemas de tratamiento en estudio**

La evaluación de la calidad de las aguas al sur de la Península de Hicacos en puntos de dispersión asociados a cada sistema de tratamiento en estudio, se realiza entre los meses de diciembre de 2017 a enero de 2018 correspondiente con la etapa poco lluviosa en Cuba (noviembre-marzo). Este se divide en cuatro zonas y se realiza un estudio de línea base, con la ejecución de cinco muestreos en un período de no más de 30 días, como hace referencia la NC-22: 1999 para los lugares en masas de aguas costeras que se empleen para uso recreativo. Las zonas de estudio y números de estaciones seleccionadas se muestran en la **Tabla 2.1**.

**Tabla 2.1 Zonas de estudio y números de estaciones.**

| Zona de estudio   | Localización  | Número de estaciones |
|-------------------|---|----------------------|
| Zona Hicacos      | Descarga por drenaje pluvial de los efluentes secundarios de la PTR Hicacos y Marina Gaviota. | 5                    |
| Zona Taínos       | Descarga de los efluentes del sistema lagunar Taínos II y canal de Chapelín.                  | 3                    |
| Zona Sol Palmeras | Descarga de los efluentes de la PTR Sol Palmeras – Las Conchas                                | 4                    |
| Zona Siguapa      | Descarga de los efluentes del sistema lagunar de Siguapa.                                     | 4                    |

Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

En el **Anexo 5** se muestran la ubicación espacial de los puntos o estaciones de dispersión asociados a cada zona de estudio y en las **Tablas** desde **2.2** a la **2.5** los códigos, descripción y coordenadas georeferenciadas de cada una de estas. Las coordenadas fueron tomadas con un equipo GPS marca *Magellan 2000* desde la embarcación.

**Tabla 2.2 Códigos, descripción y coordenadas georeferenciadas de la zona de Hicacos.**

| Código | Descripción                                      | Coordenadas Georeferenciadas |              |
|--------|--|------------------------------|--------------|
|        |  | Latitud N                    | Longitud W   |
| PDTH   | Punto de descarga de los tubos de la PTR Hicacos | 23°11'41,12"                 | 81°07'54,06" |
| PDCH   | Punto de descarga del canal de la PTR Hicacos    | 23°11'32,00"                 | 81°08'02,76" |
| PCH    | Punto C de Hicacos                               | 23°11'32,82"                 | 81°08'30,19" |
| PBH    | Punto B de Hicacos                               | 23°11'24,45"                 | 81°08'00,58" |
| PAH    | Punto A de Hicacos                               | 23°11'21,90"                 | 81°07'53,00" |

**Tabla 2.3 Códigos, descripción y coordenadas georeferenciadas de la zona de Taínos.**

| Código | Descripción                                    | Coordenadas Georeferenciadas |              |
|--------|--|------------------------------|--------------|
|        |  | Latitud N                    | Longitud W   |
| PDT    | Punto de descarga de Taínos                    | 23°11'17,29"                 | 81°09'42,92" |
| PAT    | Punto A de Taínos                              | 23°11'10,46"                 | 81°09'37,85" |
| PCT    | Punto C de Taínos dentro del Canal de Chapelín | 23°11'18,59"                 | 81°09'58,40" |

**Tabla 2.4 Códigos, descripción y coordenadas georeferenciadas de la zona de Sol Palmeras.**

| Código | Descripción                              | Coordenadas Georeferenciadas |              |
|--------|--|------------------------------|--------------|
|        |  | Latitud N                    | Longitud W   |
| PDSP   | Punto de descarga de la PTR Sol Palmeras | 23°10'26,82"                 | 81°12'03,48" |

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

|      |                         |              |              |
|------|-------------------------|--------------|--------------|
| PASP | Punto A de Sol Palmeras | 23°10'20,60" | 81°12'08,49" |
| PBSP | Punto B de Sol Palmeras | 23°10'20,30" | 81°12'01,23" |
| PCSP | Punto C de Sol Palmeras | 23°10'20,38" | 81°11'57,53" |

**Tabla 2.5 Códigos, descripción y coordenadas georeferenciadas de la zona de Sigüapa.**

| Código | Descripción                  | Coordenadas Georeferenciadas |              |
|--------|------------------------------|------------------------------|--------------|
|        |                              | Latitud N                    | Longitud W   |
| PDS    | Punto de descarga de Sigüapa | 23°07'36,49"                 | 81°16'15,96" |
| PAS    | Punto A de Sigüapa           | 23°07'34,44"                 | 81°16'12,18" |
| PBS    | Punto B de Sigüapa           | 23°07'33,38"                 | 81°16'16,42" |
| PCS    | Punto C de Sigüapa           | 23°07'32,64"                 | 81°16'19,22" |

### 2.8.1 Toma de muestra de agua marina, preservación y almacenamiento

#### Muestreo de la calidad físico – química

Las muestras de aguas se tomaron en cada estación según lo establecido (ISO 5667-1, 1993 e ISO 5657-3, 1994) en superficie a 30 cm. por debajo la interfase aire - agua, desde la embarcación en todas las estaciones. *In situ* se realizan mediciones de temperatura del agua en superficie. Las muestras se almacenan en frascos plásticos de capacidad 0,5 L y se colocan en neveras con hielo para la transportación al laboratorio, donde se realizan mediciones de pH y salinidad. En el laboratorio son congeladas hasta ser procesadas, se cuantifican la Demanda Química de Oxígeno, nitrógeno de nitratos, nitritos y amonio y las concentraciones de fósforo inorgánico y fósforo total por las metodologías consignadas por (FAO, 1975 e IOC-UNESCO, 1983 y 1993).

#### Muestreo de la calidad microbiológica

Las muestras de agua se colectan en frascos estériles, a una profundidad variable según estación, a contracorriente del flujo entrante y a 30 cm por debajo la

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

---

interfase aire-agua. La preservación de las muestras, se realiza de acuerdo con las especificaciones de ISO 5667-3: (1994) y Grasshoff *et al.*, (2002). Los parámetros microbiológicos a estudiar son los coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) o termotolerantes. La determinación de estos organismos se lleva a cabo mediante la Técnica de Fermentación en Tubos Múltiples (NMP), con series de tres tubos según la metodología descrita en NC 93/01/128. (1988) y APHA (2005). Los resultados se expresan mediante el Número Más Probable (NMP) por 100 ml (APHA, 2005).

En el **Anexo 3** se presenta Tabla con las metodologías utilizadas en cada uno de los análisis empleados en los muestreos desde el 2013 al 2017.

Se propone el uso del índice de calidad química de las aguas con las bases de datos históricos de la zona costera del norte de Cuba representada en el **Anexo 4**.

### **Criterios de evaluación de calidad**

Para la selección de los parámetros de calidad del agua a analizar, se tiene en cuenta, los requisitos de las normas cubanas NC 22 (ONN, 1999a) y, en su defecto, la NC 25 (ONN, 1999b) y otros estándares internacionales.

Se cuenta para el análisis de toda la información con datos meteorológicos y datos de corrientes marinas, correspondientes al período de realización de la investigación.

### Capítulo 3 Resultados y Discusión

En el presente capítulo se muestran los resultados de los análisis correspondientes a las caracterizaciones de las aguas residuales provenientes de la actividad turística de la Península de Hicacos, los efluentes que son vertidos por los sistemas de tratamientos a estudiar, hacia la costa sur, así como las aguas marinas asociadas a los puntos de vertimiento. Se realiza una evaluación del funcionamiento de cada uno de los sistemas y se analiza el comportamiento de la contaminación en el área objeto de estudio, previamente descrita en el capítulo 2.

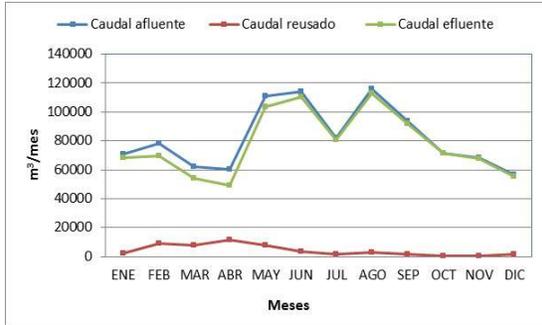
#### 3.1 Análisis físico-químico y microbiológico de las aguas residuales procedentes de los sistemas de tratamiento en estudio

El análisis detallado de los caudales a tratar en cualquier sistema de depuración es de vital importancia (Metcalf y Eddy, 2003) a la hora de proyectar las instalaciones para su recogida, tratamiento y evacuación. La autora considera que a partir de las determinaciones de este parámetro se puede evaluar cualquier sistema de tratamiento en cuanto a funcionamiento y eficiencia. Diversos autores (Benítez, 2003; Metcalf y Eddy, 2003 y Menéndez y Pérez, 2007) coinciden en afirmar que la curva diaria del caudal varía ligeramente de una población a otra como una curva unitaria, donde los valores límites se encuentran en función de la población servida, de las variaciones horarias y estacionales.

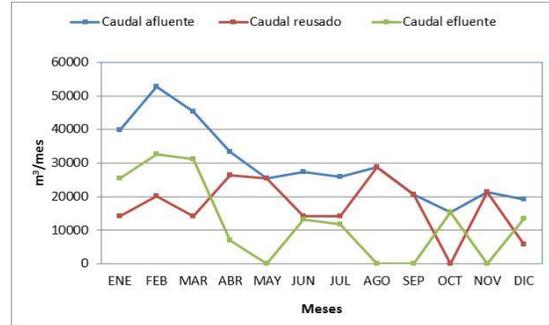
En la presente investigación se realiza un análisis de toda la información referida a cada planta en estudio con los datos de caudales brindados por la Empresa Aguas Varadero S.A, obtenidos a partir de las variaciones diarias.

Como se muestra en las **Figuras 3.1 a 3.4** para las variaciones de los caudales (Afluente y Efluente), de los tipos de sistemas de tratamiento (lodos y lagunas) los que mayores volúmenes por mes como promedio procesan son los sistemas lagunares con 120797,33 m<sup>3</sup>/mes para Taínos II y 105119,25 m<sup>3</sup>/mes para Siguapa, caudales que posteriormente son vertidos al mar del sur. Los sistemas por lodos activados tratan menos volumen al mes, la PTR Hicacos es la que procesa una mayor cantidad con 81977,25 m<sup>3</sup>/mes.

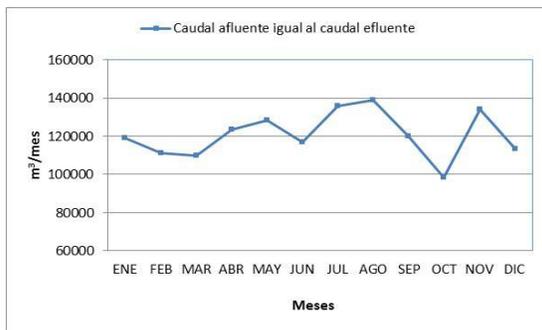
## Capítulo 3 Resultados y Discusión



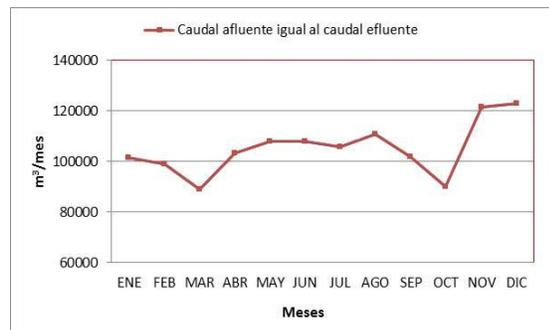
**Figura 3.1 Caudales PTR Hicacos.**



**Figura 3.2 Caudales PTR Sol Palmeras.**

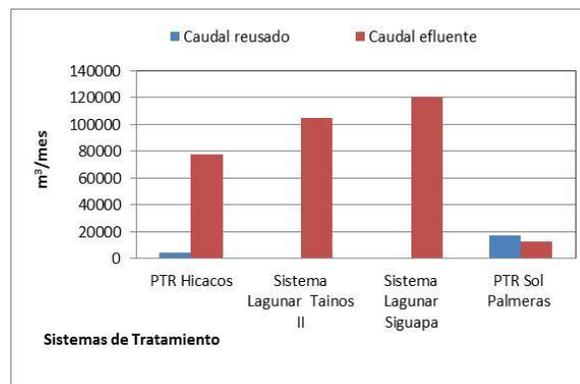


**Figura 3.3 Caudales Sistema Lagunar Tainos II.**



**Figura 3.4 Caudales Sistema Lagunar Siguapa.**

En las PTR existe una relación entre los caudales vertidos al mar del sur por cada una y los niveles de agua de reuso que se demandan por parte de los hoteles. En la **Figura 3.5** se muestra el comportamiento de los caudales promedio de efluentes y cantidades de reusos.



**Figura 3.5 Caudales vertidos y reusados por sistema de tratamiento.**

Como se evidencia en la figura antes mencionada, solo las PTR por lodos activados son las que demandan agua de reuso, de ellas Sol Palmeras es la que

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

mayores volúmenes entrega, principalmente al Campo de Golf, uno de los principales demandantes de agua para riego de sus áreas verdes. Los sistemas lagunares no presentan una infraestructura construida para la entrega de aguas de reuso por lo que toda el agua que trata es vertida al mar.

En las **Tabla 3.1** y **3.2** se muestran los resultados del procesamiento estadístico para los caudales afluentes y efluentes en cada una de los sistemas de tratamiento. Los datos se ajustan a una distribución normal puesto que los coeficientes de asimetría (CA) y de curtosis (CC) cumplen con el rango establecido de -2 y +2.

Los coeficientes de variación presentan una elevada dispersión dentro de sus rangos. Los sistemas PTR Hicacos y Laguna Siguapa muestran en el año 2017 una mayor variabilidad que corresponden con inestabilidad o dispersión media de los datos como se observa en las **Figuras 3.1** y **3.4**. Similares resultados se reportan para los caudales efluentes (**Tabla 3.2**), donde es la laguna Siguapa la que presenta mayor dispersión.

**Tabla 3.1 Resultados del procesamiento estadístico para los caudales afluentes para cada sistema de tratamiento.**

| <b>Sistemas</b>          | <b>Media</b><br>(m <sup>3</sup> /mes) | <b>S</b><br>(m <sup>3</sup> /mes) | <b>Mínimo</b><br>(m <sup>3</sup> /mes) | <b>Máximo</b><br>(m <sup>3</sup> /mes) | <b>CV</b> | <b>CA</b> | <b>CC</b> |
|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|--|-----------|-----------|-----------|
| <b>PTR Hicacos</b>       | 81977,3                               | 21494,8                           | 56690,0                                | 115808,0                               | 26,2      | 0,6       | -1,1      |
| <b>PTR Sol Palmeras</b>  | 105119,3                              | 10332,1                           | 88957,0                                | 122757,0                               | 9,8       | 0,2       | 0,0       |
| <b>Lagunas Tainos II</b> | 120797,3                              | 11973,7                           | 98400,0                                | 138756,0                               | 9,9       | -0,1      | -0,4      |
| <b>Lagunas Siguapa</b>   | 29631,4                               | 11260,0                           | 15394,0                                | 52840,0                                | 38,0      | 0,9       | 0,1       |

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

**Tabla 3.2 Resultados del procesamiento estadístico para los caudales efluentes para cada sistema de tratamiento.**

| Sistemas                 | Media<br>(m <sup>3</sup> /mes) | S<br>(m <sup>3</sup> /mes) | Mínimo<br>(m <sup>3</sup> /mes) | Máximo<br>(m <sup>3</sup> /mes) | CV   | CA   | CC   |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------|------|------|
| <b>PTR Hicacos</b>       | 77847,7                        | 22024,0                    | 48929,0                         | 112758,0                        | 28,3 | 0,5  | -1,1 |
| <b>PTR Sol Palmeras</b>  | 105119,3                       | 10332,1                    | 88957,0                         | 122757,0                        | 9,8  | 0,2  | 0,0  |
| <b>Lagunas Taínos II</b> | 120797,3                       | 11973,7                    | 98400,0                         | 138756,0                        | 9,9  | -0,1 | -0,4 |
| <b>Lagunas Siguapa</b>   | 12518,7                        | 12025,1                    | 0,0                             | 32693,0                         | 96,1 | 0,6  | -0,9 |

### 3.1.1 Caracterización estadística del afluente y efluente de los sistemas de tratamientos

Toda la información disponible de cada uno de los muestreos realizados en los sistemas de tratamiento en estudio por los laboratorios de Aguas Varadero y de Monitoreo Ambiental, perteneciente al CSAM, se muestran en el **Anexo 6** y sirven de base para la caracterización del afluente y el efluente de cada uno de los sistemas.

Como se muestra, todos los parámetros analizados en los sistemas de tratamiento presentan una distribución normal pues los coeficientes (para los afluentes y efluentes) de Asimetría y de Curtosis se encuentran en el rango establecido de -2 y +2.

Se observa inestabilidad en la mayoría de los parámetros a excepción de Temperatura y pH, esta inestabilidad puede ser a causa de la influencia de factores externos entre los que se pueden mencionar: el horario de toma de muestra, el funcionamiento de las estaciones de bombeo, y el funcionamiento de los sistemas, entre otras. Autores como Pujol, (1990) y Martínez, (2005) obtienen resultados similares y plantean, según datos obtenidos, que los procesos biológicos presentan gran dispersión.

En la **Tabla 3.3** se resumen los valores medios de los parámetros analizados en los afluentes de cada sistema de tratamiento en estudio.

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

Según Metcalf y Eddy, (2003) los valores de temperatura de los afluentes deben de ser mayores que los de los efluentes y esto se debe a la incorporación de aguas calientes. En Cuba por ser un país tropical los valores de este parámetro se encuentran en correspondencia con las temperaturas ambientales. Como se muestra para la temperatura se obtienen valores medios similares en todos los sistemas de tratamiento durante el año 2017.

**Tabla 3.3 Resumen de los valores medios de los parámetros analizados en los afluentes de cada sistema de tratamiento en estudio.**

| Sistema                  | Temp | pH               | Alcalinidad | Cloruros | DQO   | DBO <sub>5</sub> | S.T     | S.S.T | CF                   |
|--------------------------|------|------------------|-------------|----------|-------|------------------|---------|-------|----------------------|
|                          | (°C) | (Unidades de pH) | (mg/L)      |          |       |                  |         |       | (NMP/100 ml)         |
| <b>PTR Hicacos</b>       | 29,9 | 7,5              | 610,8       | 300,1    | 333,7 | 187,8            | 1256,7  | 126,7 | 7,5 x10 <sup>8</sup> |
| <b>PTR Sol Palmeras</b>  | 29,9 | 7,4              | 605,6       | 124,7    | 384,1 | 197,5            | 1230,0  | 126,7 | 2,4 x10 <sup>8</sup> |
| <b>Lagunas Tainos II</b> | 30,0 | 7,8              | 771,4       | 3553,2   | 461,0 | 217,8            | 12236,7 | 220,0 | 1,1 x10 <sup>8</sup> |
| <b>Lagunas Siguapa</b>   | 29,9 | 7,4              | 569,8       | 2379,3   | 427,3 | 205,6            | 5963,3  | 200,0 | 2,1 x10 <sup>8</sup> |

Diversos autores como MOPT, (1991), Martín, (2006), Terry *et al.*, (2006), Menéndez y Pérez, 2007) y Hernández *et al.*, (2017) presentan diferentes caracterizaciones en cuanto a composición de los principales constituyentes de las aguas residuales urbanas (**Anexo 7**), donde se definen intervalos típicos de concentración o carga contaminante para cada uno de los parámetros en: muy fuerte, fuerte, media o débil. También se emplean otras clasificaciones como: concentrado, medio o diluido. Estas clasificaciones se utilizan para el análisis de los resultados de los valores medios reportados para cada parámetro en los afluentes provenientes de los sistemas de tratamiento en estudio.

Las aguas que se suministran a las instalaciones hoteleras enclavadas en el polo turístico de Varadero poseen un pH que oscila entre 7 – 8, los cambios sensibles en este parámetro son provocados por el propio uso que se le dá a las mismas. Las unidades de pH reportadas en los afluentes de los sistemas de tratamiento son muy similares y oscilan entre 7,02 – 7,85. Estos valores, están fijados dentro del rango de clasificación de aguas con valores de medios a concentrados (**Anexo 7**). Otros autores como: González, (2005), Ruíz, (2014) y Rodríguez, (2016)

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

---

obtienen resultados similares para este tipo de muestras procedentes de los sistemas de tratamiento de aguas en el polo.

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco, propiedades que adquiere de las aguas de abasto subterráneas y los materiales añadidos en los usos domésticos. Las concentraciones medias para este parámetro varían entre 569,8 – 771,4 mg/L, rango que fue superior a lo referido por Terry *et al.*, (2006) para aguas residuales concentradas. A pesar de que este parámetro muestra un elevado coeficiente de variación (CV) el *P- Value* determinado (0,1171) es mayor que 0,05 por lo que no existen diferencias significativas entre los sistemas (**Anexos 8 y 9**).

La determinación de los cloruros es importante para el análisis de los parámetros de calidad en un agua residual, estos provienen de la disolución de suelos y rocas que están en contacto con el agua. Las concentraciones medias de este parámetro varía en los sistemas de tratamiento en estudio de 124,7 – 3553,2 mg/L, estos elevados valores puede ser producto a niveles de instrucción salina o de aguas subterráneas en las estaciones de bombeo que conducen los residuales hacia las PTR y lagunas. El sistema lagunar de Taínos II presenta las mayores concentraciones. Solo Terry *et al.*, (2006) hace referencia a las concentraciones de cloruros en las aguas residuales clasificándose muy superiores al límite de aguas concentradas (mayor de 150 mg/L). Resultados similares para la PTR Hicacos fue son obtenidos por Rodríguez, (2016).

Existen diferencias significativas en la concentración de cloruros entre los cuatros sistemas de tratamiento se comprueba a partir de un análisis de varianza unifactorial donde el valor de la probabilidad (*P- Value*) es menor que 0,05 (0,00), las diferencias entre los sistemas se aprecian en los **Anexos 8 y 9**. Los sistemas de tratamiento de aguas en la Península de Hicacos presentan cierta influencia de aguas subterráneas ricas en cloruros, ya sea por las estaciones de bombeo o asentamientos como es el caso de la laguna Siguapa.

Para la DQO diversos son los autores que coinciden con el rango de 200 – 1000 mg/L. Los efluentes estudiados reportan concentraciones medias de DQO de

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

---

337,7 – 461,0 mg/L clasificándose las aguas residuales entre media y concentrada. El sistema lagunar de Taínos II presenta las mayores concentraciones de materia orgánica expresadas como DQO. Ruíz, en el 2014 reporta concentraciones de DQO para la PTR Hicacos con rangos de valores de 130 – 684 mg/L. Respecto a este parámetro no existen diferencias significativas entre los sistemas de tratamientos estudiados, con un *P- Value* de 0,1128 **(Anexos 8 y 9)**.

En relación a la DBO<sub>5</sub> las concentraciones medias oscilan entre 187,0 – 217,8 mg/L, comprendidas en el rango de débil a media. El sistema lagunar de Taínos II presenta los mayores valores. No existen diferencias significativas entre los sistemas para un valor de *P-Value* de 0,8227.

Al analizar los sólidos totales y suspendidos se encuentra que los totales varían desde 1230,0 hasta 12236,7 mg/L, valores muy elevados que superan el límite, típico para aguas de clasificación fuerte o concentrada según **Anexo 7**. Los sistemas lagunares son los que presentan mayores concentraciones de este parámetro, al igual que en los sólidos suspendidos que oscilan entre 126,7 – 220,0 mg/L, los cuales clasifican las aguas residuales afluentes de concentración media a fuerte. Según el análisis estadístico existen diferencias significativas entre todos los sistemas en cuanto al contenido de los sólidos analizados con valores de *P-Value* inferiores a 0,05 (0,0000 para ST, 0,0485 para SST y 0,0000 para SDT) **(Anexos 8 y 9)**

Las densidades microbiológicas en las entradas a los sistemas de tratamiento enclavado en la Península de Hicacos están ampliamente caracterizados y se reportan en el orden de 10<sup>7</sup> NMP/100 ml (Rodríguez, 2016; Ruíz, 2014). Los autores referidos en el **Anexo 7** respecto a las cantidades de coliformes totales y fecales en los afluentes coinciden en el rango de 10<sup>5</sup> - 10<sup>8</sup> NMP/100 ml.

### 3.1.2 Comparación de los resultados de los efluentes con NC-521: 2007

La preservación de la calidad de las aguas marinos costeras adquiere cada vez mayor importancia por lo que implican para la sociedad las pérdidas por concepto de deterioro, desde los puntos de vista higiénico-sanitario, económico, ambiental, social, estético y cultural. En la **Tabla 3.4** se muestran los valores medios de los

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

---

parámetros analizados en los efluentes de cada sistema de tratamiento en estudio. Estos resultados se comparan con la NC-521: 2007, la cual regula el vertimiento aguas residuales generadas por las actividades socio económicas a la zona costera, en el **Anexo 1** se plasman los Límites Máximos Permisibles (LMP) referidos a esta norma.

Si se contempla que para las futuras proyecciones de desarrollo turístico, las zonas costeras asociadas a cada sistema de tratamiento fuesen áreas marinas dedicadas al baño y donde se realizan actividades acuáticas en que las personas entran en contacto directo con el agua, clasificaría como Clase B y la NC-521: 2007 no permite el vertimiento de ningún tipo de agua residual.

Para el parámetro temperatura todos los efluentes de los sistemas de tratamiento en estudio cumplen con el LMP por la NC-521: 2007 (menores de 40 °C) para todas las clases (**Tabla 3.4**). En los procesos de depuración de aguas residuales no existe un incremento de las temperaturas y estas están relacionadas con las temperaturas ambientales, los valores para todos los sistemas se encuentran entre 29,9 – 30,5 °C.

El valor de pH carece de valor sanitario, es un dato muy importante en la determinación de la agresividad de las aguas producto a que, el vertido de aguas residuales con variaciones de pH en el medio marino, pueden causar perturbaciones celulares y la eventual destrucción de la flora y fauna acuática (Terry *et al.*, 2006).

Según la NC-521: 2007 para el vertido de aguas residuales los valores de pH deben de oscilar para las Clases C y E entre 5,5 – 9,0 y entre 5,5 y 10,0 para la Clase F, como se puede observar en la **Tabla 3.4** todos los efluentes de los sistemas de tratamiento cumplen con los rangos establecidos para las diferentes Clases.

El sistema lagunar Taínos II es el que muestra los valores ligeramente mayores en correspondencia con los afluentes. Resultados similares son obtenidos por Hernández *et al.*, 2017 en cuanto a las determinaciones de pH de efluentes en sistemas lagunares donde reporta valores de 7,92.

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

**Tabla 3.4 Resumen de los valores medios de los parámetros analizados en los efluentes de cada sistema de tratamiento en estudio.**

| Sistema           | Temp | pH               | Alcalinidad | Cloruros | DQO   | DBO <sub>5</sub> | S.T     | S.S.T | CF                    |
|-------------------|------|------------------|-------------|----------|-------|------------------|---------|-------|-----------------------|
|                   | (°C) | (Unidades de pH) | (mg/l)      |          |       |                  |         |       | (NMP/100 ml)          |
| PTR Hicacos       | 30,5 | 7,3              | 422,2       | 208,8    | 89,7  | 13,8             | 1120,0  | 50,0  | 1,6 x 10 <sup>4</sup> |
| PTR Sol Palmeras  | 29,9 | 7,5              | 396,5       | 93,9     | 79,8  | 10,3             | 971,7   | 55,0  | 9,8 10 <sup>3</sup>   |
| Lagunas Tainos II | 30,0 | 7,7              | 745,1       | 3960,9   | 115,9 | 40,8             | 13656,7 | 83,3  | 3,3 10 <sup>4</sup>   |
| Lagunas Siguapa   | 29,9 | 7,5              | 507,5       | 1923,8   | 133,1 | 41,5             | 5436,7  | 80,0  | 3,8 10 <sup>4</sup>   |

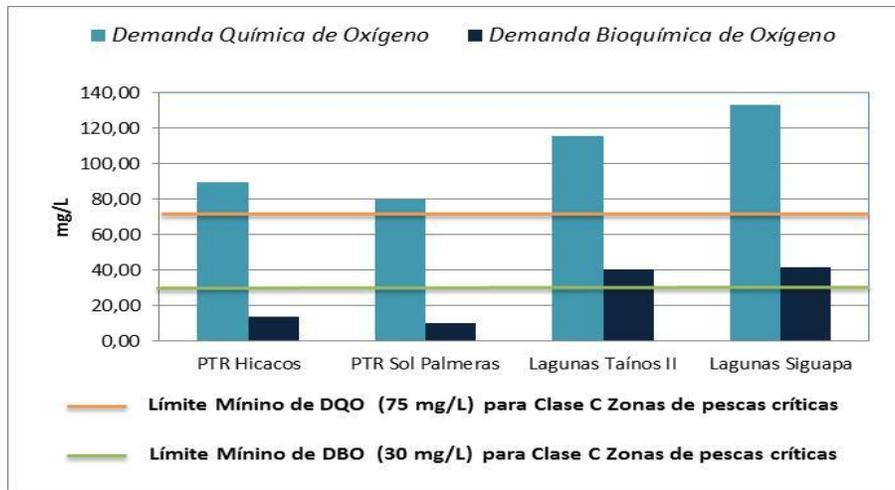
La NC-521: 2007 no refiere límites para los parámetros de cloruros y alcalinidad. Comparados con los valores de los afluentes existe un ligero aumento de las concentraciones. En el caso de las PTR (Hicacos y Sol Palmeras) donde parte de los efluentes pasan por un sistema terciario consistente en la cloración, el contenido de cloruros en el agua es importante a tener en cuenta para ser usadas como agua de reuso en el riego de jardines y áreas verdes. Desde el punto de vista estadístico existen diferencias significativas entre todos los sistemas de tratamiento con un *P-Value* de 0,0000 para ambos parámetros (**Anexos 10 y 11**).

Existe una estrecha relación entre las determinaciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno de una muestra de agua residual con la concentración de materia orgánica de naturaleza biodegradable o no, presente en la misma (Menéndez y Pérez, 2007). El vertimiento de aguas residuales ricas en contenidos de materia orgánica en el medio marino, llevan al decrecimiento de las concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua y al desarrollo de condiciones sépticas, lo que frecuentemente causa la muerte de la biota acuática.

Los resultados de las determinaciones de DBO<sub>5</sub> y de DQO se reportan en la **Figura 3.6**. En el caso de la DBO<sub>5</sub> los valores se encuentran entre 10,3 – 14,5 mg/L, por lo que se cumple con los requisitos establecidos por la NC-521: 2007 para todas las Clases excepto para la Clase C en zonas de pescas críticas donde los efluentes de la PTR cumplen con el LMP y no en el caso de los provenientes de los sistemas lagunares. Estadísticamente existen diferencias significativas

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

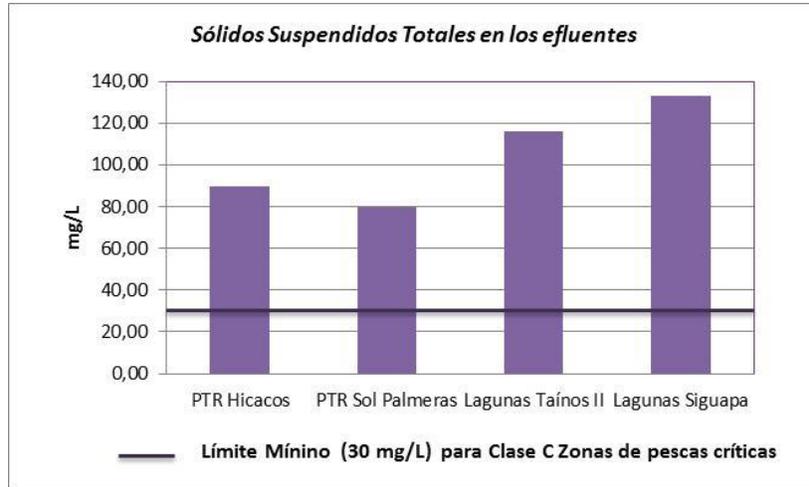
entre los sistemas de tratamientos (*P-Value* de 0,0000). Los sistemas por lodos activados son iguales entre sí pero diferentes a los sistemas lagunares que a su vez son iguales también (**Anexos 10 y 11**).



**Figura 3.6 Resultados de las concentraciones de DQO y DBO<sub>5</sub> en los efluentes de los sistemas de tratamiento.**

En las determinaciones de DQO los valores reportados (79,8 – 133,1 mg/L) cumplen con los requisitos establecidos por la NC-521: 2007 para todas las Clases excepto para la Clase C (áreas marinas de pesca crítica para la reproducción) donde todos incumplen con el límite de 75 mg/L. La descarga de la PTR Sol Palmeras es la que menor contenido de materia orgánica vierte. De los sistemas lagunares es la de Siguapa la que aporta caudales efluentes con mayores concentraciones de materia orgánica. El valor de *P-Value* para este parámetro es de 0,0014, por lo que existen diferencias significativas entre los sistemas como se observa en los **Anexos 10 y 11**.

Las determinaciones medias del contenido de sólidos suspendidos totales (SST) oscilan entre 50 – 83,3 mg/L, por lo que cumplen con los LMP referidos en la NC-521: 2007 para todas las Clases, excepto para la Clase C en todos, los sistemas (**Figura 3.7**), para este parámetro también existen diferencias significativas entre los sistemas (*P-Value* de 0,0030), según se expresa en los **Anexos 10 y 11**, los sistemas por lodos activados son iguales entre sí pero diferentes a los sistemas lagunares que a su vez son iguales entre ellos.



**Figura 3.7 Resultados de las concentraciones SST en los efluentes de los sistemas de tratamiento.**

La descarga de aguas residuales con elevadas concentraciones de sólidos suspendidos en el medio marino provoca deposiciones en los fondos, cambios en la composición y estructura de los sedimentos de la zona costera y la generación de condiciones de anaerobiosis. En la columna de agua, compromete la penetración de la luz solar, impulsa los daños al hábitat y a los organismos bentónicos lo que trae consigo afectaciones en la vida acuática desde el fitoplancton hasta los peces (Terry *et al.*, 2006).

Los resultados de las densidades de coliformes fecales o termotolerantes mostrados en la **Tabla 3.4**, cumplen con los LMP solo para la Clase F donde según la NC-521: 2007 no existe restricción para el vertimiento en esta Clase. Para el resto de los LMP establecidos en las demás Clases ninguno de los sistemas de tratamiento cumplen la calidad requerida para su vertimiento. Estadísticamente existen diferencias significativas, para un *P-Value* de 0,0290. Como se muestra en los **Anexos 10** y **11** Sol Palmeras, Hicacos y Taínos II son iguales entre sí y diferentes de Siguapa.

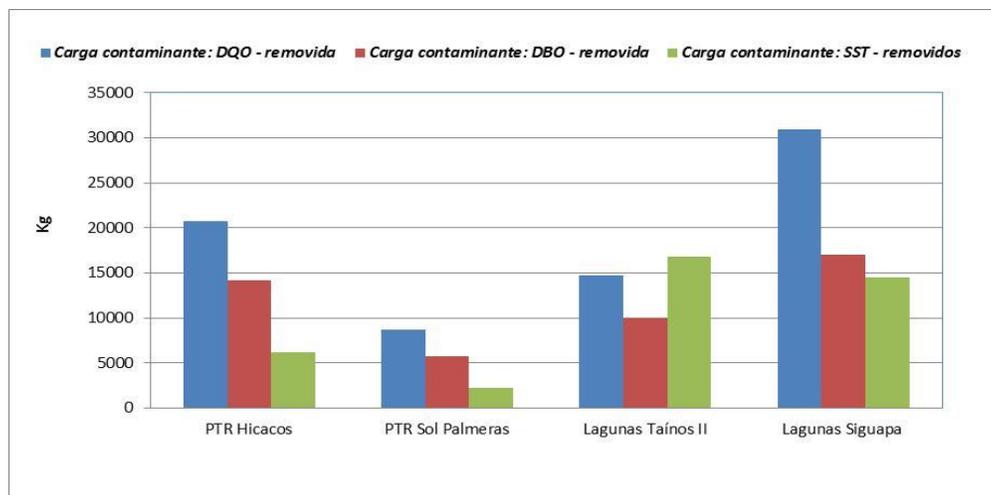
### 3.2 Evaluación de los sistemas de tratamiento

Según Metcalf y Eddy (2003) para la evaluación de las cargas contaminantes dentro del análisis del agua residual es válido emplear el método de variaciones proporcionales o integradas a los caudales de los contaminantes específicos, en

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

este caso se emplean los parámetros: DQO, DBO<sub>5</sub> y Sólidos Suspendedos Totales (SST).

En la **Figura 3.8** se muestran los resultados de las cargas contaminantes removidas por cada sistema de tratamiento. Los cálculos se realizan en función de los caudales por lo que es el sistema lagunar Siguapa el que mayor carga contaminante remueve en base a DQO y DBO<sub>5</sub>, al ser el que mayores caudales procesa. Este sistema además de los aportes que recibe del sector turístico procesa los residuales procedentes de sector urbano residencial. El sistema que menor carga contaminante remueve es la PTR Sol Palmeras.



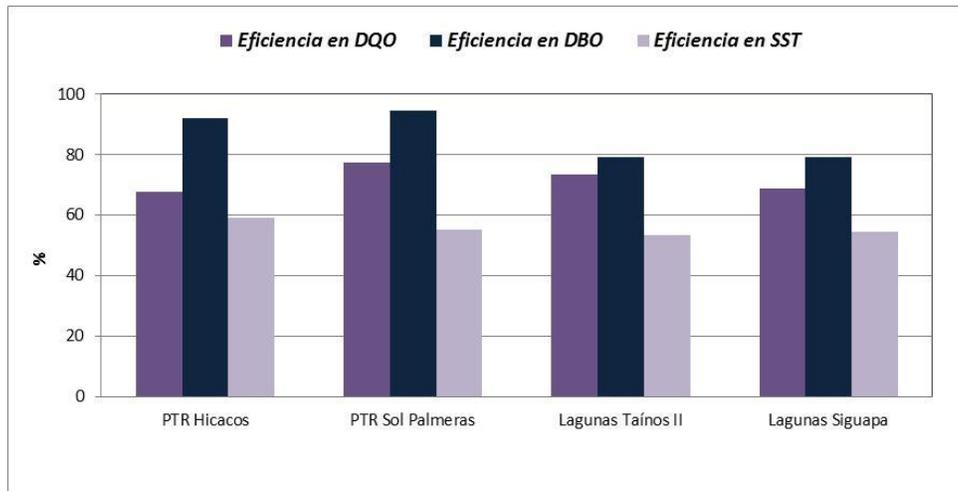
**Figura 3.8 Carga contaminante removida por sistema de tratamiento.**

En los sistemas por lodos activados el contenido de sólidos suspendidos en el efluente está determinado en gran medida por la eficiencia del sedimentador secundario, que en pocas ocasiones alcanza valores mayores del 95 % (Menéndez y Pérez, 2007). La eficiencia de la sedimentación varía en un intervalo entre (50 y 70) %. Esto significa que una fracción de los sólidos suspendidos es alimentada al tanque de aireación, por ello las cargas removidas para los SST son menores en los sistemas por lodos activados como se muestra en la **Figura 3.8**.

Los sistemas lagunares son los que mayores carga expresadas en SST remueven, en especial la laguna Taínos II.

### 3.2.1 Resultados del cálculo de la eficiencia de remoción

Según Menéndez y Pérez, (2007) la eficiencia de purificación depende en cierta medida de la concentración de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual y es válida cuando se comparan los valores absolutos de  $DBO_5$ , DQO y SST en el afluente y efluente. La **Figura 3.9** refiere los resultados obtenidos en los cálculos de las eficiencias en base a estos parámetros para los sistemas de tratamiento en estudio.



**Figura 3.9 Resultados de los cálculos de eficiencia de remoción por sistema de tratamiento.**

Los sistemas por lodos activados presentan mayores eficiencias en cuanto a la remoción de la  $DBO_5$  con valores de 92 y 95 % para las PTR Hicacos y Sol Palmeras respectivamente, los sistemas lagunares poseen una eficiencia de remoción menor al 80 %. En cuanto a la DQO los porcentajes de eficiencia de remoción para todos los sistemas poseen un comportamiento similar, cercano al 70 %. Resultados similares son reportados por Rosabal, (2017) en igual período de análisis para el año 2016.

Los sistemas de lodos activados tienen un porcentaje de eficiencia superior al que se alcanza con las lagunas de oxidación, lo cual coincide con lo reportado en la bibliografía consultada (Ocampo, 2013), pero son más costosos por requerir mayor inversión y mayores costos para el suministro de aire u oxígeno al sistema.

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

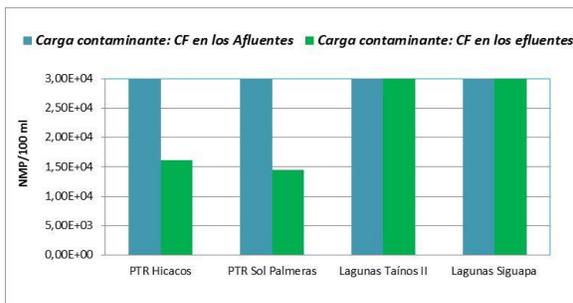
La autora considera que al aumentar las eficiencias de remoción de los sistemas de tratamiento que vierten sus aguas al mar del sur de la Península de Hicacos se contribuye a minimizar los impactos negativos sobre este ecosistema.

En la actualidad los nuevos proyectos de PTR por el sistema de lodos activados exigen eficiencias estimadas en la remoción del 90 % en materia orgánica (Rojo *et al.*, 2017).

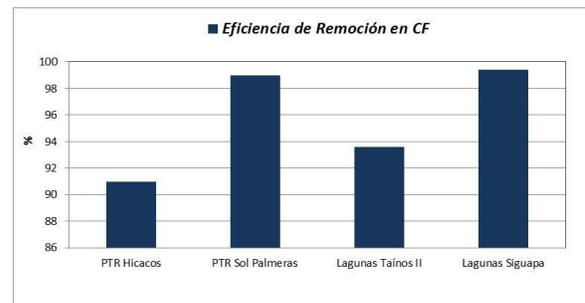
La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos locales, y factores que afectan directamente a la biología del sistema, como es el tiempo de retención (Ochoa *et al.*, 2013; Menéndez y Pérez, 2007). Estudios realizados por Correa, (2008) muestran resultados similares a los obtenidos en cuanto al porcentaje de eficiencia de remoción en DBO<sub>5</sub> total en sistemas lagunares de hasta 80 % a una temperatura comprendida entre 25 y 30 °C.

Todos los sistemas muestran un comportamiento similar en cuanto a la eficiencia de remoción de SST, con valores que oscilan desde 53 hasta 59 %.

La eficiencia de remoción de carga microbiológica se realiza en función de los coliformes fecales, los resultados se muestran en las **Figuras 3.10** y **3.11** se expresan: las cargas microbiológicas por sistemas de tratamiento, así como la eficiencia de remoción de las mismas respectivamente.



**Figura 3.10 Cargas microbiológicas por sistema de tratamiento.**



**Figura 3.11 Eficiencia de remoción de carga microbiológica por sistema de tratamiento.**

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

---

La **Figura 3.10** muestra la carga microbiológica que presentan los afluentes tratados y los efluentes en cada uno de los sistemas de tratamientos estudiados que son vertidos a la costa sur de la península. Como se puede observar todos los afluentes poseen elevadas densidades de coliformes fecales, lo que está acorde a las características de las aguas residuales de origen doméstico, ampliamente caracterizadas por autores como Metcalf y Eddy, (2003), Terry *et al.*, (2006), Almeida *et al.*, (2015), Rodríguez, (2016) y Muñoz y Baumann, (2017). Los efluentes de los sistemas por lodos activados presentan una menor densidad en cuanto a coliformes fecales o termotolerantes.

En la **Figura 3.11** se observa que los porcentajes de eficiencia de remoción para este parámetro por los sistemas de tratamientos son elevados ( $> 90\%$ ), pero según lo planteado por De Buen, (2007), algunas pruebas muestran que  $99,99\%$  de las bacterias indicadoras se pueden remover con tratamiento, pero el  $0,01\%$  restante aún representa un problema para los diversos usos del agua. Como se observa en la figura antes mencionada, las cargas microbiológicas removidas son elevadas, pero los efluentes al ser comparados con la NC 521, estos exceden los límites de vertimiento en todos los casos, ( $200-400$  MNP/100ml para Clase C, por el valor de uso de la zona objeto de estudio).

Metcalf y Eddy, (2003) plantean que las ventajas de las lagunas de oxidación como tratamiento biológico de las aguas residuales, radica en la posibilidad de eliminación de patógenos. Mientras que la remoción de coliformes mediante otros tratamientos biológicos alcanza hasta  $95\%$  o son despreciables, en las lagunas se reportan frecuentemente valores de este parámetro hasta  $99,99\%$  como se muestra en la **Figura 3.11** para la laguna de Sigüapa.

Resultados similares fueron obtenidos por Chuchón y Aybar, (2008) al evaluar una PTR “La Totorá” de la ciudad de Ayacucho, donde los niveles de remoción de los coliformes fecales fueron del orden de los  $99,98\%$  insuficientes para esos efluentes los cuales son utilizados como agua de riego y para bebida de animales. Se puede señalar que existe una estrecha relación entre los niveles de eficiencia y remoción de los principales contaminantes de los sistemas de tratamiento y la calidad del agua de los cuerpos receptores donde son vertidos los efluentes

provenientes de estos. Por lo que se precisa del control de calidad de los vertidos acorde a la legislación vigente y el estudio de los impactos medioambientales de los mismos sobre los ecosistemas.

### **3.3 Resultados físicos –químicos y microbiológicos de las aguas marinas asociadas a cada sistema de tratamiento en campañas de muestreo desde el 2013-2017**

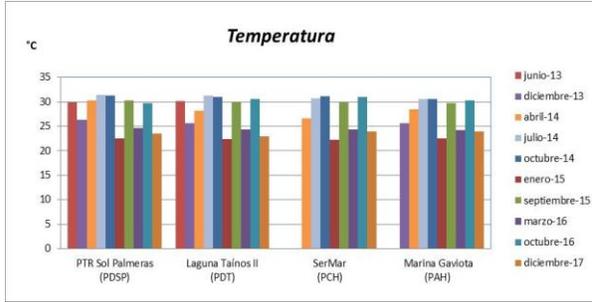
Mediante de la compilación de toda la información y análisis de los resultados obtenidos en campañas realizadas desde el año 2013 hasta el 2017, en estaciones asociadas a cada sistema de tratamiento en estudio se muestra el comportamiento de los principales indicadores de calidad del agua marina en las **Figuras** desde **3.12** hasta **3.17**.

Las estaciones de muestreo correspondientes a estos estudios se muestran en el **Anexo 2**, de todas, solo 4 de ellas se corresponden con los muestreos que se realizan en la presente investigación, las mismas son: descarga del sistema lagunar de Taínos II (PDT), descarga de la PTR Sol Palmeras (PDSP), estación denominada SerMar (PCH) relacionada con la salida del sistema secundario de Hicacos (punto más alejado) y la estación en la entrada de la Marina Gaviota (PAH).

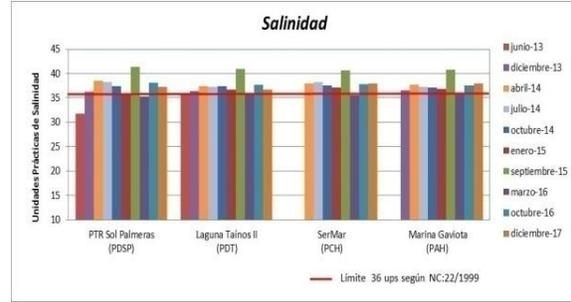
#### **3.3.1 Resultados Físicos - Químicos**

Los valores de temperaturas en todas las estaciones poseen un comportamiento similar (**Figura 3.12**), esto se debe en gran medida a la temperatura del aire, la hora en que se realizaron las mediciones y el período del año, que es poco lluvioso, donde se acentúan los valores más bajos (22,12 °C) y en el lluvioso los más altos (31,66 °C).

## Capítulo 3 Resultados y Discusión



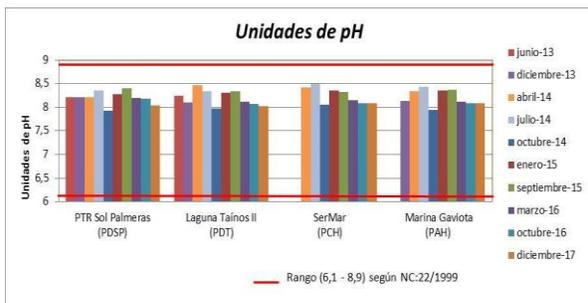
**Figura 3.12 Comportamiento de los valores de temperatura para las estaciones en el período desde el 2013 al 2017.**



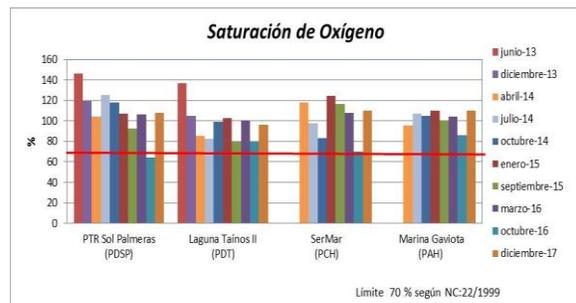
**Figura 3.13 Comportamiento de los valores de salinidad para las estaciones en el período desde el 2013 al 2017.**

En la **Figura 3.13** se observan los valores de salinidad que se reportan en todas las estaciones, estas oscilan entre 36,41 y 37,83 Unidades Prácticas de Salinidad (ups), los bajos valores pueden estar asociados al aporte de las precipitaciones en las zonas días anteriores a los muestreos y a la presencia de otras aguas con bajas salinidades, sin embargo se considera, para este parámetro, aguas de buena calidad según los rangos fijados por NC-22: 1999.

El potencial de hidrógeno, pH, muestra valores muy similares en todas las estaciones, entre 8,10 y 8,27, valores característicos de aguas costeras con medio ligeramente alcalino y se encuentran fijados dentro del rango establecido por la NC-22: 1999 para agua de uso recreacional (6,1-8,9) y consideradas aguas de buena calidad según clasificación de la NC-25: 1999 (**Figura 3.14**).



**Figura 3.14 Comportamiento de los valores de pH para las estaciones en el período desde el 2013 al 2017.**



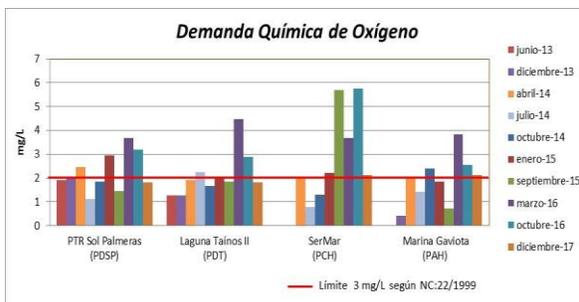
**Figura 3.15 Comportamiento de los valores de la saturación de Oxígeno para las estaciones en el período desde el 2013 al 2017.**

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

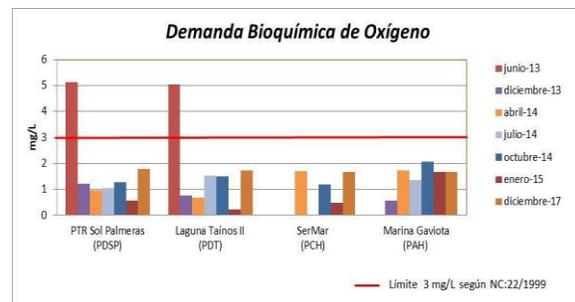
Los valores de saturación de oxígeno en la columna de agua (**Figura 3.15**) fueron superiores en todas las estaciones al 70 %, umbral fijado por la NC-22: 1999 para aguas con adecuada oxigenación para el desarrollo de la biota acuática y actividades recreativas excepto en la campaña de muestreo del mes de octubre del 2016 para las estaciones de Sol Palmeras (PDSP) y SerMar (PCH).

La cuantificación de la materia orgánica en el agua de mar es importante para determinar su calidad ambiental. Existe una estrecha relación entre la cantidad de materia orgánica y los parámetros: concentración de Oxígeno Disuelto y saturación en la columna de agua, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno.

La oxidabilidad al permanganato expresada en DQO es el mejor indicador de la fracción de materia orgánica poco sensible a las oxidaciones biológicas (Ahamed *et al.*, 1993 citado por Montalvo, 2000). En la **Figura 3.16** se observa las concentraciones reportadas para cada estación en el período de análisis. Los valores son en su mayoría superiores a lo requerido por la NC-22: 1999 (2 mg/L) para los lugares costeros de uso recreativo. La estación de SerMar (PCH) reporta concentraciones de DQO superiores a los 3 mg/L y según la EQS (*Environmental quality standards for water pollution*) del 2002 indica que son aguas contaminadas por materia orgánica, lo cual se ajusta a la zona objeto de estudio.



**Figura 3.16 Comportamiento de los valores de DQO para las estaciones en el período desde el 2013 al 2017.**



**Figura 3.17 Comportamiento de los valores de DBO para las estaciones en el período desde el 2013 al 2017.**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), es un indicador de la proporción de materia orgánica de naturaleza fácilmente biodegradable, la mayor tasa de degradación ocurre en verano (período lluvioso) como consecuencia de un

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

---

incremento de la actividad microbiológica al aumentar la temperatura de la columna de agua (Lansing, 1994 citado por Montalvo, 2000). Los valores de ( $\text{DBO}_5$ ) se que se reportan son inferiores al límite establecido por NC-22: 1999 de 3 mg/L en todas las estaciones de muestreo en el período de análisis, excepto las estaciones de Sol Palmeras (PDSP) y descarga del sistema lagunar de Taínos II en campaña del mes de junio/2013. En esta campaña de muestreo según datos del Centro Meteorológico Provincial se registraron las máximas temperaturas con valores de  $30,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el horario de la toma de muestra.

Diversos investigadores del tema como Regadera *et al.*, (2008) y Miravet *et al.*, (2009) consideran que los elevados valores de  $\text{DBO}_5$  están asociados a la abundancia de organismos planctónicos, a sus poblaciones y distribución, resultados que se constatan con los obtenidos por el IDO en muestreos realizados en la zona, desde los años 2013 hasta el 2017.

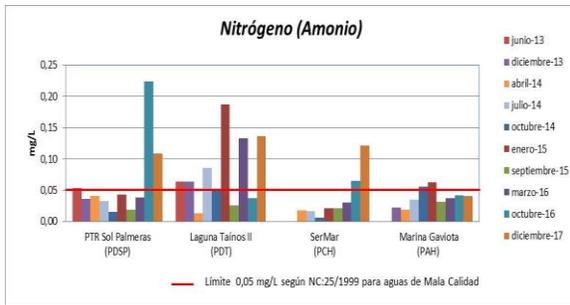
### Nutrientes

La importancia del estudio de los nutrientes en el medio marino está relacionado con dos aspectos fundamentales: la disponibilidad de éstos para el crecimiento adecuado de la masa fitoplanctónica y las condiciones de eutrofización cultural (como un tipo de contaminación secundaria) que se produce, debido a desbalances en su consumo por el fitoplancton y los aportes terrestres de estos elementos (Margalef, 1974). La NC-22: 1999 no define los límites de cuando un agua es de buena calidad en cuanto a nutrientes, por lo en el presente estudio se emplea la definición de calidad realizada por Martínez *et al.*, (2004) en base a un análisis de frecuencia de los datos históricos disponibles de muestreos realizados en la zona costera del norte de Cuba (**Anexo 4**) y la NC- 25: 1999.

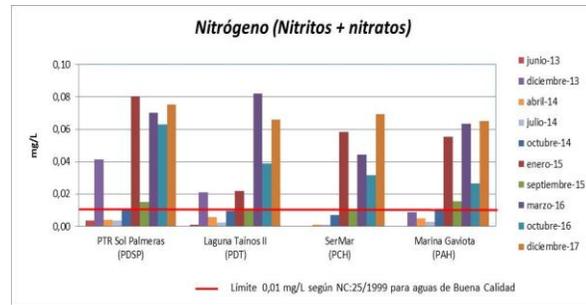
En las **Figuras 3.18** y **3.19** se muestran las concentraciones de las principales especies de nitrógenos. La especie predominante del nitrógeno inorgánico en la mayoría de los muestreos y en todas las estaciones fue el amonio. Las concentraciones medias varían entre 0,07 y 0,03 mg/L o 5,70 y 2,67  $\mu\text{M/L}$  por lo que todas las estaciones clasifican de mala calidad según **Anexo 4** y según la NC-25: 1999 de dudosa calidad por encontrarse en el rango de 2,14 - 3,57  $\mu\text{M/L}$  las estaciones de SerMar (PCH) y la estación de la entrada de la Marina Gaviota

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

(PAH) (**Figura 3.18**). Las otras dos estaciones clasifican de mala calidad y están asociadas a las descargas de los sistemas de tratamiento Sol Palmeras y Taínos II. Miravet *et al.*, (2009) considera que las elevadas concentraciones de amonio pueden ocasionar el desarrollo de organismos oportunistas como las cianobacterias. Resultados similares se reportan por Lara *et al.*, (2015) en aguas costeras venezolanas donde la especie predominante fue el amonio.



**Figura 3.18 Comportamiento de las concentraciones de amonio para las estaciones en el período desde el 2013 al 2017.**



**Figura 3.19 Comportamiento de las concentraciones de nitritos + nitratos para las estaciones en el período desde el 2013 al 2017.**

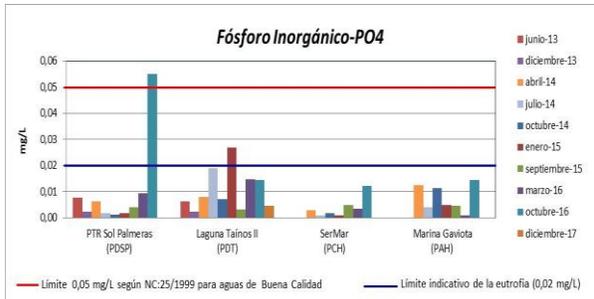
Las concentraciones medias de nitrógeno nitritos + nitratos expresadas como  $\text{NO}_x$  en todas las estaciones y fechas de muestreos, fluctúan entre 0,02 y 0,03 mg/L o 2,62 y 1,85  $\mu\text{M/L}$  y según **Anexo 6**, todas las estaciones clasifican de mala calidad. Por otro lado la NC-25: 1999 clasifica las estaciones de dudosa calidad por encontrarse en el rango de 0,71 - 42,86  $\mu\text{M/L}$  (**Figura 3.19**).

En las **Figuras 3.20 y 3.21** se muestran las concentraciones de las formas de fósforo estudiadas en el período 2013 al 2017.

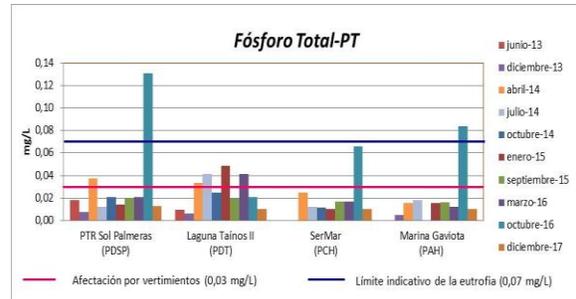
Las concentraciones medias de fósforo inorgánico ( $\text{PO}_4$ ) (**Figura 3.20**), varían entre 0,11 y 0,34  $\mu\text{M/L}$  lo cual clasifica según el **Anexo 4** en aguas de regular a mala calidad, las estaciones que refieren mala calidad se corresponden con las descargas de los sistemas de tratamiento Sol Palmeras y Taínos II, sin embargo la NC-25: 1999 clasifica a todas las estaciones de buena calidad ya que el umbral de la misma es de 0,05 mg/L (1,61  $\mu\text{M/L}$ ) que solo es superado como valor puntual en la campaña de muestreo de octubre/2014 por la estación Sol Palmeras (PDSP). Plott *et al.*, (1973) plantean que para aguas marinas limpias las concentraciones de fósforo inorgánico ( $\text{PO}_4$ ) no debe superar el límite permisible de 0,20  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ,

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

considerado como límite indicativo de eutrofia. En este caso la estación de Sol Palmeras lo supera en la campaña antes mencionada y la estación de Taínos II en la campaña de enero/2015 pero el resto poseen valores muy cercanos.



**Figura 3.20 Comportamiento de las concentraciones de Fósforo Inorgánico para las estaciones en el período desde el 2013 al 2017.**



**Figura 3.21 Comportamiento de las concentraciones de Fósforo Total para las estaciones en el período desde el 2013 al 2017.**

El fósforo total (P.T) es un indicador especial de la influencia de aguas contaminadas en el medio marino. La bibliografía reporta valores de concentraciones normales de fósforo total de  $1 \mu\text{mol.L}^{-1}$  (0,03 mg/L), cuando las determinaciones de este nutriente reportan valores superiores estamos en presencia de cuerpos de agua que reciben aportes de aguas residuales. En la **Figura 3.21** se muestran las concentraciones de fósforo total (PT), los valores medios para todas las estaciones, oscilan entre 0,71 y 0,95  $\mu\text{M/L}$  y según **Anexo 4** las aguas para este nutriente clasifican de mala calidad. La estación marina de la descarga del sistema lagunar de Taínos II es la que reporta mayor número de campañas con afectaciones por vertimientos de residuales líquidos.

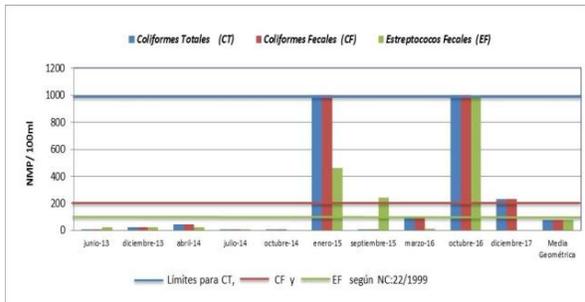
### 3.3.2 Resultados Microbiológicos

La evaluación de los requisitos necesarios asociados con la calidad microbiológica del agua es un aspecto fundamental. Por lo general, se mide por medio de parámetros microbiológicos de contaminación fecal y se relacionan con la posible presencia de microorganismos patógenos que puedan causar enfermedades por transmisión hídrica. Existen tres fuentes principales de contaminación fecal humana del agua de mar para uso recreacional: desagües domésticos, descargas

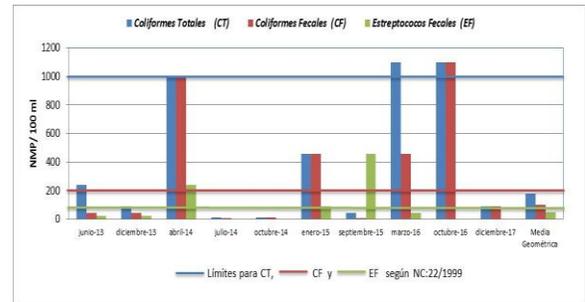
## Capítulo 3 Resultados y Discusión

de ríos y otros cursos de agua, y directamente del bañista (Vergaray *et al.*, 2007; Hurtado *et al.*, 2009).

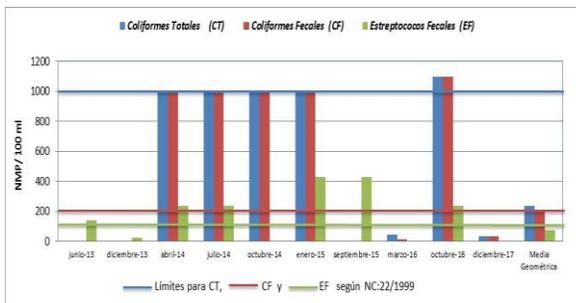
En las **Figuras** desde la **3.22** a la **3.25** se muestra el comportamiento de las densidades de microorganismos parámetros de contaminación fecal (Coliformes totales y fecales y estreptococos fecales) en todas las estaciones en el período en estudio, además de las variaciones en las medias geométricas para cada parámetro en cada estación de muestreo.



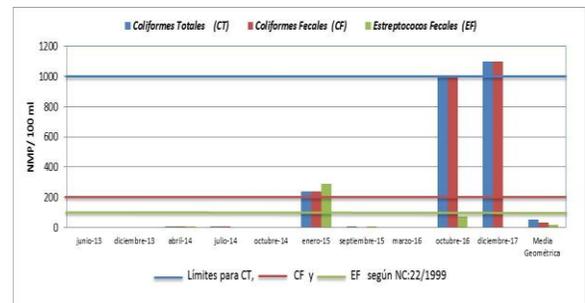
**Figura 3.22** Comportamiento de las densidades de microorganismos en la estación de Sol Palmeras (PDSP) en el período desde el 2013 al 2017.



**Figura 3.23** Comportamiento de las densidades de microorganismos en la estación de Taínos II (PDT) en el período desde el 2013 al 2017.



**Figura 3.24** Comportamiento de las densidades de microorganismos en la estación de SerMar (PCH) en el período desde el 2013 al 2017.



**Figura 3.25** Comportamiento de las densidades de microorganismos en la estación de Marina Gaviota (PAH) en el período desde el 2013 al 2017.

Las estaciones que muestran una calidad higiénico sanitaria desfavorable demostrada por sus medias geométricas son: SerMar (PCH) y el frente de la descarga del sistema lagunar Taínos II (PDT). Estas estaciones refieren elevados porcentajes de muestras que superan los Límites Máximos Permisibles para los parámetros microbiológicos estudiados (**Anexo 12**).

Es de gran importancia destacar, que aunque el comportamiento desde el punto de vista de los parámetros microbiológicos pueden tener una media geométrica

cercana a los límites establecidos por las normas cubanas, es posible encontrar valores puntuales que en ocasiones exceden significativamente los límites, por lo cual constituye una preocupación que obliga a continuar enfocados en eliminar o mejorar los vertimientos de residuales que aún se realizan al sur de la península, y de esta forma lograr una mayor confiabilidad en la estabilidad de la calidad del agua que requiere la inversión de capitales en su desarrollo turístico.

### **3.4 Análisis físico – químico y microbiológico de los puntos de dispersión en la zona costera asociados a los sistemas de tratamiento en estudio**

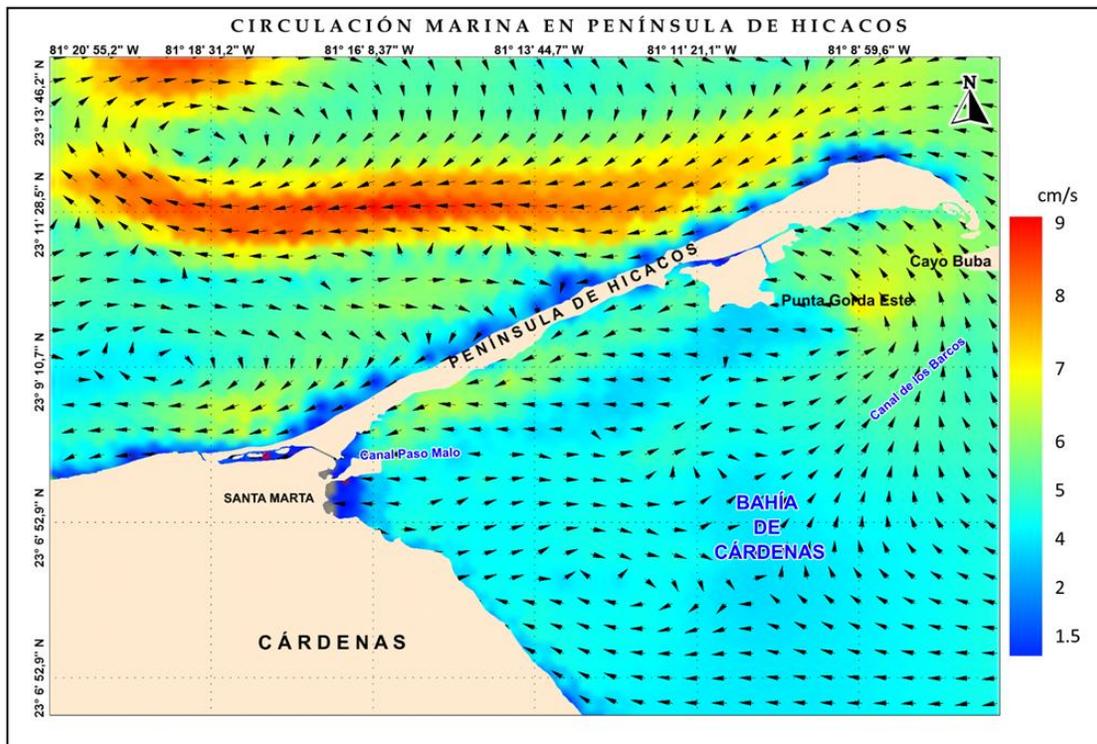
En la investigación se utilizan los datos de modelación de corrientes marinas presentadas por Carmenate *et al.*, (2016) los cuales permiten describir las principales zonas de acumulación y transporte de contaminantes en el ecosistema sur de la Península de Hicacos y mediciones de corrientes y velocidades marinas, con fondeo de dos correntómetros, uno ubicado en la zona de descarga de la PTR Sol Palmeras (Estación PDSP) y el otro en el Canal de Paso Malo. Resultados presentados por Carmenate *et al.*, (2017) muestran que en la estación del canal, el valor promedio de la velocidad de la corriente es de 10,9 cm/s, mientras la velocidad máxima es de 29 cm/s. En esta zona la velocidad de la corriente se mantiene fundamentalmente entre 10-25 cm/s. La dirección de la corriente presentó una notable variación entre 120° y 300°. Este cambio de 180° en la dirección responde en gran medida al movimiento de las mareas en la variación entre llenante y vaciante en el canal.

Para la estación de la descarga de la PTR Sol Palmeras correspondiente al presente estudio las velocidades se mantienen en el rango de 0-3 cm/s y los valores medios de la corriente son notablemente bajos de 1,7 cm/s. No se obtiene ninguna medición superior a 10 cm/s. La dirección neta de la corriente fue hacia el oeste-suroeste (246°).

La **Figura 3.26** muestra el patrón medio de circulación simulado, con velocidades promedios entre 1,5 y 9 cm/s para toda la costa sur. En las zonas más cercanas al litoral costero, la dirección simulada predominante es hacia el oeste y la circulación promedio no depende de la marea sino del viento principalmente, con

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

variaciones asociadas a pequeños remolinos, y zonas de convergencia y divergencia de estos.



**Figura 3.26 Patrón medio de circulación marina estimada en la zona.**  
Fuente: Carmentate *et al.*, (2016).

Para el análisis de los resultados de cada uno de los parámetros estudiados, se tiene en cuenta las zonas marinas asociadas a los sistemas de tratamiento, los valores promedios en cada una de las estaciones de muestreo, los patrones de circulación marina en la costa (**Figura 3.26**) y datos meteorológicos en los días de muestreos que se aprecian en el **Anexo 13**.

### 3.4.1 Resultados Físicos - Químicos

#### Temperatura

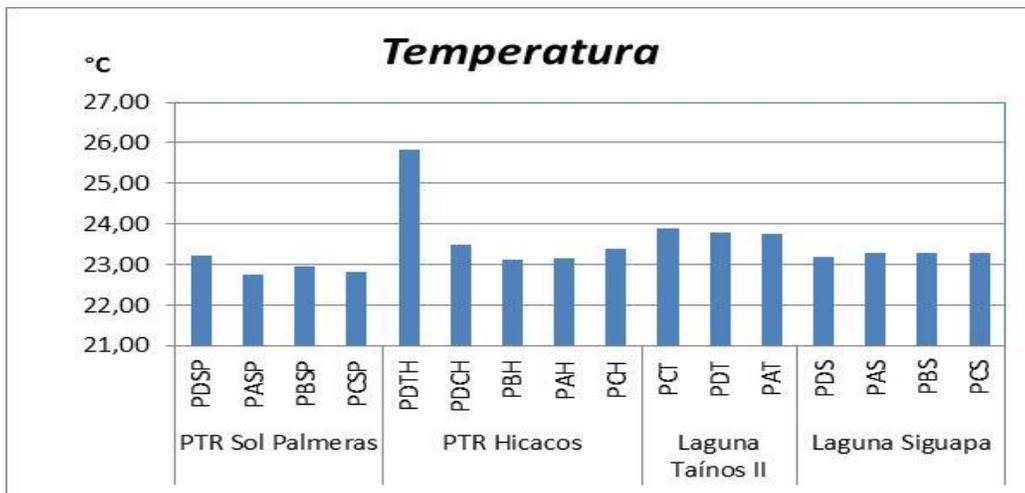
En la **Figura 3.27** se muestra el comportamiento de los valores de temperatura, en cada una de las estaciones asociadas a las descargas de residuales líquidos de los sistemas de tratamientos.

Los valores de temperatura se comportan de manera muy similar en cada una de las estaciones acorde al período en que se realiza el estudio (poco lluvioso), los

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

valores oscilan entre 25,8 y 23 °C. Las mayores temperaturas se registran en la estación de descarga en los tubos o drenaje pluvial de la PRT Hicacos (PDTH) las mediciones en el punto de muestreo del cuerpo receptor muestran una disminución de 2°C, la cual puede estar ocasionada por la distancia que recorre en el canal.

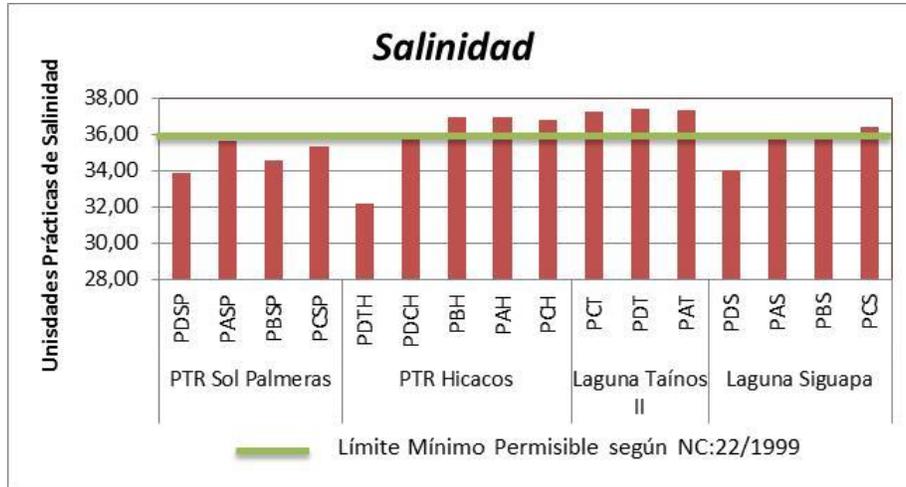
En las estaciones de la PTR Sol Palmeras la descarga presenta valores de temperaturas ligeramente superiores al resto de las estaciones correspondiente a esta zona. Según Metcalf y Eddy, (2003) las temperaturas de las aguas residuales son ligeramente superiores que la de las aguas marinas.



**Figura 3.27 Comportamiento de los valores de temperatura en todas las estaciones de muestreo.**

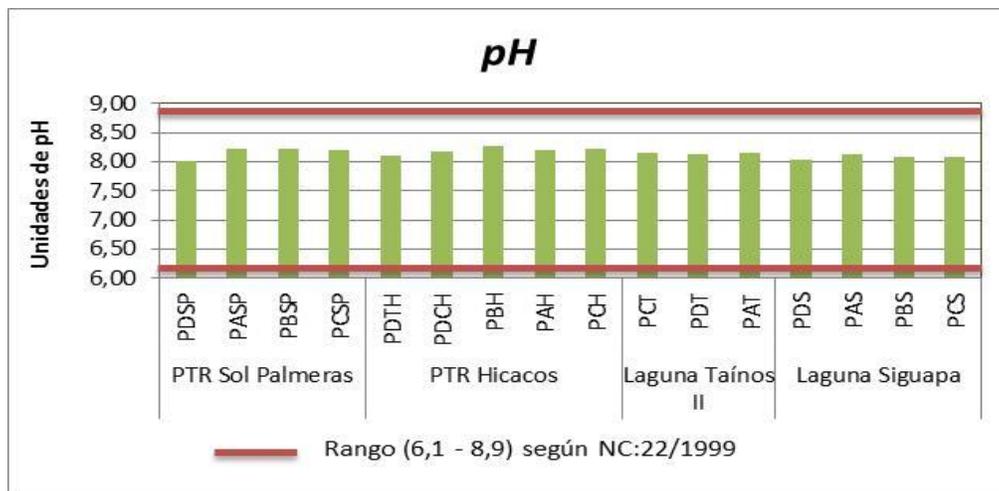
Los valores medios de salinidades se encuentran entre 32,22 y 37,38 ups. En la **Figura 3.28** se observa el comportamiento de este parámetro en todas las estaciones, los menores valores se corresponden con las descargas para cada uno de los sistemas (PDSP, PDS, PDTH y PDCH) excepto en Taínos II. La mayoría de las estaciones se encuentran dentro de los rangos fijados por NC-22: 1999. Las descargas de aguas residuales en las zonas estudiadas son las que ejercen una influencia en este parámetro y no los aportes de las precipitaciones, pues estas en el período de estudio son escasas (68,8 mm de lluvia) según los datos reportados en el **Anexo 13**.

## Capítulo 3 Resultados y Discusión



**Figura 3.28 Comportamiento de los valores de Salinidad en todas las estaciones de muestreo.**

En la **Figura 3.29** se observa el comportamiento del potencial de hidrógeno, pH, este parámetro muestra valores muy similares, entre 8,0 y 8,26 en todas las estaciones, estos son característicos de aguas costeras con medio ligeramente alcalino y se encuentran fijados dentro del rango establecido por la NC-22: 1999 para agua de uso recreacional y consideradas aguas de buena calidad según clasificación de la NC-25: 1999. Solo las estaciones de las descargas mostraron valores ligeramente más bajos que el resto de las estaciones de cada zona.

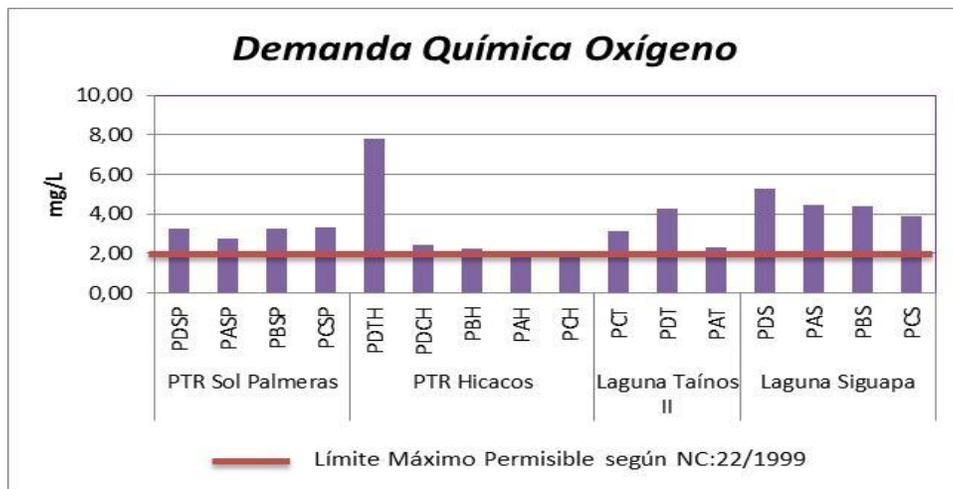


**Figura 3.29 Comportamiento de los valores de pH en todas las estaciones de muestreo.**

El comportamiento de los valores medios de la concentración materia orgánica en la columna de agua marina expresada en DQO se muestra en la **Figura 3.30** para

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

cada estación en el período de análisis. Estos valores guardan estrecha relación con las cargas de DQO aportadas por los efluentes de cada uno de los sistemas de tratamiento en estudio. Es la PTR Hicacos la que mayores aportes realiza, los cuales se cuantifican a la salida del drenaje pluvial (**Anexo 14**) con valores medios de hasta 7,80 mg/L, estas concentraciones disminuyen a lo largo del canal, lo cual muestra una dilución para este parámetro a medida que se aleja del punto de vertimiento. Los valores asociados a este sistema de tratamiento son los más bajos comparados con el resto de las estaciones de muestreo. Es la zona de Siguapa la que posee las mayores concentraciones, resultado que es razonable, ya que este sistema es el que menor carga remueve en base a DQO. Todos los valores en su mayoría, son superiores a lo requerido por la NC-22: 1999 (2 mg/L) para los lugares costeros de uso recreativo y lo estipulado según la EQS, (2002) lo cual indica que son aguas marinas contaminadas por materia orgánica.

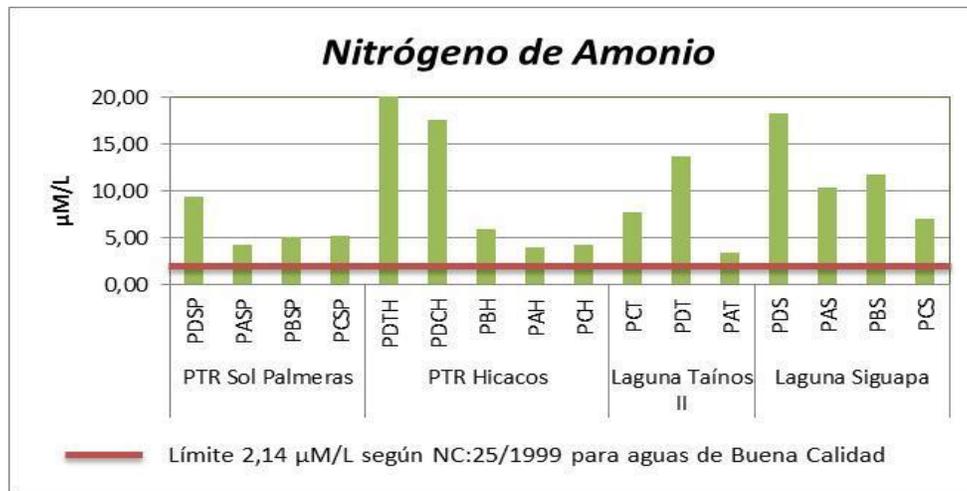


**Figura 3.30 Comportamiento de los valores de DQO en todas las estaciones de muestreo.**

En las **Figuras 3.31, 3.32 y 3.33** se muestran las concentraciones medias de las especies de nitrógenos determinadas en la investigación. La especie predominante del nitrógeno inorgánico corresponde al amonio y su comportamiento se puede apreciar en la **Figura 3.31**. Las concentraciones medias varían entre 3,40 y 42,55  $\mu\text{M/L}$  por lo que todas las estaciones clasifican de mala calidad según Tabla del **Anexo 4** y las especificaciones de NC-25: 1999.

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

Las estaciones de las descargas son las que mayores concentraciones de amonio reportan. Esto se debe a las características de las aguas residuales ricas en este parámetro y que los sistemas de tratamiento no remueven o lo hacen escasamente. Se observa que a medida que los puntos de muestreo en la zona se alejan de los puntos de descargas, disminuyen dichas concentraciones. Estos valores están en correspondencia al comportamiento de las mareas y de las corrientes marinas, explicadas con anterioridad



**Figura 3.31 Comportamiento de las concentraciones de Nitrógeno de Amonio en todas las estaciones de muestreo.**

Las concentraciones medias de nitrógeno de nitratos y nitritos se pueden apreciar en las **Figuras 3.32** y **3.33**. Las concentraciones medias se encuentran entre 1,11 y 6,97 µM/L para los nitratos y 0,42 y 4,21 µM/L para los nitritos. Los valores medios máximos corresponden a la estación de descarga de la PTR Hicacos y disminuyen a medida que se alejan de esta. Según el **Anexo 4** todas las estaciones clasifican de mala calidad para los nitratos al igual que para la NC-25: 1999.

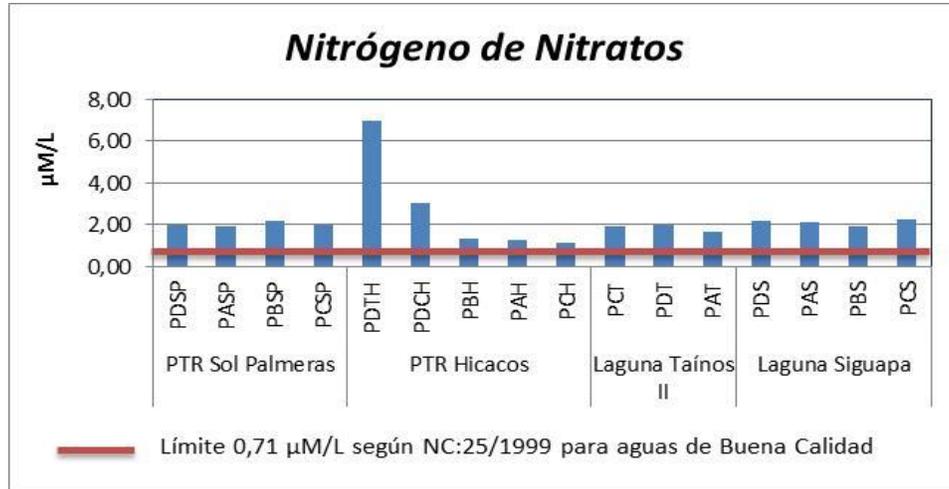


Figura 3.32 Comportamiento de las concentraciones de Nitrógeno de Nitratos en todas las estaciones de muestreo.

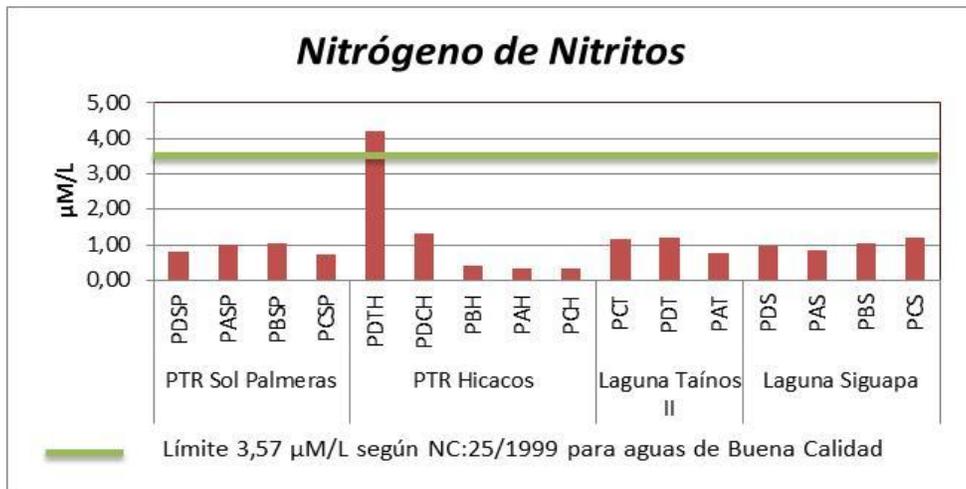


Figura 3.33 Comportamiento de las concentraciones de Nitrógeno de Nitritos en todas las estaciones de muestreo.

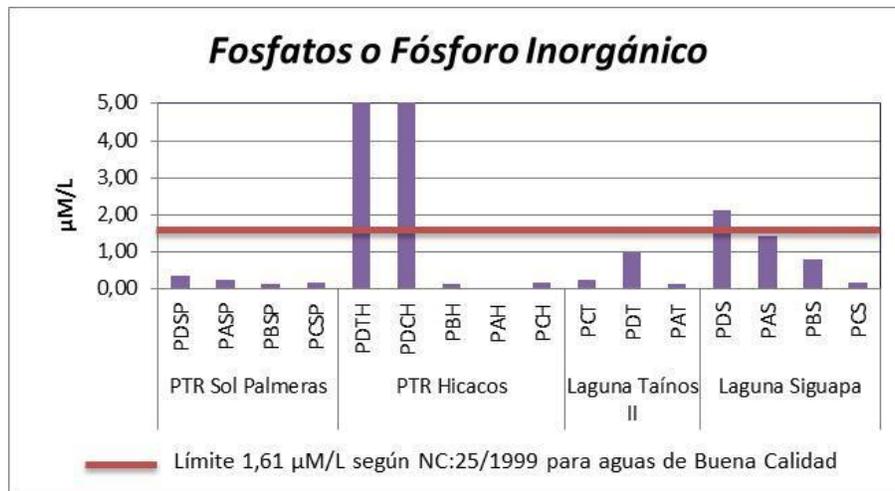
En las Figuras 3.34 y 3.35 se muestran las concentraciones de las formas de fósforo estudiadas en las estaciones de muestreos.

Las concentraciones medias de fósforo inorgánico ( $PO_4$ ) (Figura 3.34), van desde 0,04  $\mu M/L$  en las estaciones más alejadas de los puntos de descarga hasta 55,83  $\mu M/L$  en los puntos de descarga, clasificándose según el Anexo 4 en aguas de regular a mala calidad, solo la estación correspondiente al punto A de Hicacos presenta buena calidad. Las estaciones con mayores valores corresponden con las descargas de todos los sistemas de tratamientos.

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

Según la NC-25: 1999 solo las estaciones que se corresponden a los puntos de descargas de la PTR Hicacos (PDTH y PDCH) y laguna Siguapa (PDS) clasifican de mala calidad con valores superiores a 1,61  $\mu\text{M/L}$ .

Plott *et al.*, (1973) plantean que para aguas marinas limpias las concentraciones de fósforo inorgánico ( $\text{PO}_4$ ) no debe superar el límite permisible de 0,20  $\mu\text{M/L}$ , considerado como límite indicativo de eutrofia. En este caso todas las estaciones correspondientes a las descargas de los sistemas de tratamiento en estudio superan este umbral, por lo que resulta de gran importancia mantener la vigilancia sobre el ecosistema en estudio.

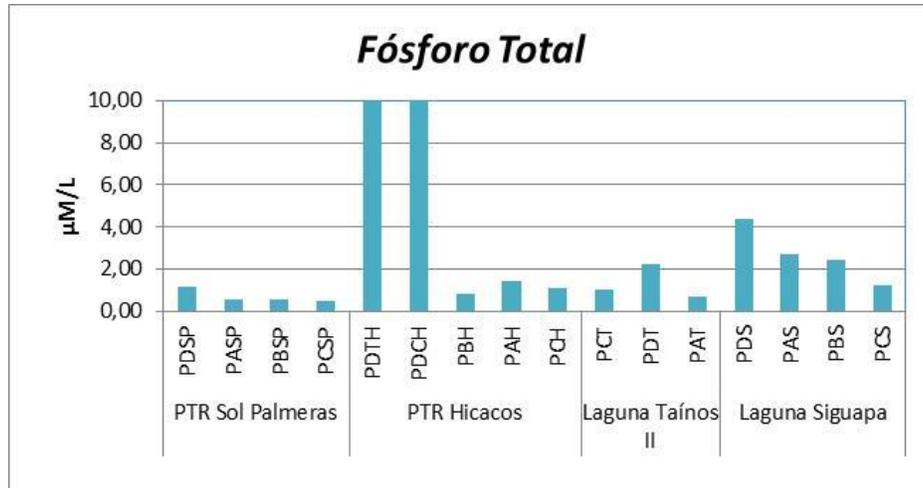


**Figura 3.34 Comportamiento de las concentraciones de Fósforo Inorgánico en todas las estaciones de muestreo.**

Un indicativo de aguas contaminadas lo constituyen las concentraciones de fósforo total, cuando estas superan el valor de 1  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , estamos en presencia de cuerpos de agua que reciben aportes de aguas residuales, como se puede apreciar en la **Figura 3.35** todas las estaciones del sistema lagunar Siguapa, todas las de la PTR Hicacos y las descargas de Sol Palmeras y Taínos II superan este umbral para aguas marinas costeras limpias, los valores medios para todas las estaciones oscilan entre 0,50 y 175,65  $\mu\text{M/L}$  las mayores concentraciones se reportan para las descargas de la PTR Hicacos con los valores más elevados.

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

Según **Anexo 4** las aguas de todas las estaciones de muestreo para este nutriente clasifican de mala calidad y solo las estaciones de Sol Palmeras (PASP, PBSP y PCSP) clasifican de calidad regular.



**Figura 3.35 Comportamiento de las concentraciones de Fósforo Total en todas las estaciones de muestreo.**

El aporte de nutrientes en el medio marino está asociado a las descargas de aguas residuales procedentes de los sistemas de tratamiento con un deficiente funcionamiento, que actualmente no remueven las concentraciones necesarias de nitrógeno y fósforo.

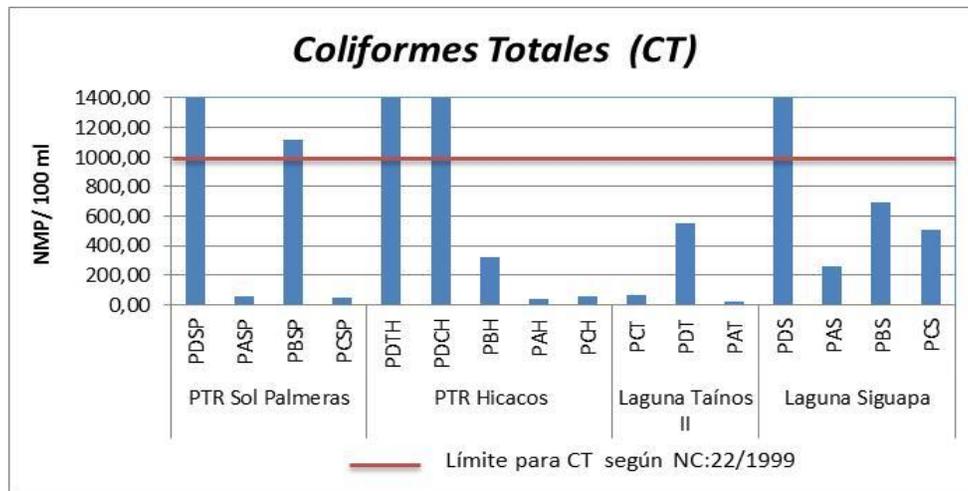
### 3.4.2 Resultados Microbiológicos

Cuando los microorganismos llegan al mar proveniente de fuentes antropogénicas (vertidos de aguas residuales, fugas en los sistemas sanitarios de aguas residuales, emisarios submarinos, tráfico marino, vertidos ilegales), o por fuentes no antropogénicas, (excremento de animales, y aguas continentales), se enfrentan a condiciones ambientales a las que normalmente no se ven sometidos, y se afrontan a dos tipos de fenómenos físicos (dispersión, dilución y sedimentación) y biológicos (adaptación y mortalidad) (Salcedo, 2013).

En las **Figuras 3.36** y **3.37** se muestran las densidades de coliformes totales y fecales o termotolerantes expresadas en medias geométricas de los NMP/100ml referidas a cada estación de muestreo.

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

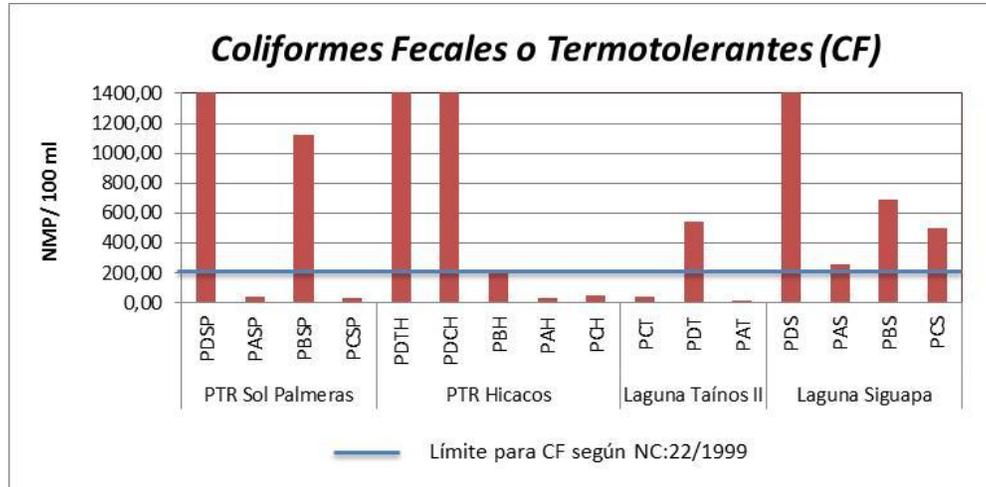
En el caso de los coliformes totales (**Figura 3.36**) los mayores valores de medias geométricas se reportan en las estaciones correspondientes a las descargas de los sistemas de tratamiento, superiores al límite máximo establecido por la NC 22 para los lugares destinados a uso recreativo. En la zona de Sol Palmeras el punto de dispersión B (PBSP) muestra valores de coliformes totales superiores al límite de esta norma. Para la descarga de la PTR Hicacos en el drenaje pluvial se muestran valores muy superiores a los encontrados en los puntos de dispersión.



**Figura 3.36 Comportamiento de las medias geométricas de Coliformes Totales en todas las estaciones de muestreo.**

Existe una correspondencia entre los CT y los CF o termotolerantes, las descargas de los sistemas de tratamiento muestran valores superiores a los límites referidos por la NC-22: 1999 (200 NMP/100 ml) (**Figura 3.37**), lo cual está acorde a las caracterizaciones realizadas a los efluentes de los sistemas que son vertidos a la costa sur de la península. En la zona de Sol Palmeras el punto de dispersión B (PBSP) y en la zona de Siguapa para todas las estaciones de dispersión, los valores de coliformes fecales superan el límite establecido por la norma.

De todas las zonas es la de Siguapa la que presenta un mayor deterioro de los parámetros microbiológicos. En esta zona la cercanía con tierra firme por el extremo oeste y los patrones de circulación de las corrientes marinas no favorecen los procesos de dilución y los niveles depurativos en la columna de agua.



**Figura 3.37 Comportamiento de las medias geométricas de Coliformes Fecales en todas las estaciones de muestreo.**

En el **Anexo 15** se muestra un resumen por zonas de los resultados de los parámetros microbiológicos, donde del total de muestras procesadas existen porcentajes de las mismas que superan los Límites Máximos Permisibles para los parámetros microbiológicos. Es la zona de Siguapa la que presenta mayores porcentajes de muestras que superan los límites establecidos por la norma (17 muestras de 20 totales) para los coliformes fecales.

Varios son los factores que pueden provocar efectos sobre la sobrevivencia de los coliformes en el agua de mar, como por ejemplo: luz, salinidad, presencia de agentes tóxicos, depredación, entre otros. A pesar de esto, las bacterias fecales han mostrado una alta sobrevivencia en el mar, hasta cierto punto una alta adaptación, las cuales pueden permanecer en el sedimento (Caillaux *et al.*, 2016). Caillaux *et al.*, (2016) plantean que los efluentes que son evacuados a través de emisarios submarinos permiten reducir la contaminación orgánica y bacteriológica mediante difusores, los cuales, junto a las mareas, corrientes y mezcla, pueden diluir las aguas servidas. En la actualidad no existe consenso a nivel científico que el agua de mar, a través del estrés osmótico elimine toda la carga bacteriana.

Con el análisis detallado de cada uno de los parámetros antes expuestos y debido a que la mayoría muestran que la calidad del agua marina en la zona estudiada se encuentra entre dudosa y mala calidad, se puede inferir que los sistemas de tratamientos vierten sus aguas residuales sin la calidad requerida y que la

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

---

influencia de las corrientes marinas y las mareas transportan la contaminación, hacia las zonas más próximas a la costa, en especial hacia la dirección este-oeste, como se observa en cada estación de muestreo. La zona de mayor contaminación es la asociada al sistema Siguapa, en su punto de descarga y hacia tierra firme con Santa Marta, seguida de la PTR Hicacos en el canal hacia la Marina Gaviota, esto hace que el comportamiento de la contaminación en la costa sur de la Península de Hicacos, muestre condiciones desfavorables en cuanto a la capacidad autorecuperativa del ecosistema y que el agua marina no posea condiciones necesarias para el desarrollo de diversas actividades entre las que se encuentran aquellas que incluyen el uso por contacto directo e indirecto con los usuarios. Otros autores como Margalef (1974) y Troccoli y Cabrera (1994) citado por Lara (2015), han encontrado comportamientos similares a los obtenidos en la presente investigación y hacen referencia que las variaciones de las condiciones estudiadas dependen mayoritariamente de las condiciones meteorológicas del área.

# Conclusiones

---

## Conclusiones

- El comportamiento de la contaminación de las aguas marinas en la costa sur de la Península de Hicacos por vertimiento de aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento limita la capacidad de autorecuperación del ecosistema con una mayor concentración de contaminantes hacia las zonas asociadas a los sistemas de tratamientos Siguapa e Hicacos.
- Los afluentes de los sistemas de tratamiento se caracterizan por elevados contenidos de alcalinidad con valores hasta 771,40 mg/L, 3553,20 mg/L de cloruros, DQO de 461,00 mg/L, 217,78 mg/L de DBO<sub>5</sub> y Coliformes Totales y Fecales o termotolerantes en el orden de 10<sup>8</sup> NMP/100 mL.
- Los efluentes al ser comparados con la NC 521: 2007 se incumple con los Límites Máximos Permisibles para los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub>, SST y Coliformes Fecales para Clase C para zonas marinas de pescas críticas.
- Los sistemas de tratamiento poseen una capacidad de remoción de cargas contaminantes acorde a los caudales que procesan, por lo que los sistemas lagunares son los de mayor remoción. Los sistemas por lodos activados son los que mayor eficiencia muestran (> 92 %) en cuanto a DBO<sub>5</sub>, para el resto de los parámetros las eficiencias calculadas poseen un comportamiento similar, en todos los sistemas.
- La calidad de las aguas marinas de las zonas asociadas al vertimiento de aguas residuales en la costa sur de la Península de Hicacos clasifican entre dudosa y mala calidad.
- La contaminación de las aguas marinas producto al vertimiento de aguas residuales procedentes de los sistemas de tratamientos es mayor en los puntos de descarga y de ahí son transportadas por las corrientes marinas en dirección este-oeste con la disminución en las concentraciones de los parámetros estudiados.

## Recomendaciones

---

### Recomendaciones

- Estudiar la distribución de patógenos entéricos principalmente la *Salmonella*, ya que no existe una correlación entre estos microorganismos y los parámetros de contaminación fecal para aguas marinas que reciben gran cantidad de vertidos de aguas residuales de origen domésticos.
- Usar parámetros como: *E. coli* y *Enterococcus*, con la finalidad de establecer relaciones entre sus recuentos y los puntos de descarga.
- Aplicar modelos matemáticos de dispersión de la contaminación a toda la costa sur de la Península de Hicacos que permitan predecir el comportamiento de la contaminación a corto, mediano y largo plazo.

## Bibliografía

---

### Bibliografía

1. Almeida M., De Armas Y., Martínez A. (2014). Resultados del muestreo hidroquímico y microbiológico en las aguas de vertimiento de las plantas de tratamiento de residuales al sur de la península de Hicacos.
2. Almeida, M., González, D., García, O. L y González, K. (2015). Informe de fuentes de vertimientos en la Península de Hicacos.
3. APHA WPCF-AWWA (2005). *Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. American Public Health Association.21th Edition*, p.210.
4. Arias, O. (2014). ESPE (Escuela Politécnica del Ejército camino a la excelencia), abril 26. [https://prezi.com/9jxffgon4orl/fuentes\\_puntuales\\_y\\_no\\_puntuales\\_de\\_contaminación\\_del\\_agua/](https://prezi.com/9jxffgon4orl/fuentes_puntuales_y_no_puntuales_de_contaminación_del_agua/). Consulta mayo 2018.
5. Augusto, F.J. y Junco, J.Z. (2002). Sistemas de tratamiento biológico. Aplicación y efectividad en la provincia de Matanzas. Cuba: Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Químico, p.70.
6. Barroso, J. (2014). Tratamiento y vertimiento de aguas residuales en la Península de Hicacos. Taller de Gestión de Manejo Integrado Costero. ppt. Aguas Varadero.
7. Benítez, A. (2003). Desarrollo de un modelo de dinámica de sistemas para el proceso de depuración por lodos activados. España: Universidad de Girona. Memoria del Trabajo de Investigación. Programa de doctorado Gestión ambiental y desarrollo sostenible, p.86.
8. Brito, I.T. (2009). Impacto ambiental en el medio marino: El caso de la reserva marina de la isla de la palma: <http://www.palmensis.com/estudios>. Consulta marzo 2018.
9. Caillaux, L., Rosales, S., Ahumada, R., Pacheco, B., Valdebenito, M., (2016). Determinación de metodologías para el desarrollo de estudios de línea base y seguimientos ambientales en ambientes marinos según grado de impacto. Informe Final. Proyecto FIP 2014-27, p. 362.

## Bibliografía

---

10. Carmenate, M., Almeida, M., González, D., Malpica, D., Clark, A., Ortiz, E., Lugioyo, M., Nuñez, Y., González, D., Fernandez, J., Sanches, M., García, R y López, Y. (2017). Monitoreo de la calidad de las aguas en la costa norte y sur de la Península de Hicacos utilizando indicadores de la respuesta rápida. Informe Final, p.46.
11. Carmenate, M., Lugioyo, M., Almeida, M., García, I., Roque, L., Vives, A., Sánchez, M., Fernández, J., Gonzalez, D., Hernández, J. L. (2016). Monitoreo de la calidad de las aguas en la costa norte y sur de la Península de Hicacos utilizando indicadores de la respuesta rápida. Informe Final, p.32.
12. Chuchón, S. A. y Aybar, C. A. (2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y Demanda Bioquímica de Oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá”, Ayacucho, Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Revista Ecología Aplicada, 7(1,2) ISSN 1726-2216, p.7.
13. CITMA (2009). Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
14. CITMA. (2002). Diagnóstico nacional de los sistemas de tratamiento de residuales líquidos. Cuba: Ciudad de La Habana. 2002, 50 p.
15. Collazos, M. F. (2014). Definición de objetivos de calidad de vertimientos en la Bahía de Buenaventura. Desarrollo de la fase I. Tesis en opción al Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ciencias Básicas, Colombia, p. 147.
16. Correa, G. R. (2008). Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio De Santa Fé De Antioquia, Colombia. Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería. Universidad de Antioquia. Colombia, p. 159.
17. CSAM (2007). Oficina de Manejo Integrado Costero, Centro de Servicios Ambientales de Matanzas.

## Bibliografía

---

18. De Buen, C.R. (2007). Modelación de la dispersión de los contaminantes vertidos en playa norte, Veracruz México. Tesis de Grado. Universidad Nacional Autónoma de México, p. 100.
19. Díaz, R. (2006). Tratamiento de Aguas y Aguas residuales. Ciudad de La Habana Editorial ISPJAE. Cuba.
20. Duarte, C. M., Ferriz-Murillo, I., Royo-Marí, L. (2012). Evaluación de los ecosistemas del milenio de España. Sección III. Evaluación de los tipos operativos de ecosistemas. Capítulo 14. Marinos. IMEDEA (CSIC-UIB), Departamento de Investigación del Cambio Global, p. 160.
21. EQS (2002). *Environmental quality standards for water pollution*. Japón.
22. FAO. (1975). *Manual of Methods in Aquatic Environmental Research part-1. Methods for detection and monitoring of water pollution. FAO Fish. Tech. Paper. 137*, p.237.
23. Francés, G. (2015). Las corrientes marinas. <http://caumas.org/wp-content/uploads>. Consulta marzo 2018.
24. Gómez, C. P. (2012). Manejo de aguas residuales en pequeñas comunidades.
25. González, J. (2005). Tratamiento para aguas residuales albañales en zonas turísticas costeras. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Matanzas, Cuba.
26. Grasshoff, K.; M. Ehrhardt.; K. Kremling. (2002). *Methods of Seawater Analysis. Third, completely revised and extended Edition*, p.600.
27. Hernández, A. A., Quimis, A. J., Molina, G. D., Moreno, L. A. (2017). Tratamiento de las aguas residuales de Cantón Porto viejo y su potencial impacto ambiental. UNEUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria. Publicación cuatrimestral. Vol. 1, No. 2 (Agosto), p 12.
28. Hierro, G.J. (2005). Lodos de plantas depuradoras de aguas servidas.

## Bibliografía

---

29. Hurtado, Y., Botero, P., Herrera, C.M. y García, E. (2009). Selección y propuesta de parámetros para la determinación de la calidad ambiental en playas turísticas del Caribe colombiano.
30. IOC-UNESCO. (1983). *Chemical methods for use in marine environmental monitoring. Manual and guides*, No. 12, p. 52.
31. ISO 5667-1 (1993). Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: Guía para el diseño de los Programas de Muestreo.
32. ISO 5667-3 (1994). *Guidance on the preservation and handling of samples. Water quality. Sampling Part 3*.
33. Lara, R., Velásquez, R., Troccoli Ghinaglia, L., Hernández, D. y Lemus, M. (2015). Variación temporal de las variables físico-químicas y biomasa fitoplanctónica en aguas superficiales de la zona costera de Chacopata, NE Venezuela (Mar Caribe). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Vol. 50, Nº2: 367-373, agosto 2015, p.7.
34. Madrid, A. (2012). Manual del agua. Ciencia, tecnología y legislación, 1<sup>era</sup> edición. <http://www.amvediciones.com/aguas.htm>. Consulta enero 2018.
35. Margalef, R. (1974). *Ecología*. Ed. Omega. Barcelona, p.951.
36. Martín, M. (2006). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Miguel Martín, España. AENOR ediciones. Madrid.
37. Martínez, M., Montalvo, J.F., Miravet, M.E., Lugioyo, M. Loza, S. y Pérez, R. (2004). Evaluación de las zonas de impacto antrópico del Golfo de Batabanó. Informe Final.
38. Martínez, M., Montalvo, J.F., Miravet, M.E., Lugioyo, M. Loza, S. y Pérez, R. (2004). Evaluación de las zonas de impacto antrópico del Golfo de Batabanó. Informe Final.
39. Martínez, Y. (2005) Análisis de variantes operacionales para la inclusión de etapas de eliminación biológica de nutrientes en EDARs. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Matanzas. Cuba.

## Bibliografía

---

40. Menéndez, C L., Pérez, J. M. (2007). Libro: Procesos para el tratamiento Biológico de Aguas Residuales Industriales, Capítulo1: Indicadores de la Contaminación. Capítulo 4 Lodo Activado.
41. Metcalf y Eddy (2003). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3ra. ed. Madrid: McGraw-Hill, p. 1485. ISBN 84-481-1607-0.
42. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). (1991) Depuración por lagunaje de aguas residuales. Manual de operadores. Monografías de la Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente. Madrid
43. Miravet, M.E., Lugioyo, M., Loza, S., Enríquez, D., Delgado, Y., Carmenate, M. y Pérez, D.M. (2009). Procedimiento para el monitoreo de la calidad ambiental en la zona marino costera a partir de microorganismos. Ediciones Centenarias, Santas Domingo, Rep. Dominicana, p 95. ISBN 978-959-287-020-8.
44. Montalvo, J. F., Perigó, E., Espinosa, M. y García, I. (2000). Prospección de variables hidroquímicas de calidad ambiental en la zona litoral entre los ríos Hatiguanico y Majana. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental.
45. Muñoz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de las aguas residuales. Junio.
46. Muñoz, H. y Baumann, J. (2017). Remoción de bacterias coliformes en un sistema de lodos activados y humedal construido. Ecosistemas y recursos agropecuarios versión *On-line* ISSN 2007-901X versión impresa ISSN 2007-9028 Ecosistemas y Recursos Agropecuarios vol.4 no.11 Villa hermosa mayo/ agosto. 2017. <http://dx.doi.org/10.19136/era.a4n11.913>. Consulta mayo 2018.
47. NC 22 (ONN, 1999a) Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos Higiénicos Sanitarios.
48. NC 25 (ONN, 1999b) Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero.
49. NC 27:2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.

## Bibliografía

---

50. NC 521:2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones.
51. NC 93-01-128:1988. Determinación del Número Más Probable de Coliformes Totales y Fecales. Vigente. Julio 1989.
52. Noone, K., Sumaila, R., Díaz, R. J. (2012) .*Valuing the Ocean. Extended Executive Summary. SEI, Stockholm Environment Institute*, p30.
53. Ocampo, J. (2013). "Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados." Comisión estatal de agua de Jalisco: México. Tomo 1.
54. Ochoa M. P., V. G. Estrada y P. M. Hoch. (2013). Control óptimo de un sistema de lagunas para el tratamiento biológico de aguas residuales. Planta Piloto de Ingeniería Química. (Universidad Nacional del Sur - CONICET). Argentina. VII CAIQ 2013 y 2das JASP.
55. Oficina Nacional de Estadísticas (O.N.E) (2010). Gestión Ambiental en Cifras. CUBA. Edición Julio 2011. Enero-Diciembre de 2010. Dirección de Industrias y Medio Ambiente, p.38.
56. Paira, M. (2009). Contaminación del Agua, agosto <https://www.zonaeconomica.com/el-agua>. Consulta marzo 2018.
57. Peñaloza, J. A. (2012). Desarrollo Local Sostenible. Universidad de Pamplona. Febrero, vol. 5, N° 13. [http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/aguas\\_residuales.htm](http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/aguas_residuales.htm). Consulta febrero 2018.
58. Pepper, I., Gerba, C., and Brussav, M. (1996). *Pollution Science. Academic Press*.
59. Pinzón, M. (2010). "Diseño, construcción y puesta en marcha de un modelo de tratamiento para las aguas residuales".
60. Plott, T.R., Conover, J., Louks, R., Mann, K., Peer, D.L., Prekask, A. y Saamoto, D.D. (1973). *Study of eutrophication in a marine basin. FAO Technical Conference on marine pollution and its effects on living resources and fishing*.

## Bibliografía

---

61. Pujol, R y Lienard, A. (1990). *Cualitative and quantitative characterization of waste water for small communities. Wat Sci. Tech.* 1990, vol. 22, no. 314, p. 253 – 260.
62. Regadera, R., E. García, I. Torres, Y. Gómez, D. Scull, L. López, O. García, F. Potrillé, L. Bell e I. Periles. (2008). Monitoreo de la calidad del agua y la zona costera del tramo de playas Los Taínos, Varadero, para la candidatura a Playa Bandera Azul. Informe Final. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas, Cuba, 16 p, p.24.
63. Rodríguez, L. (2016). Tesis para optar por el título de Ingeniero Químico. Uso de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales del sistemas por lodos activados “Hicacos”. Varadero, Matanzas.
64. Rojo, R., Rodríguez, F., Jiménez, T. (2017). Modificación PTR Calle K. Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos. Villa Clara. Cuba, p.33.
65. Rosabal, C. (2017). Estudio sobre la contaminación asociada al vertimiento en la zona sur de la Península de Hicacos.
66. Ruíz, Y. (2014). Evaluación de procesos unitarios en Estación Depuradora de Aguas Residuales Hicacos. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas, Cuba.
67. Salcedo, H. (2013). Calidad del agua de la Bahía de Cartagena en relación con la distribución espacial de Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus ssp* durante la temporada seca del 2013. Tesis de grado para optar al título De Bacteriólogo. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ciencias de la Salud Programa de Bacteriología Cartagena de Indias. Colombia, p. 77.
68. Sende, V., Pérez, A., Gómez, Y., Beltrán, J., Martínez, M., Pérez, M. (2017). “Monitoreo de la Calidad Ambiental del ecosistema Varadero-Cárdenas. Resultado 01. Control de la calidad ambiental del ecosistema marino de la zona Varadero-Cárdenas. Informe Final del Proyecto. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (Cimab), Cuba, p. 17.

## Bibliografía

---

69. Silva, N. S. (2011). Estudio comparativo de la calidad del agua de mar en las playas de Acapulco México. Tesis de Maestría en tecnología avanzada. Instituto politécnico Nacional, p. 88.
70. Terán, I. (2013). Ingeniería Ambiental, identificación de riesgos ambientales, 24 de diciembre. <https://prezi.com/gungap6qodoe/contaminantes-fisicos-quimicos-y-biologicos/>. Consulta marzo 2018.
71. Terry, C., Gutiérrez, J., Abó, M. (2006). Manual de aguas residuales en la Gestión Ambiental. La Habana: CIGEA.
72. Vergaray, G., Méndez, C.R., Morante, H.Y.; Heredia, V.I. y Béjar, V.R. (2007). *Enterococcus* y *Escherichia coli* como indicadores de contaminación fecal en playas costeras de Lima. Rev. Inst. Investig. Fac. Minas, Metal, Cienc. Geogr. 10 (20). ISSN 1561-0888.
73. Yachi, C. R. (2014). Diseño de boya lagrangiana para detección de contaminantes en corrientes costeras superficiales. Tesis para optar el Título de Diseño industrial. Pontificia Universidad Católica del Perú, p. 169.

## Anexos

### ANEXOS

**Anexo 1 Límites Máximos Permisibles para el vertimiento de aguas residuales a las zonas costeras según NC-521: 2007.**

| Parámetro                                  | UM         | Clase del Cuerpo Receptor |    |                  |          |         |          |
|--|------------|---------------------------|----|------------------|----------|---------|----------|
|  |            | A                         | B  | C <sup>(2)</sup> | D        | E       | F        |
| pH   | U          | 5.5-9.0                   | NP | 5.5-9.0          | 5.0-10.0 | 5.5-9.0 | 5.0-10.0 |
| Temperatura (1)                            | °C         | 40                        | NP | 40               | 40       | 40      | 40       |
| Aceites y grasas                           | mg/l       | 15                        | NP | 15-50            | 50       | 30      | 50       |
| Hidrocarburos Totales                      | mg/l       | 5                         | NP | 5-10             | 20       | 10      | 20       |
| Materia Flotante                           |            | Ausente                   | NP | Ausente          | Ausente  | Ausente | Ausente  |
| Sólidos Sedimentables                      | ml/l       | 5                         | NP | 5-15             | 15       | 10      | 15       |
| Sólidos Suspendedos Totales <sup>(3)</sup> | mg/l       | 30                        | NP | 30-150           | 150      | 75      | 150      |
| DBO <sub>5</sub>                           | mg/l       | 30                        | NP | 30 -150          | 150      | 75      | 150      |
| DQO  | mg/l       | 75                        | NP | 75 -300          | 300      | 190     | 300      |
| Nitrógeno Total (Kjeldahl + Nitrato)       | mg/l       | 10                        | NP | 20               | 40       | 20      | 40       |
| Fósforo Total                              | mg/l       | 5                         | NP | 7                | 10       | 5       | 10       |
| Coniformes fecales <sup>(4)</sup>          | NMP/100 ml | 200                       | NP | 200-400          | 1000     | 1000    | SR       |

(1) En cualquier caso no podrá incrementar el tenor natural del cuerpo receptor marino.

(2) Cuando se dan dos valores, el primero se corresponde con las zonas de pesca críticas para la reproducción, cría y la alimentación. El segundo valor se corresponde para otras zonas de pesca.

(3) No incluye a las algas de las lagunas de oxidación.

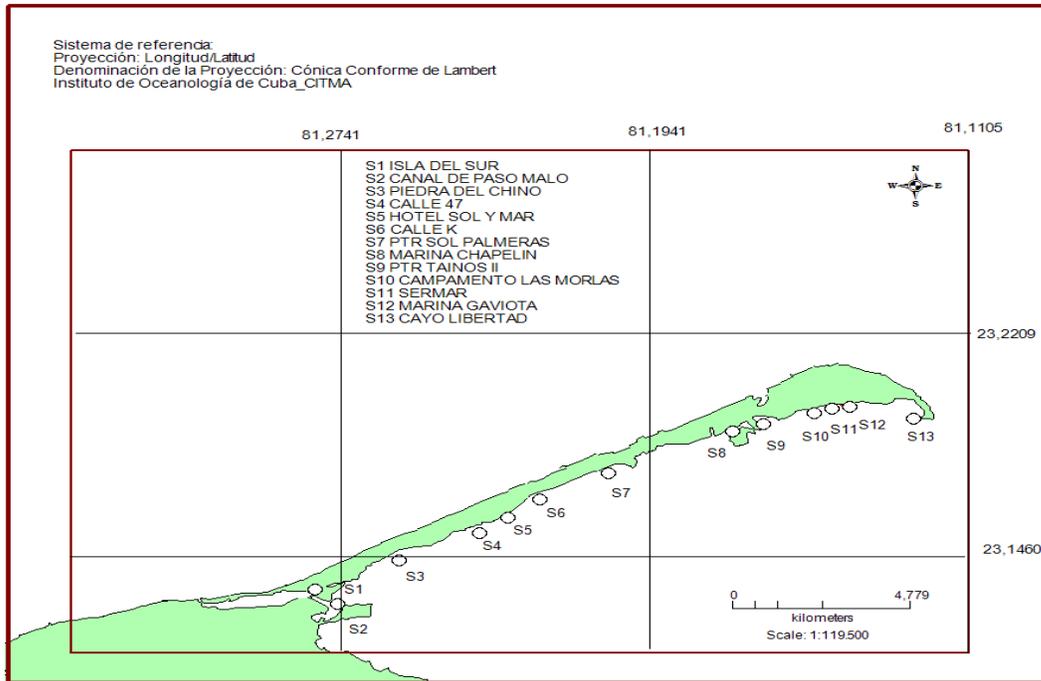
(4) Media geométrica.

NP: No se permite vertimiento.

SR: Sin restricción.

# Anexos

## Anexo 2 Red de Estaciones de Monitoreo de estudios realizados en costa sur en el período 2013-2017.



## Anexos

### **Anexo 3 Metodologías utilizadas en el análisis de las variables hidroquímicas y microbiológicas.**

| <b>Parámetro</b>            | <b>Método</b>       | <b>Principio del Método</b>   |
|-----------------------------|---------------------|---|
| Oxígeno                     | Volumétrico         | La muestra se trata con una sal de manganeso (II) y yoduro alcalino. El precipitado de hidróxido de manganeso, reacciona con el oxígeno disuelto para formar un precipitado carmelita de fórmula $MnO(OH)_2$ . La acidificación de la muestra con ácido sulfúrico forma sulfato mangánico el cual actúa como agente oxidante, liberando el yodo del yoduro de potasio. El yodo liberado es estequiométricamente equivalente al oxígeno. |
| DBO <sub>5</sub>            | Volumétrico         | <i>Idem</i> al Oxígeno.   |
| DQO                         | Volumétrico         | Oxidación con Permanganato en medio alcalino, se determina el exceso de oxidante sin reaccionar por volumetría.   |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | Potenciométrico     | Se mide mediante el uso de electrodos selectivos acoplados al potenciómetro (pHmetro)   |
| Temperatura                 | Directo             | Se mide mediante el uso de un termómetro.   |
| Salinidad                   | Electrométrico      | Se mide mediante el uso de un sensor de conductividad (como salinidad).   |
| <b>Ciclo de Nitrógeno</b>   |                     |   |
| Amonio (NH <sub>4</sub> )   | Espectrofotométrico | Una vez formado el complejo de Indofenol azul, se mide la cantidad de ión amonio presente en la muestra.  |
| Nitratos (NO <sub>3</sub> ) | Espectrofotométrico | Los nitratos se reducen con sulfato de hidracina en medio alcalino.   |
| Nitritos (NO <sub>2</sub> ) | Espectrofotométrico | Reacción clásica de Griess con formación de azocompuesto.   |
| <b>Ciclo de Fósforo</b>     |                     |   |

## Anexos

---

| <b>Parámetro</b>                                  | <b>Método</b>                                    | <b>Principio del Método</b>   |
|---|--|---|
| Fósforo Inorgánico (PO <sub>4</sub> )             | Espectrofotométrico                              | El fosfato presente en el agua, reacciona con el molibdato y reducido por el ácido ascórbico, formando el complejo azul de molibdeno. |
| Fósforo Total (PT)                                | Espectrofotométrico                              | Los compuestos de fósforo presentes son oxidados con peroxidisulfato a fosfato.   |
| Calidad sanitaria CT, C Fecales o Termotolerantes | Técnica de fermentación en Tubos Múltiples (NMP) | Series de 3 tubos según la metodología descrita en NC 93/01/128, 1988 y APHA (1998).  |

## Anexos

---

**Anexo 4 Índice de calidad de las variables químicas para las aguas marinas costeras del norte de Cuba en base a datos históricos según Martínez et al., (2004).**

| Calidad         | NO <sub>x</sub>       | NH <sub>4</sub> | NT          | PO <sub>4</sub> | PT         |
|-----------------|-----------------------|-----------------|-------------|-----------------|------------|
|                 | (μM.L <sup>-1</sup> ) |                 |             |                 |            |
| Calidad buena   | 0,05-0,58             | 0,05-1,25       | 3,76- 23,66 | 0,03-0,11       | 0,10-0,43  |
| Calidad regular | 0,59-1,28             | 1,26-2,58       | 23,67-36,08 | 0,12-0,22       | 0,44-0,66  |
| Calidad mala    | 1,28-7,59             | 2,59-28,42      | 36,1-123,25 | 0,23-8,16       | 0,67-10,08 |

## Anexos

---

**Anexo 5 Ubicación de los puntos de dispersión asociados a cada zona de estudio con los códigos, descripción y coordenadas georeferenciadas.**

**Fuente: Google Earth 2018.**



# Anexos

---



## Anexos

### Anexo 6 Caracterización del afluente de la PTR Hicacos.

| Corridas/mes            | Parámetros       |                     |             |         |        |                  |         |        |         |  |
|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|--------|------------------|---------|--------|---------|--|
|                         | Temperatura (°C) | pH (Unidades de pH) | Alcalinidad | Cloruro | DQO    | DBO <sub>5</sub> | S.T.    | S.S.T. | S.D.T.  |  |
|                         |                  |                     | (mg/l)      |         |        |                  |         |        |         |  |
| 1                       | 30,00            | 7,50                | 147,07      | 400,44  | 516,85 | 310,11           | 1021,00 | 120,00 | 1020,00 |  |
| 2                       | 29,00            | 7,45                | 770,00      | 330,36  | 400,00 | 240,00           | 560,00  | 120,00 | 440,00  |  |
| 3                       | 30,00            | 7,72                | 800,00      | 600,66  | 232,14 | 139,29           | 2360,00 | 120,00 | 2240,00 |  |
| 4                       | 31,00            | 7,99                | 800,00      | 600,66  | 419,05 | 251,43           | 1880,00 | 80,00  | 1800,00 |  |
| 5                       | 31,00            | 7,48                | 700,00      | 400,44  | 336,84 | 202,11           | 1040,00 | 80,00  | 960,00  |  |
| 6                       | 32,00            | 7,65                | 700,00      | 160,17  | 458,00 | 210,00           | 700,00  | 120,00 | 680,00  |  |
| 7                       | 30,00            | 7,31                | 640,00      | 120,13  | 195,00 | 168,00           | 700,00  | 160,00 | 640,00  |  |
| 8                       | 30,00            | 7,26                | 800,00      | 140,15  | 510,00 | 162,00           | 2250,00 | 120,00 | 2240,00 |  |
| 9                       | 29,00            | 7,32                | 800,00      | 610,71  | 225,00 | 128,00           | 1550,00 | 120,00 | 1520,00 |  |
| 10                      | 29,00            | 7,46                | 415,86      | 83,29   | 207,00 | 130,00           | 440,00  | 120,00 | 320,00  |  |
| 11                      | 29,00            | 7,31                | 384,31      | 80,09   | 173,00 | 140,00           | 680,00  | 160,00 | 520,00  |  |
| 12                      | 29,00            | 7,31                | 372,84      | 74,48   | 332,00 | 172,00           | 1900,00 | 200,00 | 1800,00 |  |
| Resultados Estadísticos |                  |                     |             |         |        |                  |         |        |         |  |
| X                       | 29,92            | 7,48                | 610,84      | 300,13  | 333,74 | 187,75           | 1256,75 | 126,67 | 1181,67 |  |
| C.V                     | 3,33             | 2,88                | 36,48       | 72,59   | 37,79  | 30,17            | 55,23   | 26,36  | 59,68   |  |
| S                       | 1,00             | 0,22                | 222,85      | 217,86  | 126,14 | 56,64            | 694,10  | 33,39  | 705,17  |  |
| C.A                     | 0,85             | 1,34                | -0,98       | 0,44    | 0,18   | 0,95             | 0,46    | 0,77   | 0,39    |  |
| C.C                     | -0,01            | 1,66                | -0,24       | -1,58   | -1,58  | 0,31             | -1,47   | 1,15   | -1,48   |  |

## Anexos

### **Anexo 6 Caracterización del efluente de la PTR Hicacos. (Continuación).**

| Corridas/mes            | Parámetros       |                     |             |         |        |                  |         |        |         |                 |
|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|--------|------------------|---------|--------|---------|-----------------|
|                         | Temperatura (°C) | pH (Unidades de pH) | Alcalinidad | Cloruro | DQO    | DBO <sub>5</sub> | S.T.    | S.S.T. | S.D.T.  | CF (NMP/100 ml) |
| 1                       | 30,00            | 7,45                | 99,32       | 380,41  | 71,91  | 15,00            | 640,00  | 80,00  | 560,00  | 240000,00       |
| 2                       | 29,00            | 7,29                | 524,00      | 180,19  | 75,29  | 8,00             | 1120,00 | 40,00  | 1080,00 | 2200,00         |
| 3                       | 30,00            | 7,33                | 440,00      | 300,33  | 71,43  | 14,00            | 1040,00 | 80,00  | 960,00  | 1600,00         |
| 4                       | 31,00            | 7,53                | 440,00      | 300,33  | 78,10  | 19,00            | 1080,00 | 40,00  | 1040,00 | 4100,00         |
| 5                       | 31,00            | 7,32                | 400,00      | 280,30  | 84,21  | 9,00             | 840,00  | 40,00  | 800,00  | 9600,00         |
| 6                       | 31,00            | 7,23                | 540,00      | 100,11  | 92,00  | 22,00            | 1240,00 | 40,00  | 1200,00 | 2800,00         |
| 7                       | 31,00            | 7,24                | 530,00      | 80,08   | 125,00 | 17,00            | 440,00  | 40,00  | 400,00  | 110000,00       |
| 8                       | 31,00            | 7,22                | 720,00      | 100,11  | 110,00 | 9,00             | 1120,00 | 40,00  | 1080,00 | 11000,00        |
| 9                       | 31,00            | 7,42                | 600,00      | 303,85  | 66,00  | 8,00             | 1280,00 | 40,00  | 1240,00 | 110000,00       |
| 10                      | 31,00            | 7,38                | 266,72      | 272,29  | 110,00 | 12,00            | 1200,00 | 40,00  | 1160,00 | 240000,00       |
| 11                      | 31,00            | 7,20                | 262,42      | 131,34  | 118,00 | 15,00            | 1440,00 | 40,00  | 1400,00 | 11000,00        |
| 12                      | 29,00            | 7,30                | 243,78      | 76,08   | 75,00  | 18,00            | 2000,00 | 80,00  | 1920,00 | 9300,00         |
| Resultados Estadísticos |                  |                     |             |         |        |                  |         |        |         |                 |
| X                       | 30,50            | 7,33                | 422,19      | 208,79  | 89,75  | 13,83            | 1120,00 | 50,00  | 1070,00 | 16104,08        |
| C.V                     | 2,62             | 1,39                | 41,83       | 51,87   | 22,98  | 33,88            | 35,13   | 36,18  | 36,53   | 570,28          |
| S                       | 0,80             | 0,10                | 176,60      | 108,30  | 20,62  | 4,69             | 393,40  | 18,09  | 390,85  | 91838,54        |
| C.A                     | -1,29            | 0,68                | -0,22       | 0,05    | 0,62   | 0,17             | 0,49    | 1,33   | 0,37    | 1,40            |
| C.C                     | 0,15             | -0,28               | -0,40       | -1,71   | -1,28  | -1,10            | 1,78    | -0,33  | 1,43    | 0,55            |

## Anexos

### **Anexo 6 Caracterización del afluente de la PTR Sol Palmeras. (Continuación).**

| Corridas/mes            | Parámetros       |                     |             |         |        |                  |         |        |         |
|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|--------|------------------|---------|--------|---------|
|                         | Temperatura (°C) | pH (Unidades de pH) | Alcalinidad | Cloruro | DQO    | DBO <sub>5</sub> | S.T.    | S.S.T. | S.D.T.  |
|                         |                  |                     | (mg/l)      |         |        |                  |         |        |         |
| 1                       | 30,00            | 7,21                | 700,00      | 150,17  | 454,55 | 272,73           | 1200,00 | 120,00 | 1080,00 |
| 2                       | 31,00            | 7,05                | 500,00      | 120,13  | 418,60 | 251,16           | 1240,00 | 160,00 | 1080,00 |
| 3                       | 30,00            | 7,25                | 680,00      | 160,18  | 227,27 | 136,36           | 1240,00 | 160,00 | 1080,00 |
| 4                       | 29,00            | 7,81                | 800,00      | 200,22  | 435,19 | 261,11           | 1440,00 | 80,00  | 1360,00 |
| 5                       | 31,00            | 7,52                | 640,00      | 160,18  | 470,00 | 282,00           | 1720,00 | 80,00  | 1640,00 |
| 6                       | 31,00            | 7,81                | 500,00      | 100,11  | 218,75 | 256,00           | 1160,00 | 120,00 | 1040,00 |
| 7                       | 30,00            | 7,31                | 1080,00     | 160,18  | 507,32 | 182,00           | 1480,00 | 120,00 | 1360,00 |
| 8                       | 30,00            | 7,65                | 920,00      | 100,11  | 170,54 | 134,00           | 1160,00 | 80,00  | 1080,00 |
| 9                       | 29,00            | 7,45                | 288,86      | 106,56  | 382,22 | 130,00           | 920,00  | 160,00 | 760,00  |
| 10                      | 29,00            | 7,34                | 406,12      | 89,06   | 451,90 | 144,00           | 1160,00 | 160,00 | 1000,00 |
| 11                      | 29,00            | 7,32                | 394,68      | 82,70   | 454,55 | 132,00           | 1000,00 | 120,00 | 880,00  |
| 12                      | 30,00            | 7,51                | 357,50      | 66,80   | 418,60 | 189,00           | 1040,00 | 160,00 | 880,00  |
| Resultados Estadísticos |                  |                     |             |         |        |                  |         |        |         |
| X                       | 29,92            | 7,44                | 605,60      | 124,70  | 384,12 | 197,53           | 1230,00 | 126,67 | 1103,33 |
| C.V                     | 2,65             | 3,17                | 40,01       | 32,51   | 29,33  | 31,63            | 18,14   | 26,36  | 22,10   |
| S                       | 0,79             | 0,24                | 242,30      | 40,54   | 112,66 | 62,48            | 223,12  | 33,39  | 243,88  |
| C.A                     | 0,16             | 0,30                | 0,61        | 0,38    | -1,10  | 0,18             | 0,91    | -0,35  | 0,93    |
| C.C                     | -1,26            | -0,57               | -0,39       | -0,85   | -0,32  | -2,00            | 0,86    | -1,45  | 0,89    |

## Anexos

### **Anexo 6** Caracterización del efluente de la PTR Sol Palmeras. (Continuación).

| Corridas/mes            | Parámetros       |                     |             |         |        |                  |         |        |         |                 |
|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|--------|------------------|---------|--------|---------|-----------------|
|                         | Temperatura (°C) | pH (Unidades de pH) | Alcalinidad | Cloruro | DQO    | DBO <sub>5</sub> | S.T.    | S.S.T. | S.D.T.  | CF (NMP/100 ml) |
| 1                       | 30,00            | 7,50                | 400,00      | 100,11  | 86,36  | 14,00            | 1500,00 | 40,00  | 1400,00 | 2000,00         |
| 2                       | 31,00            | 7,42                | 400,00      | 80,09   | 93,02  | 18,00            | 1160,00 | 40,00  | 1080,00 | 21000,00        |
| 3                       | 30,00            | 7,50                | 440,00      | 120,13  | 81,82  | 15,00            | 1160,00 | 60,00  | 1080,00 | 7200,00         |
| 4                       | 29,00            | 7,34                | 500,00      | 140,15  | 83,33  | 15,00            | 840,00  | 40,00  | 800,00  | 10000,00        |
| 5                       | 31,00            | 7,54                | 400,00      | 100,11  | 90,00  | 4,00             | 1040,00 | 40,00  | 1000,00 | 11500,00        |
| 6                       | 31,00            | 7,21                | 400,00      | 80,09   | 52,08  | 17,00            | 1240,00 | 80,00  | 1160,00 | 24000,00        |
| 7                       | 30,00            | 7,54                | 600,00      | 140,15  | 112,20 | 7,00             | 680,00  | 80,00  | 600,00  | 2900,00         |
| 8                       | 30,00            | 7,64                | 720,00      | 70,08   | 72,35  | 5,00             | 800,00  | 40,00  | 760,00  | 24000,00        |
| 9                       | 29,00            | 7,62                | 286,00      | 87,47   | 80,00  | 5,00             | 760,00  | 80,00  | 680,00  | 21000,00        |
| 10                      | 29,00            | 7,34                | 234,52      | 81,11   | 71,59  | 9,00             | 800,00  | 80,00  | 720,00  | 7200,00         |
| 11                      | 29,00            | 7,65                | 200,20      | 76,34   | 52,08  | 9,00             | 880,00  | 40,00  | 840,00  | 8000,00         |
| 12                      | 30,00            | 7,54                | 177,32      | 50,90   | 83,33  | 5,00             | 800,00  | 40,00  | 760,00  | 11500,00        |
| Resultados Estadísticos |                  |                     |             |         |        |                  |         |        |         |                 |
| X                       | 29,92            | 7,49                | 396,50      | 93,89   | 79,85  | 10,25            | 971,67  | 55,00  | 906,67  | 9823,96         |
| C.V                     | 2,65             | 1,80                | 40,51       | 29,35   | 20,89  | 50,97            | 25,41   | 35,10  | 26,09   | 80,97           |
| S                       | 0,79             | 0,14                | 160,61      | 27,56   | 16,68  | 5,22             | 246,94  | 19,31  | 236,54  | 7954,89         |
| C.A                     | 0,16             | -0,75               | 0,52        | 0,58    | -0,15  | 0,25             | 0,93    | 0,59   | 0,76    | 0,38            |
| C.C                     | -1,26            | -0,06               | 0,09        | -0,33   | 0,72   | -1,74            | 0,11    | -1,86  | -0,06   | -1,36           |

## Anexos

### **Anexo 6 Caracterización del afluente del sistema lagunar de Taínos II. (Continuación).**

| Corridas/mes            | Parámetros       |                     |             |         |        |                  |          |        |          |  |
|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|--------|------------------|----------|--------|----------|--|
|                         | Temperatura (°C) | pH (Unidades de pH) | Alcalinidad | Cloruro | DQO    | DBO <sub>5</sub> | S.T.     | S.S.T. | S.D.T.   |  |
|                         |                  |                     | (mg/l)      |         |        |                  |          |        |          |  |
| 1                       | 29,00            | 7,89                | 780,00      | 3503,85 | 756,10 | 453,66           | 11240,00 | 80,00  | 11160,00 |  |
| 2                       | 30,00            | 7,90                | 900,00      | 1601,76 | 409,64 | 245,78           | 2240,00  | 120,00 | 2120,00  |  |
| 3                       | 29,00            | 7,62                | 1000,00     | 3003,30 | 401,79 | 241,07           | 6960,00  | 160,00 | 6800,00  |  |
| 4                       | 29,00            | 7,85                | 740,00      | 2602,86 | 585,37 | 351,22           | 14080,00 | 200,00 | 13880,00 |  |
| 5                       | 32,00            | 7,45                | 840,00      | 2452,70 | 517,77 | 310,66           | 2240,00  | 160,00 | 2080,00  |  |
| 6                       | 31,00            | 7,65                | 800,00      | 2302,53 | 232,56 | 166,00           | 23600,00 | 160,00 | 23440,00 |  |
| 7                       | 31,00            | 7,98                | 1000,00     | 3503,85 | 253,66 | 155,00           | 17160,00 | 120,00 | 17040,00 |  |
| 8                       | 30,00            | 7,54                | 1040,00     | 6407,04 | 411,46 | 132,00           | 15760,00 | 400,00 | 15360,00 |  |
| 9                       | 30,00            | 8,00                | 800,00      | 7008,80 | 391,11 | 180,00           | 2160,00  | 120,00 | 2040,00  |  |
| 10                      | 30,00            | 7,85                | 473,22      | 3603,96 | 441,44 | 70,00            | 14480,00 | 240,00 | 14240,00 |  |
| 11                      | 29,00            | 7,51                | 453,14      | 3443,78 | 375,27 | 110,00           | 19320,00 | 480,00 | 18840,00 |  |
| 12                      | 30,00            | 7,92                | 430,20      | 3203,52 | 756,10 | 198,00           | 17600,00 | 400,00 | 17200,00 |  |
| Resultados Estadísticos |                  |                     |             |         |        |                  |          |        |          |  |
| X                       | 30,00            | 7,76                | 771,38      | 3553,16 | 461,02 | 217,78           | 12236,67 | 220,00 | 12016,67 |  |
| C.V                     | 3,18             | 2,53                | 27,84       | 44,92   | 36,37  | 50,42            | 59,51    | 60,30  | 60,06    |  |
| S                       | 0,95             | 0,20                | 214,73      | 1595,91 | 167,67 | 109,82           | 7282,55  | 132,66 | 7216,82  |  |
| C.A                     | 0,76             | -0,43               | -0,58       | 1,41    | 0,72   | 0,89             | -0,29    | 1,07   | -0,28    |  |
| C.C                     | 0,16             | -1,53               | -0,87       | 1,51    | -0,03  | 0,49             | -1,13    | -0,27  | -1,09    |  |

## Anexos

### **Anexo 6 Caracterización del efluente del sistema lagunar de Taínos II. (Continuación).**

| Corridas/mes            | Parámetros       |                     |             |         |        |                  |          |        |          |                 |
|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|--------|------------------|----------|--------|----------|-----------------|
|                         | Temperatura (°C) | pH (Unidades de pH) | Alcalinidad | Cloruro | DQO    | DBO <sub>5</sub> | S.T.     | S.S.T. | S.D.T.   | CF (NMP/100 ml) |
| 1                       | 29,00            | 7,59                | 740,00      | 2853,14 | 151,22 | 38,00            | 12560,00 | 40,00  | 12520,00 | 68000,00        |
| 2                       | 30,00            | 7,95                | 900,00      | 4004,40 | 120,48 | 77,00            | 10600,00 | 120,00 | 10480,00 | 52000,00        |
| 3                       | 29,00            | 7,79                | 850,00      | 6006,60 | 137,50 | 77,00            | 10960,00 | 80,00  | 10880,00 | 3100,00         |
| 4                       | 29,00            | 7,51                | 600,00      | 4104,51 | 146,34 | 61,00            | 13040,00 | 80,00  | 12960,00 | 22000,00        |
| 5                       | 32,00            | 7,92                | 750,00      | 3253,58 | 121,83 | 56,00            | 10400,00 | 80,00  | 10320,00 | 4600,00         |
| 6                       | 31,00            | 7,64                | 730,00      | 3153,47 | 93,75  | 12,00            | 22000,00 | 120,00 | 21980,00 | 24000,00        |
| 7                       | 31,00            | 7,94                | 900,00      | 3804,18 | 71,11  | 23,00            | 22000,00 | 80,00  | 21999,00 | 11000,00        |
| 8                       | 30,00            | 7,59                | 1000,00     | 6006,60 | 63,06  | 47,00            | 12960,00 | 120,00 | 12840,00 | 46000,00        |
| 9                       | 30,00            | 7,64                | 1000,00     | 4953,90 | 76,76  | 6,00             | 12800,00 | 40,00  | 12760,00 | 240000,00       |
| 10                      | 30,00            | 7,82                | 533,45      | 3203,52 | 151,22 | 26,00            | 11600,00 | 40,00  | 11560,00 | 46000,00        |
| 11                      | 29,00            | 7,91                | 511,94      | 3203,52 | 120,48 | 28,00            | 13360,00 | 80,00  | 13280,00 | 240000,00       |
| 12                      | 30,00            | 7,57                | 425,90      | 2983,28 | 137,50 | 39,00            | 11600,00 | 120,00 | 11480,00 | 52000,00        |
| Resultados Estadísticos |                  |                     |             |         |        |                  |          |        |          |                 |
| X                       | 30,00            | 7,74                | 745,11      | 3960,89 | 115,94 | 40,83            | 13656,67 | 83,33  | 13588,25 | 33295,33        |
| C.V                     | 3,18             | 2,14                | 25,95       | 28,37   | 27,59  | 57,43            | 29,44    | 38,06  | 29,79    | 249,94          |
| S                       | 0,95             | 0,17                | 193,37      | 1123,52 | 31,98  | 23,45            | 4020,33  | 31,72  | 4048,29  | 83217,20        |
| C.A                     | 0,76             | 0,09                | -0,24       | 1,08    | -0,58  | 0,25             | 1,78     | -0,16  | 1,78     | 1,78            |
| C.C                     | 0,16             | -1,86               | -1,16       | -0,10   | -1,20  | -0,92            | 1,99     | -1,26  | 1,99     | 1,97            |

## Anexos

### **Anexo 6 Caracterización del afluente del sistema lagunar Siguapa. (Continuación).**

| Corridas/mes            | Parámetros       |                     |             |         |        |                  |          |        |          |  |
|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|--------|------------------|----------|--------|----------|--|
|                         | Temperatura (°C) | pH (Unidades de pH) | Alcalinidad | Cloruro | DQO    | DBO <sub>5</sub> | S.T.     | S.S.T. | S.D.T.   |  |
|                         |                  |                     | (mg/l)      |         |        |                  |          |        |          |  |
| 1                       | 29,00            | 7,08                | 600,00      | 3503,85 | 439,02 | 263,41           | 6880,00  | 120,00 | 6760,00  |  |
| 2                       | 30,00            | 7,25                | 700,00      | 2502,75 | 481,93 | 289,16           | 5280,00  | 120,00 | 5160,00  |  |
| 3                       | 29,00            | 7,07                | 650,00      | 2652,91 | 481,93 | 289,16           | 4720,00  | 80,00  | 4640,00  |  |
| 4                       | 29,00            | 7,20                | 500,00      | 2302,53 | 560,98 | 336,59           | 11000,00 | 160,00 | 10910,00 |  |
| 5                       | 32,00            | 7,54                | 640,00      | 2302,53 | 477,16 | 286,29           | 5200,00  | 160,00 | 5040,00  |  |
| 6                       | 31,00            | 7,82                | 680,00      | 2102,31 | 465,12 | 131,00           | 9880,00  | 200,00 | 9680,00  |  |
| 7                       | 31,00            | 7,62                | 800,00      | 1952,14 | 214,63 | 127,00           | 5640,00  | 120,00 | 5520,00  |  |
| 8                       | 30,00            | 7,15                | 840,00      | 2402,64 | 270,83 | 164,00           | 5160,00  | 80,00  | 5080,00  |  |
| 9                       | 29,00            | 7,92                | 377,52      | 2903,19 | 320,00 | 162,00           | 5160,00  | 80,00  | 5080,00  |  |
| 10                      | 30,00            | 7,64                | 366,08      | 2082,28 | 360,36 | 125,00           | 4680,00  | 480,00 | 4200,00  |  |
| 11                      | 29,00            | 7,32                | 346,06      | 2002,20 | 494,67 | 131,00           | 4360,00  | 400,00 | 3960,00  |  |
| 12                      | 30,00            | 7,68                | 337,48      | 1842,02 | 560,98 | 162,00           | 3600,00  | 400,00 | 3200,00  |  |
| Resultados Estadísticos |                  |                     |             |         |        |                  |          |        |          |  |
| X                       | 29,92            | 7,44                | 569,76      | 2379,28 | 427,30 | 205,55           | 5963,33  | 200,00 | 5769,17  |  |
| C.V                     | 3,33             | 4,00                | 31,52       | 19,71   | 26,02  | 38,90            | 37,61    | 71,35  | 39,88    |  |
| S                       | 1,00             | 0,30                | 179,58      | 469,02  | 111,20 | 79,95            | 2243,01  | 142,70 | 2300,80  |  |
| C.A                     | 0,85             | 0,20                | -0,06       | 1,33    | -0,75  | 0,44             | 1,60     | 1,17   | 1,50     |  |
| C.C                     | -0,01            | -1,47               | -1,43       | 1,93    | -0,44  | -1,73            | 1,72     | -0,20  | 1,57     |  |

## Anexos

### **Anexo 6 Caracterización del efluente del sistema lagunar Siguapa. (Continuación).**

| Corridas/mes            | Parámetros       |                     |             |         |        |                  |         |        |         |                 |
|-------------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|--------|------------------|---------|--------|---------|-----------------|
|                         | Temperatura (°C) | pH (Unidades de pH) | Alcalinidad | Cloruro | DQO    | DBO <sub>5</sub> | S.T.    | S.S.T. | S.D.T.  | CF (NMP/100 ml) |
| 1                       | 29,00            | 7,09                | 560,00      | 2803,08 | 73,17  | 28,00            | 5520,00 | 80,00  | 5440,00 | 16100,00        |
| 2                       | 30,00            | 7,20                | 600,00      | 2002,20 | 125,30 | 88,00            | 5840,00 | 80,00  | 5100,00 | 5000,00         |
| 3                       | 29,00            | 7,90                | 570,00      | 2302,53 | 192,77 | 62,00            | 5360,00 | 120,00 | 5240,00 | 4100,00         |
| 4                       | 29,00            | 7,20                | 450,00      | 2002,20 | 170,73 | 52,00            | 6400,00 | 40,00  | 6360,00 | 13200,00        |
| 5                       | 32,00            | 7,50                | 530,00      | 1902,09 | 111,68 | 42,00            | 5920,00 | 80,00  | 5840,00 | 3200,00         |
| 6                       | 31,00            | 7,25                | 560,00      | 1601,76 | 223,26 | 40,00            | 6640,00 | 120,00 | 6520,00 | 29000,00        |
| 7                       | 31,00            | 7,60                | 660,00      | 1501,65 | 92,68  | 27,00            | 4360,00 | 80,00  | 4280,00 | 2900000,00      |
| 8                       | 30,00            | 7,63                | 800,00      | 2002,20 | 83,33  | 47,00            | 5080,00 | 40,00  | 5040,00 | 13200,00        |
| 9                       | 29,00            | 7,54                | 354,64      | 2202,42 | 84,44  | 42,00            | 5080,00 | 40,00  | 5040,00 | 5000,00         |
| 10                      | 30,00            | 7,65                | 343,20      | 1721,89 | 76,58  | 17,00            | 5800,00 | 80,00  | 5720,00 | 16100,00        |
| 11                      | 29,00            | 7,64                | 333,19      | 1641,80 | 192,77 | 22,00            | 6040,00 | 120,00 | 5920,00 | 2900000,00      |
| 12                      | 30,00            | 7,58                | 328,90      | 1401,54 | 170,73 | 31,00            | 3200,00 | 80,00  | 3120,00 | 2900000,00      |
| Resultados Estadísticos |                  |                     |             |         |        |                  |         |        |         |                 |
| X                       | 29,92            | 7,48                | 507,49      | 1923,78 | 133,12 | 41,50            | 5436,67 | 80,00  | 5301,67 | 38461,14        |
| C.V                     | 3,33             | 3,23                | 29,30       | 20,36   | 40,43  | 47,14            | 17,27   | 36,93  | 17,49   | 3396,47         |
| S                       | 1,00             | 0,24                | 148,70      | 391,74  | 53,82  | 19,56            | 938,93  | 29,54  | 927,14  | 1306322,49      |
| C.A                     | 0,85             | -0,22               | 0,36        | 0,86    | 0,39   | 1,19             | -1,24   | 0,00   | -1,10   | 1,33            |
| C.C                     | -0,01            | -0,73               | -0,43       | 0,98    | -1,53  | 1,84             | 1,97    | -0,86  | 1,83    | -0,33           |

## Anexos

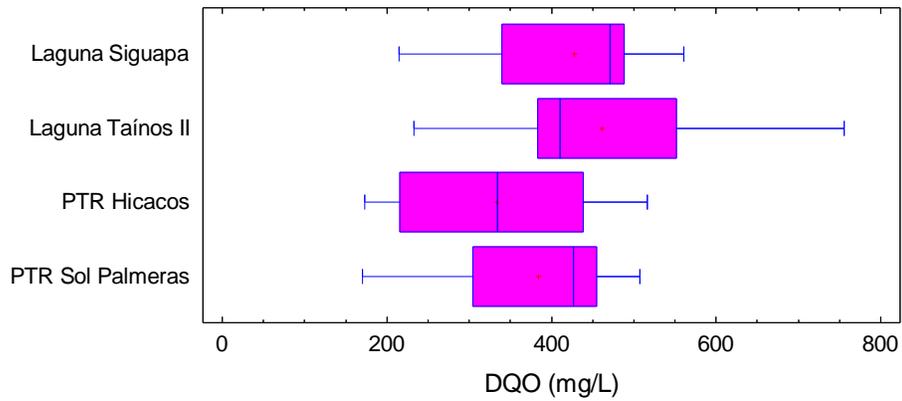
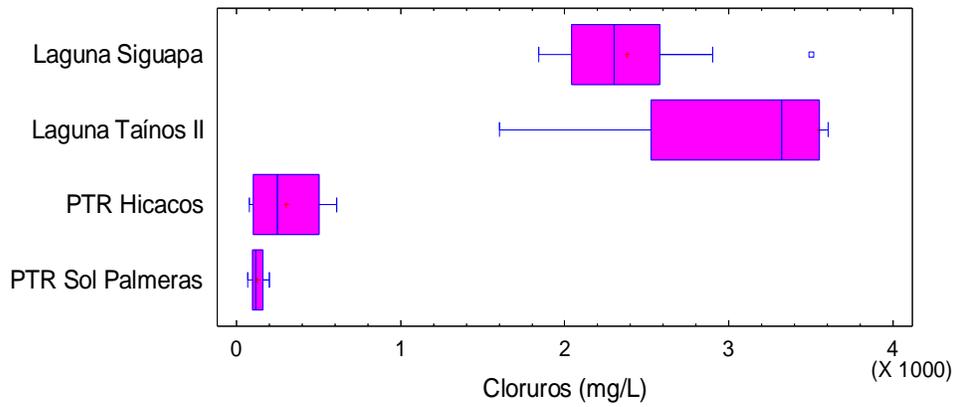
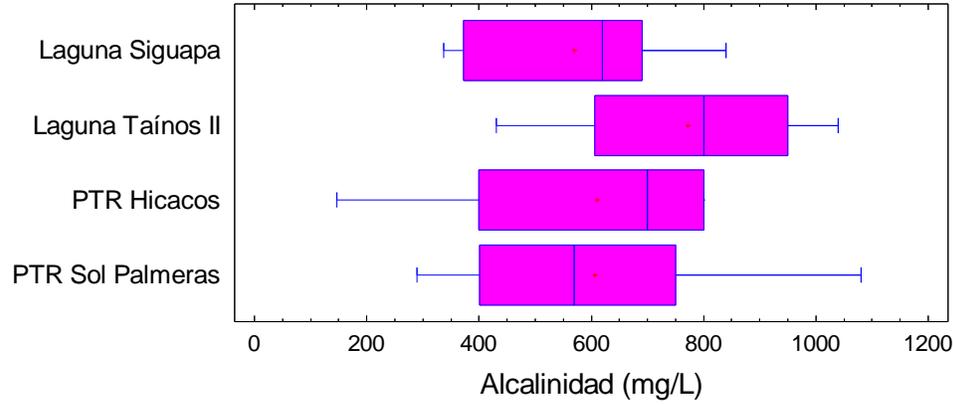
### **Anexo 7 Concentraciones de las aguas residuales reportadas por diferentes autores.**

| Constituyente                            | Martín, (2006) |                 |       | Hernández, <i>et al.</i> , (2017) |       |       | Terry, <i>et al.</i> , (2006) |     |      | MOPT (1991)                       | Menéndez, <i>et al.</i> , (2007) |
|--|----------------|-----------------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------------------------------|-----|------|-----------------------------------|----------------------------------|
|  | Fuerte         | Media           | Débil | Fuerte                            | Media | Débil | C                             | M   | D    |                                   |                                  |
| Unidades de pH<br>(Unidades de pH)       |                |                 |       | 6,5-8,0                           |       |       | 7,5                           | 7,0 | 6,5  | 6,0 - 9,0                         | 6,8 - 7,5                        |
| Sólidos totales<br>(mg/L)                | 1200           | 720             | 350   |                                   |       |       | 1200                          | 700 | 400  | 350 - 1200                        | 322 - 640                        |
| Sólidos Suspendidos<br>totales (mg/L)    | 350            | 220             | 100   | 350                               | 220   | 110   |                               |     |      | 100 - 350                         | 83 - 258                         |
| DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)  | 400            | 220             | 110   | 300                               | 200   | 100   | 350                           | 200 | 1100 |                                   | 75 - 276                         |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /L)               | 1000           | 500             | 250   | 1000                              | 500   | 250   | 800                           | 400 | 200  |                                   | 159 - 436                        |
| Nitrógeno Total (mg<br>N/L)              | 85             | 40              | 20    |                                   |       |       | 60                            | 40  | 20   | 20 - 85                           |                                  |
| Nitrógeno Amoniacal<br>(mg N/L)          | 50             | 25              | 12    | 50                                | 25    | 12    | 30                            | 15  | 10   | 12 - 50                           |                                  |
| Fósforo Total (mg<br>P/L)                | 15             | 8               | 4     |                                   |       |       | 20                            | 10  | 5    | 4 - 15                            |                                  |
| Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )         |                |                 |       |                                   |       |       | 150                           | 100 | 50   |                                   | 25 - 45                          |
| Alcalinidad (como<br>CaCO <sub>3</sub> ) |                |                 |       |                                   |       |       | 350                           | 225 | 150  |                                   |                                  |
| Coliformes Totales<br>(NMP/100 mL)       |                | 10 <sup>8</sup> |       |                                   |       |       | 0,2 - 5 10 <sup>9</sup>       |     |      | 10 <sup>6</sup> - 10 <sup>9</sup> |                                  |
| Coliformes Fecales<br>(NMP/100 mL)       |                | 10 <sup>7</sup> |       |                                   |       |       | 0,3 -17 10 <sup>8</sup>       |     |      | 10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup> |                                  |

Leyenda: C: Concentrado, M: Medio y D: Diluido

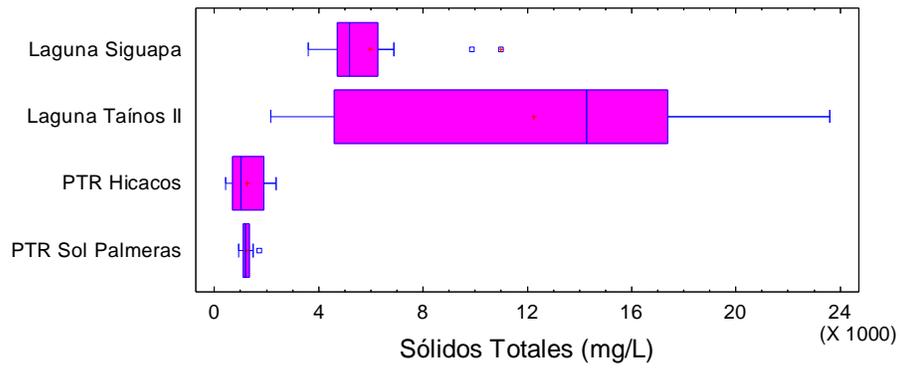
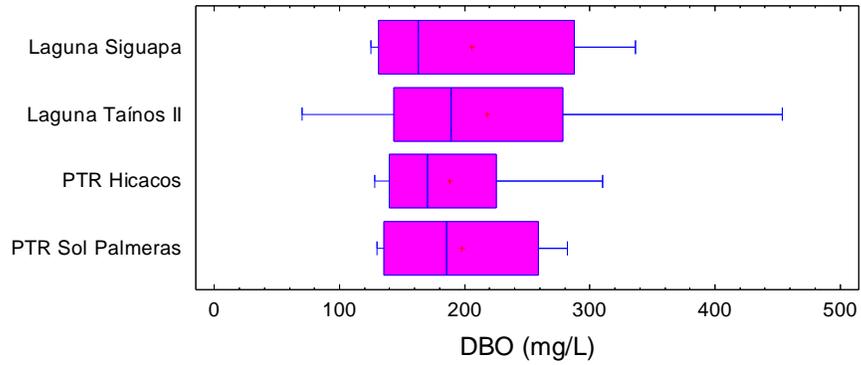
# Anexos

## **Anexo 8 Intervalos de confianzas de los parámetros en los afluentes para los cuatro sistemas de tratamiento.**



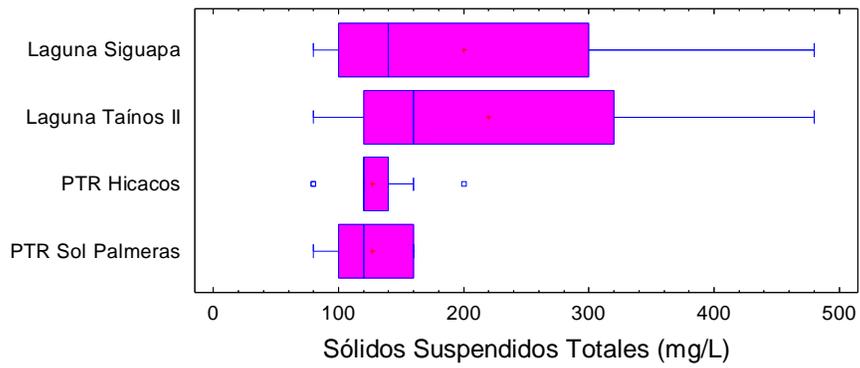
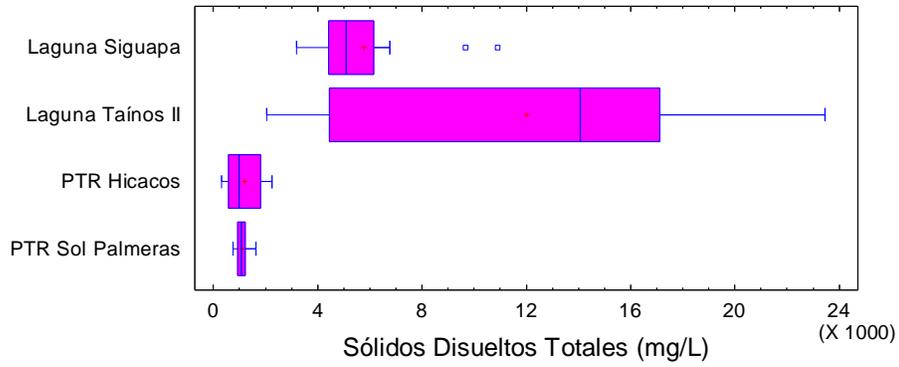
## Anexos

### **Anexo 8 Intervalos de confianzas de los parámetros en los afluentes para los cuatro sistemas de tratamiento. (Continuación).**



## Anexos

### **Anexo 8 Intervalos de confianzas de los parámetros en los afluentes para los cuatro sistemas de tratamiento. (Continuación).**



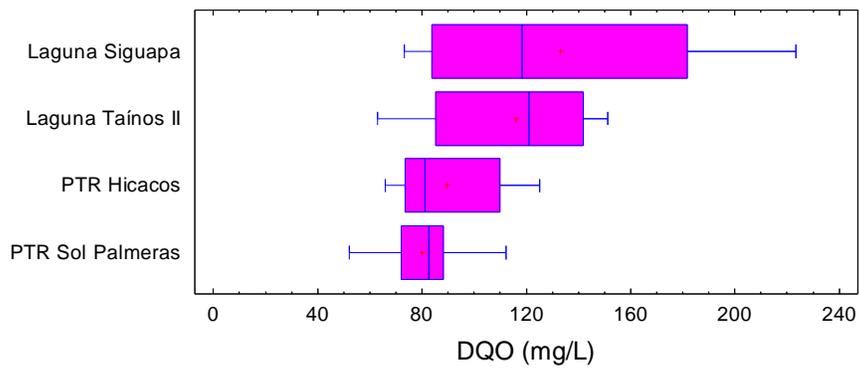
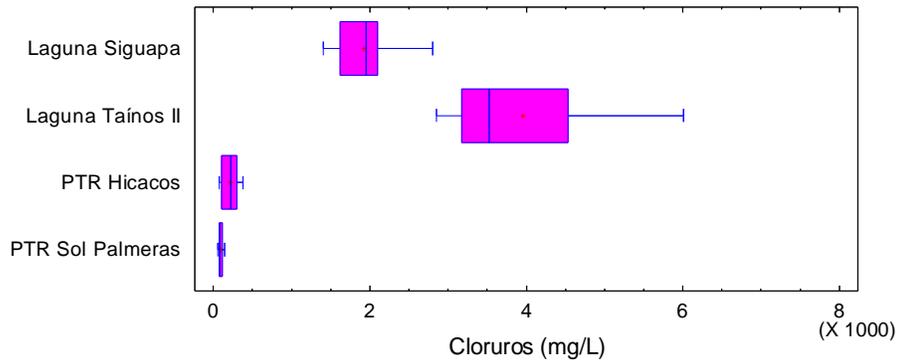
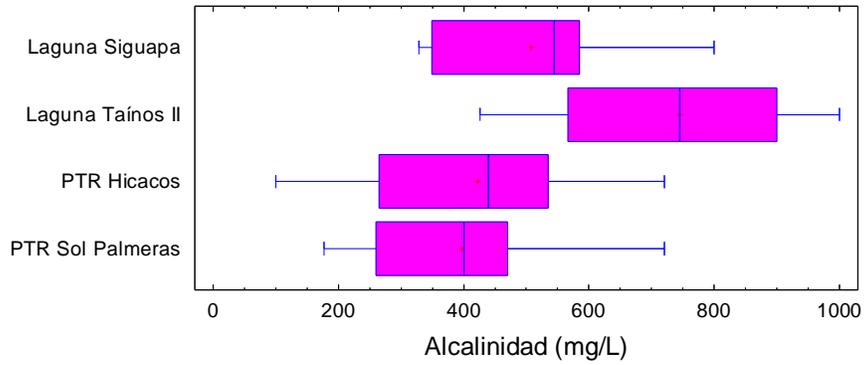
## Anexos

**Anexo 9 Resumen de los resultados estadísticos entre sistemas de tratamiento de los parámetros en el afluente con respecto al P-value.**

| <b>Parámetros</b>       | <b>P-value</b> | <b>Diferencias significativas</b> | <b>Diferentes (≠)</b>  |
|-------------------------|----------------|-----------------------------------|--|
| Alcalinidad(mg/L)       | 0,1171         | No                                | -  |
| Cloruro(mg/L)           | 0,0000         | Si                                | Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Sol Palmeras ≠ Taínos II<br>Hicacos ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠ Taínos II |
| DQO(mg/L)               | 0,1128         | No                                | -  |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L) | 0,8227         | No                                | -  |
| ST(mg/L)                | 0,0000         | Si                                | Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Sol Palmeras ≠ Taínos II<br>Hicacos ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠ Taínos II |
| SST(mg/L)               | 0,0485         | Si                                | Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Sol Palmeras ≠ Taínos II<br>Hicacos ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠ Taínos II |
| SDT(mg/L)               | 0,0000         | Si                                | Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Sol Palmeras ≠ Taínos II<br>Hicacos ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠ Taínos II |

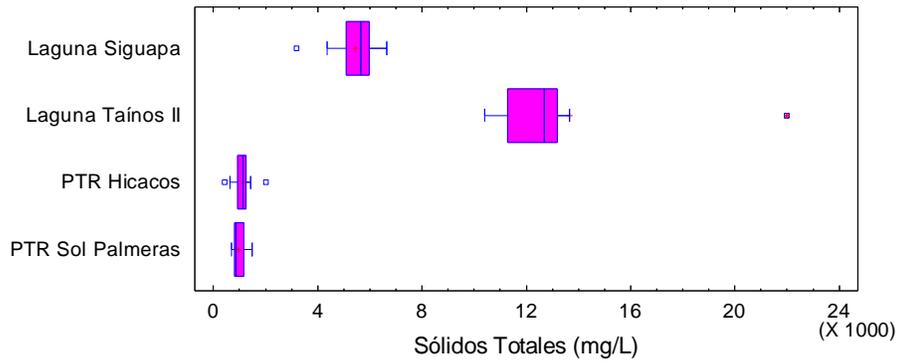
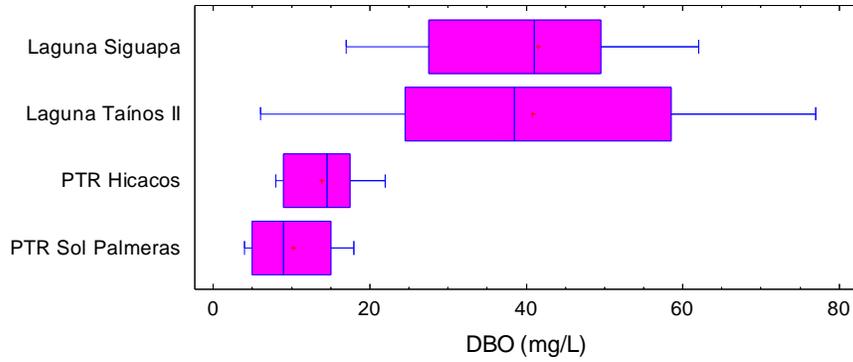
# Anexos

## **Anexo 10 Intervalos de confianzas de los parámetros en los Efluentes para los cuatro sistemas de tratamiento.**



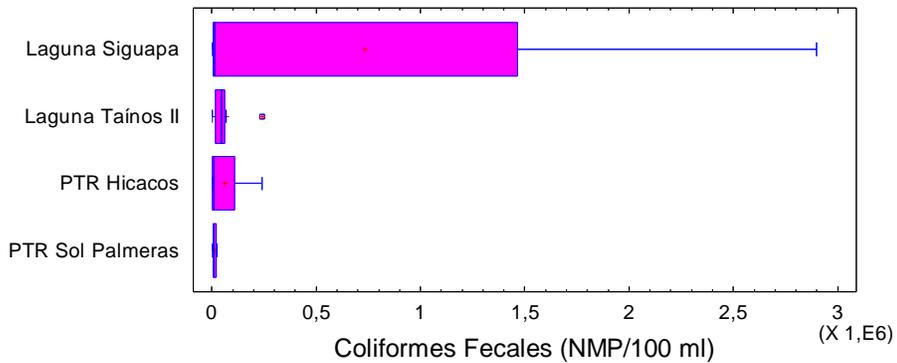
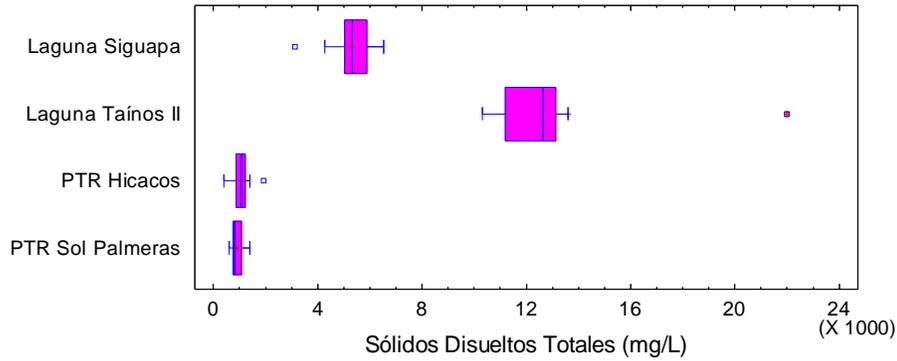
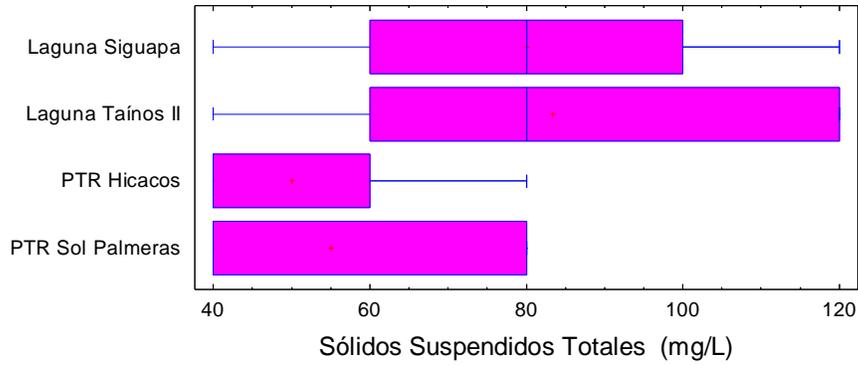
# Anexos

## **Anexo 10 Intervalos de confianzas de los parámetros en los Efluentes para los cuatro sistemas de tratamiento. (Continuación).**



# Anexos

## Anexo 10 Intervalos de confianzas de los parámetros en los Efluentes para los cuatro sistemas de tratamiento. (Continuación).



## Anexos

### **Anexo 11 Resumen de los resultados estadísticos entre sistemas de tratamiento de los parámetros en el efluente con respecto al P-value.**

| <b>Parámetros</b>       | <b>P-value</b> | <b>Diferencias significativas</b> | <b>Diferentes (≠)</b>  |
|-------------------------|----------------|-----------------------------------|--|
| Alcalinidad(mg/L)       | 0,0000         | Si                                | Sol Palmeras ≠Taínos II<br>Hicacos ≠Taínos II<br>Siguapa ≠Taínos II                          |
| Cloruro(mg/L)           | 0,0000         | Si                                | Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Sol Palmeras ≠Taínos II<br>Hicacos ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠Taínos II |
| DQO(mg/L)               | 0,0014         | Si                                | Sol Palmeras ≠Taínos II<br>Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠Taínos II |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L) | 0,0000         | Si                                | Sol Palmeras ≠Taínos II<br>Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠Taínos II |
| ST(mg/L)                | 0,0000         | Si                                | Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Sol Palmeras ≠Taínos II<br>Hicacos ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠Taínos II |
| SST(mg/L)               | 0,0030         | Si                                | Hicacos ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠Taínos II<br>Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Sol Palmeras ≠Taínos II |
| SDT(mg/L)               | 0,0000         | Si                                | Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Sol Palmeras ≠Taínos II<br>Hicacos ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠Taínos II |
| CF(NMP/100 ml)          | 0,0290         | Si                                | Sol Palmeras ≠ Siguapa<br>Hicacos ≠ Siguapa<br>Taínos II ≠ Siguapa                           |

## Anexos

### **Anexo 12 Resumen de los resultados de los parámetros microbiológicos en todas las estaciones en el periodo 2013 – 2017.**

| Estaciones              | No de Muestreos | % de Muestras que rebasaron los Límites Máximos Permisibles por NC 22: 1999 |                        |                        | Media Geométrica |        |       | Valores Máximo (NMP/100 ml) |        |       | Valores Mínimo (NMP/100 ml) |     |    |
|-------------------------|-----------------|---|------------------------|------------------------|------------------|--------|-------|-----------------------------|--------|-------|-----------------------------|-----|----|
|                         |                 | (1000 de CT NMP/100 ml)   | (200 de CF NMP/100 ml) | (100 de EF NMP/100 ml) | CT               | CF     | ET    | CT                          | CF     | ET    | CT                          | CF  | ET |
| PTR Sol Palmeras (PDSP) | 10              | 20  | 30                     | 30                     | 74,11            | 74,11  | 77,38 | 110000                      | 110000 | 29000 | 3                           | 3   | 3  |
| Laguna Taínos II (PDT)  | 10              | 40  | 40                     | 20                     | 178,27           | 103,73 | 49,23 | 2900                        | 2900   | 4600  | 15                          | 9,1 | 3  |
| SerMar (PCH)            | 10              | 50  | 50                     | 60                     | 235,77           | 212,21 | 76,42 | 24000                       | 24000  | 430   | 3                           | 3   | 3  |
| Marina Gaviota (PAH)    | 8               | 25  | 37,5                   | 12,5                   | 54,52            | 34,57  | 15,91 | 2400                        | 2400   | 290   | 3                           | 3   | 3  |

## Anexos

### **Anexo 13 Datos Meteorológicos en el periodo de muestreo**

| mes | Día | T mín | Tmedia | T Máx | hTx             | r24h                | Nmed  | FF med                         | DD pred                           | Pm med  |
|-----|-----|-------|--------|-------|-----------------|---------------------|---|--------------------------------|-----------------------------------|---|
|     |     | (°C)  |        |       | Hora de Tempmáx | lluvia en 24 h (mm) | Nubosidad media (octavos de cielo cubierto n/8) | fuerza media del viento (km/h) | Dirección predominante del viento | Presión atmosférica media a nivel del mar (hPa) |
| 11  | 12  | 24,6  | 27,0   | 28,5  | 13:05           | 1,3                 | 6   | 29,9                           | E                                 | 1014,9  |
| 11  | 13  | 22,4  | 26,6   | 27,6  | 12:40           | 14,7                | 7   | 26,5                           | ENE                               | 1014,1  |
| 11  | 14  | 22,9  | 26,6   | 28,1  | 12:10           | 0                   | 4   | 19,1                           | ENE                               | 1012,2  |
| 11  | 15  | 21,3  | 25,5   | 27,6  | 13:45           | <b>25,7</b>         | 5   | 16,4                           | NNE                               | 1011,9  |
| 11  | 16  | 19,9  | 23,9   | 25,5  | 12:30           | <b>46,6</b>         | 6   | 12,5                           | NNE                               | 1013,1  |
| 11  | 17  | 21,4  | 24,9   | 26,8  | 13:05           | 0                   | 4   | 24,1                           | ENE                               | 1014,5  |
| 11  | 18  | 23,2  | 25,1   | 27,0  | 12:20           | 0                   | 3   | 21,3                           | ENE                               | 1014,3  |
| 11  | 19  | 21,0  | 25,0   | 27,9  | 14:30           | 0                   | 3   | 14,0                           | NNE                               | 1014,2  |
| 11  | 20  | 23,4  | 25,4   | 27    | 12:40           | 0                   | 2   | 24,8                           | E                                 | 1015,2  |
| 11  | 21  | 21,3  | 25,7   | 28,2  | 13:20           | 0                   | 2   | 16,1                           | E                                 | 1013,7  |
| 11  | 22  | 21,7  | 26,0   | 28,7  | 13:10           | 0                   | 2   | 15,5                           | E                                 | 1013,1  |
| 11  | 23  | 21,5  | 24,7   | 28,6  | 13:05           | 1,1                 | 5   | 18,9                           | S                                 | 1012,2  |
| 11  | 24  | 21,4  | 25,5   | 28,6  | 14:30           | 0                   | 4   | 14,3                           | SSW                               | 1012,7  |
| 11  | 25  | 23,5  | 25,4   | 27,3  | 13:20           | 0                   | 4   | 20,0                           | NNE                               | 1015,2  |
| 11  | 26  | 23,6  | 25,6   | 27,4  | 13:35           | 0                   | 4   | 22,3                           | ENE                               | 1015,6  |
| 11  | 27  | 21,6  | 24,7   | 25,6  | 16:20           | 2,7                 | 6   | 28,8                           | ENE                               | 1015,3  |
| 11  | 28  | 24,3  | 26,1   | 28    | 13:51           | 0,2                 | 5   | 27,8                           | E                                 | 1016,2  |
| 11  | 29  | 24,7  | 26,4   | 28    | 10:50           | 0                   | 4   | 20,9                           | NE                                | 1016,4  |
| 11  | 30  | 23,8  | 25,9   | 27,5  | 11:50           | 0,5                 | 4   | 27,1                           | ENE                               | 1015,5  |
| 12  | 1   | 21,7  | 25,1   | 26,7  | 11:50           | 2                   | 5   | 26,6                           | ENE                               | 1016,1  |
| 12  | 2   | 24,3  | 25,3   | 27    | 11:00           | 0                   | 3   | 28,9                           | ENE                               | 1017,4  |
| 12  | 3   | 22,7  | 25,1   | 26,5  | 11:20           | 0                   | 3   | 30,6                           | ENE                               | 1017,3  |
| 12  | 4   | 23,9  | 25,1   | 27,1  | 13:15           | 0                   | 4   | 35,3                           | E                                 | 1018,1  |

## Anexos

| mes | Día | T mín | Tmedia | T Máx | hTx             | r24h                | Nmed  | FF med                         | DD pred                           | Pm med  |
|-----|-----|-------|--------|-------|-----------------|---------------------|---|--------------------------------|-----------------------------------|---|
|     |     | (°C)  |        |       | Hora de Tempmáx | lluvia en 24 h (mm) | Nubosidad media (octavos de cielo cubierto n/8) | fuerza media del viento (km/h) | Dirección predominante del viento | Presión atmosférica media a nivel del mar (hPa) |
| 12  | 5   | 24,2  | 25,6   | 27,6  | 12:20           | 0                   | 3   | 28,5                           | E                                 | 1018,5  |
| 12  | 6   | 24,4  | 25,6   | 28,0  | 13:50           | 0                   | 3   | 22,1                           | E                                 | 1017,1  |
| 12  | 7   | 22,3  | 25,6   | 28,2  | 15:10           | 0                   | 3   | 16,5                           | SE                                | 1014,8  |
| 12  | 8   | 23,4  | 25,8   | 29,5  | 15:40           | <b>28,8</b>         | 5   | 16,4                           | S                                 | 1013,2  |
| 12  | 9   | 21,1  | 23,1   | 25,1  | 11:20           | <b>27,8</b>         | 7   | 29,1                           | NNW                               | 1014,4  |
| 12  | 10  | 18,5  | 19,8   | 21,9  | <b>0:01</b>     | 0                   | 5   | <b>44,0</b>                    | N                                 | 1021,4  |
| 12  | 11  | 18,2  | 19,5   | 22,5  | 12:20           | 0                   | 4   | 29,8                           | N                                 | 1021,7  |
| 12  | 12  | 18,3  | 21,5   | 23,1  | 12:15           | 0                   | 4   | 24,4                           | NW                                | 1018,3  |
| 12  | 13  | 19,5  | 21,9   | 23,1  | 2:10            | 0                   | 5   | 21,1                           | N                                 | 1017,5  |
| 12  | 14  | 16,9  | 20,8   | 24    | 14:05           | 0                   | 2   | 8,3                            | NNE                               | 1017,6  |
| 12  | 15  | 18,8  | 23,0   | 26,2  | 13:35           | 0                   | 4   | 9,8                            | SE                                | 1018,1  |
| 12  | 16  | 23,2  | 24,6   | 26,1  | 13:01           | 0                   | 4   | 18,4                           | ESE                               | 1019,9  |
| 12  | 17  | 23,3  | 24,8   | 26,5  | 14:10           | 0                   | 5   | 16,0                           | E                                 | 1020,4  |
| 12  | 18  | 24,1  | 25,0   | 26,9  | 13:10           | 0                   | 5   | 15,9                           | E                                 | <b>1021,0</b>                                   |
| 12  | 19  | 23,4  | 25,1   | 26,9  | 13:20           | 0                   | 3   | 19,1                           | E                                 | 1020,9  |
| 12  | 20  | 23,2  | 24,8   | 27,0  | 13:40           | 0                   | 2   | 14,9                           | E                                 | 1018,6  |
| 12  | 21  | 21,2  | 24,2   | 27,1  | 14:55           | 0                   | 2   | 12,4                           | SSE                               | 1018,4  |
| 12  | 22  | 22,0  | 24,6   | 27,5  | 13:20           | 0                   | 3   | 17,3                           | E                                 | 1019,8  |
| 12  | 23  | 22,7  | 24,4   | 26,7  | 13:15           | 0                   | 2   | 16,9                           | SE                                | 1020,1  |
| 12  | 24  | 21,8  | 24,5   | 27,0  | 12:15           | 0                   | 3   | 12,5                           | E                                 | 1019,7  |
| 12  | 25  | 22,4  | 24,7   | 26,6  | 14:20           | 0                   | 4   | 13,8                           | ENE                               | 1020,1  |
| 12  | 26  | 22,4  | 25,1   | 27,2  | 10:50           | 0                   | 4   | 18,8                           | E                                 | 1020,7  |
| 12  | 27  | 22,6  | 24,8   | 26,9  | 12:25           | 0                   | 2   | 13,9                           | E                                 | 1020,7  |
| 12  | 28  | 24,1  | 25,3   | 27,7  | 13:15           | 0                   | 3   | 20,0                           | ENE                               | 1019,9  |
| 12  | 29  | 22,8  | 24,9   | 27,0  | 11:50           | 0,4                 | 3   | 12,8                           | ENE                               | 1019,3  |

## Anexos

| mes | Día | T mín | Tmedia | T Máx | hTx             | r24h                | Nmed  | FF med                         | DD pred                           | Pm med  |
|-----|-----|-------|--------|-------|-----------------|---------------------|---|--------------------------------|-----------------------------------|---|
|     |     | (°C)  |        |       | Hora de Tempmáx | lluvia en 24 h (mm) | Nubosidad media (octavos de cielo cubierto n/8) | fuerza media del viento (km/h) | Dirección predominante del viento | Presión atmosférica media a nivel del mar (hPa) |
| 12  | 30  | 22,8  | 23,9   | 26,0  | 11:00           | 0,4                 | 5   | 16,4                           | N                                 | 1019,0  |
| 12  | 31  | 21,4  | 22,5   | 24,9  | 11:20           | 0                   | 3   | 11,8                           | N                                 | 1019,7  |
| 1   | 1   | 20,8  | 23,2   | 25,6  | 13:05           | 0,2                 | 5   | 7,1                            | NNE                               | 1018,8  |
| 1   | 2   | 20,1  | 21,3   | 22,7  | <b>0:50</b>     | 0,1                 | 7   | 14,9                           | NNW                               | 1017,6  |
| 1   | 3   | 18,5  | 21,1   | 23,0  | 13:59           | 0,5                 | 5   | 22,4                           | NW                                | 1014,7  |
| 1   | 4   | 17,7  | 19,2   | 21,0  | 10:10           | 0                   | 6   | 19,3                           | N                                 | 1018,4  |
| 1   | 5   | 17,3  | 18,7   | 20,0  | 12:20           | 0                   | 6   | 16,6                           | NE                                | <b>1022,6</b>                                   |
| 1   | 6   | 18,6  | 20,8   | 22,9  | 13:05           | 0                   | 5   | 23,9                           | E                                 | <b>1022,8</b>                                   |
| 1   | 7   | 20    | 21,3   | 22,8  | 14:00           | 0                   | 4   | <b>30,9</b>                    | ENE                               | <b>1022,0</b>                                   |
| 1   | 8   | 19,8  | 21,7   | 24,4  | 14:55           | 0                   | 4   | 16,1                           | E                                 | 1017,9  |
| 1   | 9   | 20,3  | 22,1   | 23,8  | 20:35           | 2,5                 | 6   | 6,4                            | S                                 | 1015,5  |
| 1   | 10  | 19,9  | 22,0   | 24,7  | 16:10           | 0                   | 5   | 9,0                            | SE                                | 1014,9  |
| 1   | 11  | 20    | 22,9   | 26    | 14:30           | 0                   | 3   | 11,6                           | SSE                               | 1015  |
| 1   | 12  | 21    | 23,6   | 27,3  | 12:25           | 6,1                 | 4   | 11,0                           | SSE                               | 1015,1  |

## Anexos

---

### ***Anexo 14 Aspecto estético de la descarga en drenaje pluvial de la PTR Hicacos.***



Fuente: Elaboración propia.

## Anexos

### **Anexo 15 Resumen de los resultados de los parámetros microbiológicos en todas las estaciones.**

| Zonas                     | No de Estaciones | No de Muestreos | Total de Muestras Procesadas | % de Muestras que rebasaron los Límites Máximos Permisibles por NC 22: 1999 |                        | Media Geométrica |        | Valores Máximo (NMP/100 ml) |          | Valores Mínimo (NMP/100 ml) |     |
|---------------------------|------------------|-----------------|------------------------------|---|------------------------|------------------|--------|-----------------------------|----------|-----------------------------|-----|
|                           |                  |                 |                              | (1000 de CT NMP/100 ml)   | (200 de CF NMP/100 ml) | CT               | CF     | CT                          | CF       | CT                          | CF  |
| PTR Sol Palmeras          | 4                | 5               | 20                           | 40  | 50                     | 358,84           | 296,70 | > 24000                     | > 24000  | 3                           | 3   |
| PTR Hicacos               | 5                | 5               | 24                           | 33,33   | 62,5                   | 404,40           | 377,44 | > 24000                     | > 24000  | 3,6                         | 3,6 |
| Sistema Lagunar Taínos II | 3                | 5               | 15                           | 6,67  | 40                     | 87,53            | 75,64  | 2100                        | 2100     | 3,6                         | 3,6 |
| Sistema Lagunar Signapa   | 4                | 5               | 20                           | 50  | 85                     | 977,22           | 892,02 | > 240000                    | > 240000 | 9,1                         | 9,1 |