



**Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña**

**Vicerrectoría de Posgrado, Investigación y Asuntos Internacionales**

**Escuela de Graduados**

**Título de la Tesis**

*Propuesta para el Tratamiento y Uso Sostenible de las Aguas Residuales del Hotel Resort CoopMarena.*

**Sustentantes:**

Vilma Patricia Soto Guzmán 14-1438

Jean Carlos Quezada Rodríguez 14-1467

*Para optar por el Título Maestría en Ciencias (M.Cs) con Mención en Ingeniería Sanitaria.*

Santo Domingo, Agostos 2016  
República Dominicana

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
I. Introducción.....	13
1.1. Planteamiento de la Investigación.....	15
1.1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.1.2. Formulación y Sistematización.....	15
1.2. Justificación.....	16
1.3. Objetivos de la Investigación.....	17
1.3.1. Objetivo General.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
II. Marco Referencial.....	17
2.1. Antecedentes.....	17
2.1.1. Situación internacional.....	18
2.1.2. Sector turístico en la Republica Dominicana (Juan Dolio).....	19
2.1.3. Problemática de las aguas residuales en Juan Dolio.....	20
2.1.4. Referencia Legal.....	21
2.1.5. Marco jurídico nacional.....	21
III. Marco Conceptual.....	23
3.1. CoopMarena Beach Resort.....	23
3.2. Distribución del Hotel.....	24
3.2.1. Localización Geográfica.....	25
3.2.2. Calificación del hotel.....	26
3.2.3. Descripción de sus servicios.....	28
3.2.4. Estructura Organizativa CoopMarena Beach & Resort.....	29
3.2.5. Conceptos Generales de las Aguas Residuales.....	30
3.2.6. Caudales.....	30
3.2.7. Características de las aguas residuales.....	31
3.2.7.1. Características físicas.....	31
3.2.7.2. Características Química.....	32
3.2.7.3. Características biológicas.....	33
3.2.8. Tratamiento de las aguas residuales.....	34
3.2.9. Plantas de Tratamiento de aguas residuales.....	38
IV. Metodología Utilizada.....	41
4.1. Enfoque.....	41
4.2. Contexto de la investigación.....	41

4.3.	Muestras .....	41
4.4.	Diseño utilizado .....	42
4.4.1.	Fase I.....	42
4.4.2.	Fase II.....	43
4.4.3.	Fase III.....	43
4.4.4.	Fase IV .....	43
4.5.	Técnicas y procedimiento utilizados .....	43
4.5.1.	Fases I y II .....	44
4.5.2.	Fase III.....	44
4.5.3.	Fase IV .....	45
4.5.4.	Toma de muestras de aguas residuales .....	45
4.6.	Descripción del Sistema Actual de Tratamiento. ....	46
V.	Presentación de Resultados.....	59
5.1.	Deficiencias de Funcionamiento del Sistema Actual. ....	59
5.1.1.	Evaluación de la Cámara séptica 1 (Zona I).....	60
5.1.2.	Evaluación de la Cámara Séptica 2 (Zona II) .....	62
5.1.3.	Evaluación de la Cámara séptica 3 (Zona III).....	65
5.1.4.	Mantenimiento del sistema de tratamiento. ....	67
5.1.5.	Análisis de calidad de aguas residuales .....	70
5.2.	Rediseño del Sistema Actual de Tratamiento.....	75
5.2.1.	Diseño de Trampa de Grasa.....	75
5.2.2.	Diseño de las Unidades Complementarias .....	76
5.3.	Disposición Final de las Aguas Residuales Tratadas.....	91
5.4.	Comparación de los parámetros de calidad del antiguo sistema y del nuevo sistema propuesto .....	91
5.5.	Estimación de Costos.....	93
5.5.1.	Unidades complementarias de tratamiento.....	93
5.6.	Uso Sostenible del Efluente del Nuevo Sistema de Tratamiento. ....	96
VI.	Recomendaciones .....	100
VII.	Conclusión General .....	101
VIII.	Bibliografía.....	103
IX.	Anexos.....	106

## **ÍNDICE DE CUADROS**

CUADRO 1: DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LAS ÁREAS DEL HOTEL.....	24
CUADRO 2: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CÁMARAS SÉPTICAS.....	36
CUADRO 3: DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE REACTOR. ....	40
CUADRO 4: DESCRIPCIÓN POR ZONAS DEL HOTEL: ÁREA QUE ALBERGA, ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES Y SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	48
CUADRO 5: ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DEL LECHO DE SECADO.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: COEFICIENTE DE RETORNO DE LAS AGUAS RESIDUALES SEGÚN SU ORIGEN. ....	30
TABLA 2: INFORMACIÓN TÍPICA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS. ....	36
TABLA 4: PARÁMETROS DE DISEÑO DE CÁMARA SÉPTICA 1. ....	50
TABLA 5: PARAMENTOS DE DISEÑO DE LA TRAMPA DE GRASA. ....	53
TABLA 6: PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA CÁMARA SÉPTICA 2. ....	55
TABLA 7: PARÁMETROS DE DISEÑO CÁMARA SÉPTICA 3. ....	57
TABLA 8: CAUDAL DE DISEÑO DE LA CÁMARA SÉPTICA 1. ....	60
TABLA 9: CAUDAL DE DISEÑO CÁMARA SÉPTICA 2. ....	63
TABLA 10: CAUDAL DE DISEÑO CÁMARA SÉPTICA 3. ....	65
TABLA 11: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUALES. ....	71
TABLA 12: PROMEDIO DE PARÁMETROS TANTO EN LA ENTRADA COMO EN LA SALIDA DE LA CÁMARA SÉPTICA 2. ....	72
TABLA 13: CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. ....	72
TABLA 14: VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGA AL SUBSUELO. ....	74
TABLA 15: VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PRESERVAR LA VIDA ACUÁTICA. ....	74
TABLA 16: PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL. ....	77
TABLA 17: DATOS PARA EL DISEÑO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO. ....	77
TABLA 18: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS. ....	78
TABLA 19: DATOS DE PARTIDA PARA CÁLCULO DEL REACTOR DE LODOS ACTIVADOS. ....	78
TABLA 20: SUPOSICIONES DE DISEÑO. ....	79
TABLA 21: DATOS ASUMIDOS PARA EL CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL DIFUSOR. ....	83
TABLA 22: PARÁMETROS DE DISEÑO PARA CÁLCULO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO. ....	86
TABLA 23: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS. ....	86
TABLA 24: ÁREA NECESARIA PARA EL TIPO DE LODO. ....	87
TABLA 25: VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAR AL SUBSUELO. ....	90
TABLA 26: VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PRESERVAR LA VIDA ACUÁTICA. ....	90
TABLA 27: PRESUPUESTO DE PRELIMINARES. ....	93
TABLA 28: PRESUPUESTO DE OBRA GRIS + TERMINACIÓN. ....	93
TABLA 29: PRESUPUESTO DE COLECTORES. ....	94
TABLA 30: PRESUPUESTO VERJA PERIMETRAL + PISO DE HORMIGÓN ARMADO. ....	94
TABLA 31: PRESUPUESTO DE ACCESORIOS ESPECIALES. ....	95
TABLA 32: TOTAL DE ESTIMACIÓN DE COSTO. ....	95
TABLA 33: VALOR MÁXIMO PERMISIBLE Y VALOR EFLUENTE DEL SISTEMA DE $DBO_5$ Y SS POR TIPO DE REUSÓ. ....	97

## ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1: COOPMARENA BEACH RESORT.....	23
IMAGEN 2: PLANO EN CONJUNTO DEL COMPLEJO TURÍSTICO. ....	25
IMAGEN 3: UBICACIÓN DE COOPMARENA BEACH RESORT.....	25
IMAGEN 4: LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE COOPMARENA BEACH RESORT. ....	26
IMAGEN 5: LOBBY DEL COOPMARENA BEACH RESORT.....	28

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

FIGURA 2: COMPLEJO TURÍSTICO HOTEL COOPMARENA, DELIMITADO POR ZONAS. ....	47
FIGURA 3: UBICACIÓN DE LA CÁMARA SÉPTICA 1+POZO FILTRANTE. ZONA 1 .....	49
FIGURA 4: UBICACIÓN DE LA TRAMPA DE GRASA. ZONA II.....	52
FIGURA 5: UBICACIÓN DE LA CÁMARA SÉPTICA 2. ZONA II.....	54
FIGURA 6: UBICACIÓN DE LA CÁMARA SÉPTICA 3. ZONA III.....	57

## **SIGLAS/ABREVIATURAS**

MOPC	Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.
MITUR	Ministerio de Turismo
INAPA	Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados.
PIB	Producto Interno Bruto.
SEMARENA	Secretaria de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
COOPNAMA	Cooperativa Nacional de Servicios Múltiples de los Maestros.
MESPAS	Ministerio de Estado de Salud Pública y Asistencia Social.
INDRHI	El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
DIGENOR	Dirección General de Normas y Sistemas de Calidad.
CAASD	Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo.
CORAASAN	Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santiago.
CORAAPPLATA	Corporación de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Plata.
CORAAMOCA	Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Moca.
COAROOM	Corporación de Acueducto y Alcantarillado de La Romana.
ASONAHORES	Asociación Nacional de Hoteles y Restaurantes.
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
SS	Sólidos Suspendidos.
Ntotal	Nitrógeno Total
Ptotal	Fosforo Total
CF	Coliformes Fecales.

UV	Ultravioleta.
Hg	Mercurio
PVC	Policloruro de Vinilo
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
ARN	Ácido Ribonucleico.
SDR	Relación de Dimensiones Estándar.
THR	Tiempo Retención Hidráulico.
Qmed	Caudal Medio de Agua Potable
Q <sub>AR</sub>	Caudal Medio de Agua Residuales.
Q <sub>e</sub>	Caudal de Conexiones Erradas
Q <sub>inf</sub>	Caudal de Infiltración.
Q <sub>max/h</sub>	Caudal Máximo Horario.
A	Ancho
L	Largo
L <sub>total</sub>	Largo Total
H	Profundidad
Prof. Útil	Profundidad Útil
V <sub>total</sub>	Volumen Total
V <sub>real</sub>	Volumen Real
V <sub>nec</sub>	Volumen Necesario
M	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cubico
m <sup>3</sup> /hab/año	Metro cubico por habitante por año.
Lts/hab.día	Litros por Habitantes por Día
Lts/día	Litros por Día
Lts/seg	Litros por segundo.
m <sup>3</sup> /seg	Metros cubico por segundo.
Mg/l	Miligramos por Litro.

## **DEDICATORIA**

Alcanzar una meta es lo más gratificante pero solo se logra esto en base a un apoyo y constancia de las personas que nos rodean Damos infinitas gracias y dedicamos este proyecto de tesis...

A Dios por la vida y por permitirnos seguir aprendiendo permanentemente.

A nuestros Padres por ser nuestros modelos a seguir, nuestros pilares para lograr nuestras metas. .

A nuestros familiares por su apoyo y colaboración.

A todas las personas que intervinieron en este proyecto y que de una u otra forma aportaron un granito de arena para que este proyecto fuera posible. .

A la vida por lo aprendido y alcanzado.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme estudiar la maestría y darme los dones de la sabiduría el entendimiento y fortaleza espiritual necesaria para la realización de este trabajo.

A mis Padres: Ramón Soto Valdez e Isaura Guzmán por ser mi guía, mi ejemplo e inspiración, por sus enseñanzas y amor, por su herencia: mi educación.

A mis hermanas Pamela, Paola y Lisamely, mi ahijado Maicol Antonio, por su apoyo y su gran amor y ayuda en cada uno de los pequeños pasos transitados a lo largo de este proceso.

A Gilberto Acosta por ser una bendición en mi vida, mi compañero, fuente de apoyo, inspiración y comprensión, por ayudarme a superar cada uno de los obstáculos a lo largo de este camino.

A la Universidad Pedro Henríquez Ureña (UNPHU), por haberme dado la oportunidad de cursar mis estudios de Maestría en Ingeniería Sanitaria en este importante centro de estudio, empeñados en la formación de profesionales idóneos. Al persona de la escuela de graduados por su compromiso, apoyo y responsabilidad en el trayecto de esta maestría. Al cuerpo docente, que impartieron sus conocimientos desinteresadamente, permitiendo que nos formemos como profesionales capaces y responsables.

Al consejo administrativo de Coopnama y su presidente Valentín Medrano por la confianza brindada y permitirme realizar los este proyecto de tesis en Coopmarena.

A nuestro asesor técnico el Ing. Pedro Ernesto Geraldo Then y nuestro asesor metodológico el Profesor Jehová Peña, por su permanente contribución en cada etapa de este proyecto de tesis, por su dedicación y aporte intelectual.

Al personal de Coopmarena, en especial al Depto. de mantenimiento por su compromiso, disposición y colaboración a lo largo de este proyecto.

A todas las personas que de una u otra manera han colaborado en el desarrollo de esta tesis.

***Vilma Patricia Soto Guzmán***

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por otorgarme los días de vida y salud para la realización de toda esta maestría y este proyecto de tesis.

A mis padres Geraldo Antonio Quezada Bernabé y Ondina María Rodríguez Rodríguez por su apoyo, enseñanzas y amor incondicional.

A todos mis hermanos por su fe y apoyo en mí.

A mis Primos Queridos y amados; Milly, Felix Jr. y Marlene por la confianza depositada y su ayuda vital e invaluable, para la realización de esta maestría.

También mis tíos Felix Quezada (Padre), Luz Peralta y Miledis Guzmán por su gran apoyo brindado.

A nuestros a nuestros docentes por dotarnos de conocimientos suficientes para la realización de esta tesis, en especial a nuestro asesor técnico el Ing. Pedro Ernesto Geraldo Then y nuestro asesor metodológico el Profesor Jehová Peña.

Al personal de la escuela de graduados de la UNPHU, por el arduo compromiso hacia nosotros y la realización de esta tesis y al personal del Hotel CoopMarena Beach Resort por su acogida y disposición que fueron claves para la terminación exitosa de este trabajo.

***Jean Carlos Quezada Rodríguez***

## I. Introducción

A nivel global la industria del turismo se ha convertido en uno de los sectores de más aporte en los ingresos anuales (PIB) en diferentes países.

En un corto tiempo la República Dominicana se ha posicionado como uno de los principales destinos turísticos de América. La principal atracción sigue siendo sus playas y sus lujosos resorts. El sector turismo tiene la particularidad de ser una de las 4 principales fuentes de divisas para el país, el cual también es denominado “Hoteles, Bares, y Restaurantes” por el Banco Central de la República Dominicana. En el 2008 por medio del turismo se generó un aporte de un 10% del PIB nominal, Además de ser una de las fuentes de trabajo más importantes en la economía dominicana con más de 200,000 empleos directos e indirectos. (Economistas Dominicanos, 2008).

La actividad turística tiene una incidencia positiva en la economía y en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades. Sin embargo, también son conocidas las secuelas negativas al ambiente que se pueden producir en el entorno de las instalaciones de la misma, esto cuando no se aplica una política responsable con respecto al cuidado del medio ambiente, y sobre todo cuando se trata de la gestión de las aguas residuales.

Todos los hoteles deben cumplir normas de vertido de aguas residuales establecidas por las autoridades nacionales e internacionales para proteger la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. En muchas ocasiones los hoteles turísticos a nivel nacional se encuentran con serios inconvenientes para conectar sus afluentes de aguas residuales al alcantarillado sanitario municipal, ya sea por la no existencia del mismo, su lejanía, topografía o serias deficiencias en dicho sistema. Por lo que se ven obligados a recurrir a soluciones de tratamiento individuales, léase, cámaras sépticas y filtrantes. Las cuales no generarían inconveniente alguno si se tratase de hoteles con generaciones pequeñas de aguas residuales, en caso contrario, las normas exigen la construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales, para estos hoteles que sobrepasen ciertos valores máximos de generación de caudales y concentración de contaminantes. Uno de estos hoteles es el hotel CoopMarena Beach Resort ubicado en Juan Dolio, provincia de San Pedro de Macorís.

Enfocándonos en los problemas de contaminación ambiental por medio de las aguas residuales, se desarrolló el siguiente trabajo de investigación con la finalidad de proponer un rediseño en el sistema de tratamiento y uso sostenible de las aguas residuales que se generan en el Hotel CoopMarena Beach Resort.

En el siguiente trabajo de tesis se comenzara abordando temas introductorios concerniente a la temática de las aguas residuales en el sector turístico en general y del hotel a evaluar , en este caso, Hotel CoopMarena Beach Resort, además del planteamiento y justificación del problema, luego se describirá el objetivo general y los específicos y se irán desarrollando cada uno según el siguiente orden; Descripción del sistema de tratamiento actual del hotel, análisis y evaluación de la eficiencia operativa del sistema actual, rediseño de un nuevo sistema de tratamiento y su evaluación correspondiente, y por último se evaluara el posible uso sostenible del efluente de aguas residuales del sistema de tratamiento propuesto.

## **1.1. Planteamiento de la Investigación**

### **1.1.1. Planteamiento del problema**

Según la Gerente de ventas: Laura Báez, el Hotel CoopMarena no cuenta con una planta de tratamiento estipulada, sino con una serie de cámaras sépticas y filtrantes que dan tratamiento a sus aguas residuales. Esta es una información sumamente importante para este proyecto de tesis, dado que el hotel cuenta con 213 habitaciones y 4 restaurantes, por lo cual en temporada alta puede manejar una cantidad apreciable de turistas que puede ir en perjuicio de la eficiencia de estos sistemas de tratamientos, debido a las limitaciones de los mismos para tratar grandes caudales y concentraciones de contaminantes.

Por otro lado, de acuerdo a los requerimientos de diseño hidrosanitario estipulados por Ministerio de Turismo (MITUR), cuando las instalaciones turísticas albergan más de 50 personas por día, se prohíbe terminantemente el uso de cámaras sépticas como único sistema de tratamiento para aguas residuales, dicha cifra es fácilmente superada en el Hotel CoopMarena durante la época de temporada alta.

Por lo tanto, la necesidad de una propuesta de planta de tratamiento se hace cada vez más evidente, tomando también en consideración, que dentro de los planes futuros del hotel está estipulada una expansión del mismo para poder albergar un mayor número de visitantes tanto nacionales como internacionales. En consecuencia se puede prever que de no renovar el actual sistema de tratamiento del hotel, la eficiencia de remoción de contaminantes va a tender a disminuir drásticamente con el paso del tiempo, contribuyendo de esta forma a causar daños ambientales severos a los cuerpos de agua receptores de la zona circundante.

### **1.1.2. Formulación y Sistematización.**

#### **1.1.2.1. Formulación de la pregunta central**

¿Cuáles serían las deficiencias de funcionamiento del actual sistema de tratamiento y en qué consistiría un tratamiento adecuado y uso sostenible de las aguas residuales del Hotel Resort Coopmarena?

### **1.1.2.2. Preguntas específicas**

¿Cómo se encuentra conformado el actual sistema de tratamiento de las aguas residuales del Hotel Resort CoopMarena?

¿Cuáles deficiencias posee, y en cuanto a su funcionamiento cuál es su estado en relación a normas ambientales?

¿En qué consistiría el Rediseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales del Hotel Resort CoopMarena?

¿Cómo Establecer un uso sostenible del efluente del nuevo sistema de tratamiento, centrado en el aprovechamiento y reutilización de las aguas tratadas?

## **1.2. Justificación**

No cabe duda que el agua es uno de los recursos base para garantizar el funcionamiento sustentable de las instalaciones de un hotel. A pesar de los beneficios de este sector y como se expuso anteriormente, cuando se presenta una mala planificación y gestión del agua, esto puede acarrear efectos negativos a la salud humana, el medio ambiente y la propia industria hotelera.

Por consiguiente es de vital importancia mantener una administración adecuada del recurso agua dentro y fuera del área de las instalaciones hoteleras, sobre todo a lo que se refiere al tratamiento y la disposición final de las aguas residuales.

La disposición apropiada de dichas aguas en el sector garantiza la protección de la salud de las personas, así como la preservación de los recursos naturales que son esenciales para el desarrollo y crecimiento de la industria.

CoopMarena Beach Resort, es uno de los hoteles que presenta las afectaciones anteriormente explicadas, ya que el sistema de tratamiento actual del hotel tiende a la ineficiencia debido a las condiciones actuales de funcionamiento, lo que se agrava aún más cuando se tiene en cuenta su ubicación, Juan Dolio-Guayacanes, área calificada por el Ministerio de Turismo como área de “alta vulnerabilidad de contaminación de aguas subterráneas”, lo cual amerita la realización inminente de una propuesta de mejoramiento del tratamiento y uso sostenible de las aguas residuales en el hotel.

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo General**

Rediseñar el sistema de tratamiento y uso sostenible de las aguas residuales del Hotel & Resort CoopMarena.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- ❖ Describir el sistema actual de tratamiento de las aguas residuales del Hotel Resort CoopMarena.
- ❖ Identificar las deficiencias de funcionamiento y evaluar su funcionalidad en relación a normas.
- ❖ Rediseñar el sistema de tratamiento de las aguas residuales del Hotel Resort CoopMarena.
- ❖ Establecer un uso sostenible del efluente del nuevo sistema de tratamiento, centrado en el aprovechamiento y reutilización de las aguas tratadas.

## **II. Marco Referencial**

### **2.1. Antecedentes**

El turismo es la actividad económica, social y cultural que tiene por finalidad ofertar servicios de viajes, transporte, alojamiento, alimentos y bebidas, recreación y actividades complementarias como casinos, fiestas, artesanía, museos, folklore, entre otras. (Marketing Estrategico, 2011).

Al ser un sector muy diverso en servicios, usualmente demanda una alta disponibilidad de recursos hídricos y bajo el desconocimiento o mala gestión de las aguas ya consumidas (las aguas residuales), estas pueden convertirse en contaminantes directos tanto de agua, suelo, y aire de las zonas cercanas a los emplazamientos turísticos.

### **2.1.1. Situación internacional**

A continuación se citan solo algunos ejemplos internacionales de cómo afecta la buena o mala gestión de las aguas residuales en sectores ligados al turismo:

El descuido de las condiciones ambientales de ciertos polos turísticos de México ha lacerado el progreso económico de zonas que dependen básicamente de sus atractivos ambientales. Recientemente la playa Zihuatanejo, en el estado de Guerrero llegó a duplicar sus niveles de contaminantes poniendo en riesgo la salud humana. La presencia de 399 enterococos fecales por cada 100ml de agua cuando el máximo permitido es de 200 enterococos por cada 100ml, son cifras causadas directamente por el vertido indiscriminado de aguas negras hacia los asentamientos costeros, poniendo en tela de juicio la sostenibilidad ambiental de la zona. (Calderón, 2014).

Por otro lado en Colombia se puede citar un caso de contaminación severa debido a una mala gestión de las aguas residuales por instalaciones turísticas, es el caso del lago Sochagota, el cual fue construido en el 1953 por el gobierno general de Rojas Pinilla en la ciudad de Paipa y que tenía como objeto propiciar la práctica de deportes náuticos. Pero con el desarrollo del turismo, se construyeron hoteles, cabañas y casas de verano alrededor del lago, y por una mala gestión de las aguas residuales de las instalaciones turísticas, el lago artificial dejó de ser un atractivo turístico para nadadores, pescadores y público en general, a pasar a ser una laguna de oxidación de aguas residuales, que al pasar el tiempo sufrió un proceso contaminación continua, provocando la aparición de fenómenos tales como la eutrofización de toda la superficie de sus aguas.(Díaz, SF).

En Puerto Rico un total 13 playas usadas como balnearios, entre ellas las de Buyé, Mojacasabe y Boquerón, ya no podrán ser utilizadas para estos fines debido al exceso de bacterias presente en sus aguas. Todo esto producto de una mala gestión de las aguas residuales vertidas indiscriminadamente por comunidades cercanas que carecen de alcantarillado sanitario o tratamiento adecuado para estas aguas. (Hosteltur, 2016).

En España muchas de las ciudades costeras depuran de manera ineficiente las aguas residuales generadas, sobre todo en verano con la llegada masiva de turistas que hacen colapsar el sistema, generando altas concentraciones de contaminantes que degradan los ecosistemas costeros, 38 áreas urbanas del país de más de 15000 habitantes vierten sus aguas residuales a cuerpos receptores sin control alguno. (Cáceres, 2011).

Pero de manera positiva gracias al Real Decreto 1620/2007, la gestión sostenible de las aguas residuales en España se ha visto impactada positivamente con la reutilización del 12% de las aguas residuales de todas las depuradoras, esto según los datos del Instituto Nacional de Estadística. Y es de esperar que esta práctica vaya en aumento debido a la tensión hídrica que vive el país, la reutilización se ha convertido en una herramienta indispensable para aumentar la disponibilidad el agua. (Gutiérrez, 2014).

### **2.1.2. Sector turístico en la Republica Dominicana (Juan Dolio)**

El sector turístico en el país es el más importante desde el punto de vista de la generación de divisas al Estado, superando los tres mil millones de dólares en los últimos años. (Marketing Estrategico, 2011).

La Costa Sureste, declarada Polo Turístico #1 o Costa Caribe, mediante la Ley 153-71, abarca las costas dominicanas que se prolongan desde la ciudad de Santo Domingo hasta la provincia de La Romana. Dos años después recibió otra declaración, en este caso por el Decreto 3133-73. Cuenta con varios destinos turísticos como son Santo Domingo, Boca Chica, municipio de Guayacanes-Juan Dolio en San Pedro, La Romana y Bayahibe, esta última enclavada en la provincia de La Altagracia. (Marketing Estrategico, 2011).

La actual demarcación de Juan Dolio perteneciente al municipio de Guayacanes en San Pedro de Macorís fue un lugar donde había un asentamiento indígena de la época pre-colombina, conocido como El Corral, próximo al actual Talanquera Beach Club, estando su cementerio cercano al actual Hotel Punta Garza a la entrada de Guayacanes. A finales de los años 80 principios de los 90, Juan Dolio tuvo su época de crecimiento, debido a que varios inversionistas extranjeros se fijaron en sus playas y su poder como atractivo turístico. Todo esto se perdió a favor de otros focos turísticos de la isla debido a la crisis que a finales de año 2001 sacudió al país entero. (Guía Republica Dominicana , 2010).

El destino Guayacanes-Juan Dolio contó con importantes hoteles (grandes, medianos y pequeños) que alcanzaron a tener unas 4,000 habitaciones, dos campos de golf de 18 hoyos, restaurantes, deportes acuáticos, un barco museo hundido, cabalgatas, las playas, etc. (Marketing Estrategico, 2011).

Juan Dolio tuvo su época dorada como destino turístico, a principios de los años 90, pero con la llegada de la crisis económica que azoto el país de 2001, Juan Dolio dejó de ser un referente turístico a favor de otros lugares más asentados internacionalmente, como son Punta Cana y Puerto Plata. (Guía Republica Dominicana , 2010).

### **2.1.3. Problemática de las aguas residuales en Juan Dolio**

En sentido general la provincia de San Pedro de Macorís ha sufrido de un descuido ambiental inminente, una de los casos de mayor relevancia es la contaminación severa de las aguas del río Higuamo, esto debido al descontrol en el vertido de las aguas residuales sin tratar hacia este cuerpo de agua, numerosas especies marinas han muerto debido a la alta concentración de contaminantes. Y esto no solo afecta al municipio cabecera, sino también a zonas como las de Juan Dolio y los Guayacanes, en donde gran parte de las corrientes del río contaminado fluyen hacia sus costas, afectando de esta manera los ecosistemas marinos como los arrecifes que se encuentran en la zona, las aguas subterráneas y el área hotelera en general. Perjudicando severamente la calidad ambiental de la zona turística. (Peguero, 2011).

En la misma vertiente, Juan Dolio ha sufrido grande embates por la contaminación de sus aguas subterráneas y/o acuíferos debido al vertido directo de aguas residuales crudas producidas por instalaciones turísticas de la misma zona, además de otros factores como el uso abusivo de pesticidas en campos de golf, etc. (Lladó, 2010).

Juan Dolio-Guayacanes, es actualmente un área calificada por el Ministerio de Turismo como de “alta vulnerabilidad de contaminación de aguas subterráneas”, lo cual amerita la realización de una propuesta de mejoramiento de este sector, tales como recuperación de la playa, turismo más amigable con el medio ambiente, sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas por la industria hotelera, uso sostenible de las aguas, construcción de calles, construcción de nuevos hoteles, remozamiento de áreas verdes, suministro de agua potable y promoción del destino en el mercado internacional.

De acuerdo con el INAPA Juan Dolio posee un sistema de recolección de aguas residuales hasta el momento (Incompleto), que las recolecta y envía a una planta de tratamiento diseñada y construida por el MITUR la cual según las autoridades del INAPA por el momento no se han completado los trámites para que la misma forme parte de la jurisdicción de este último, y que la planta funcione bajo la correcta dirección de este organismo.

#### **2.1.4. Referencia Legal**

Constitución de la Republica Dominicana del 2015, la misma establece en su artículo 15: Recursos Hídricos; la protección innegable de todas las aguas nacionales.

Ley 64-00, la Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales donde establece Los recursos naturales y el medio ambiente son patrimonio común de la nación y un elemento esencial para el desarrollo sostenible del país.

La Norma Ambiental de Calidad de Aguas Superficiales y Costeras que tiene por objeto proteger y conservar la calidad y mejorar los cuerpos hídricos nacionales, garantizando la seguridad de uso y promoviendo el mantenimiento de condiciones adecuadas para el desarrollo de los ecosistemas asociados a los mismo, en cumplimiento con las disposiciones de la Ley 64-00.

La Norma Ambiental sobre Calidad de Aguas Subterráneas y Descargas al Subsuelo La presente norma tiene por objeto proteger, conservar y mejorar la calidad de los cuerpos hídricos nacionales, en particular de las aguas subterráneas, para garantizar la seguridad de su uso y promover el mantenimiento de condiciones adecuadas para el desarrollo de los ecosistemas asociados a las mismas, en cumplimiento de las disposiciones de la Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2000).

#### **2.1.5. Marco jurídico nacional**

El sector agua durante los últimos veinte años, la República Dominicana ha logrado ampliar la cobertura de los servicios de abastecimiento de agua potable y de saneamiento en forma impresionante.

En la República Dominicana, las funciones normativa y de formulación de políticas en el sector agua y saneamiento están altamente fragmentados por las siguientes instituciones oficiales:

- ❖ La normativa en cuanto a calidad del agua potable es responsabilidad del Ministerio de Estado de Salud Pública y Asistencia Social (MESPAS).
- ❖ La regulación del medio ambiente es responsabilidad del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la cual determina los límites de descarga de los desechos residuales y controla las actividades.
- ❖ El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), el cual regula las concesiones para todo el consumo y la conservación del agua.
- ❖ La Dirección General de Normas y Sistemas de Calidad (DIGENOR) aprueba las normas de calidad en el sector.
- ❖ El Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA), ofrece los servicios de agua y saneamiento en las zonas rurales, las juntas comunitarias de agua también proporcionan estos servicios.
- ❖ Las empresas regionales de acueducto y alcantarillado se establecieron a lo largo de un período de 25 años, contando cada una de ellas con su propia ley. Las cuales son las siguientes:
- ❖ La Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), la cual proporciona servicio a la Provincia de Santo Domingo, la CAASD es una empresa pública de carácter autónomo, establecida bajo la Ley 498 del 13 de abril de 1973. La máxima autoridad de CAASD es un Consejo de Directores compuesto por seis miembros, incluyendo el director general de CAASD, el Alcalde de Santo Domingo, el Director de INDRHI y el Director de INAPA.
- ❖ La Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN) brinda servicio a la población de Santiago. Esta corporación pública y autónoma fue creada en 1977 bajo la Ley 520.
- ❖ La Corporación de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Plata (CORAAPPLATA), en la Provincia Puerto Plata, fue establecida bajo la Ley 142 de julio de 1997, e inició operaciones en 2001.
- ❖ La Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Moca (CORAAMOCA), en la Provincia Espaillat, fue establecida bajo la Ley 89 del 16 de mayo de 1997.
- ❖ La Corporación de Acueducto y Alcantarillado de La Romana (COAROOM) en la Provincia La Romana, fue establecida bajo la Ley 385 del 18 de agosto de 1998.

### III. Marco Conceptual

#### 3.1. CoopMarena Beach Resort

El CoopMarena Hotel Beach Resort fue adquirido por la Cooperativa de Servicios Múltiples de los Maestros el 17 de julio de 2002. Hasta ese entonces fue un proyecto privado que operaba con el nombre de Complejo Turístico Marena Beach & Resort. La inauguración formal se realizó el 2 de febrero de 2003, en un acto que fue encabezado por el presidente de la República de ese entonces, ingeniero Hipólito Mejía.

Su oferta, por las condiciones de ser es de origen social, es entre un 20 y un 35% más barata que otras ofertas hoteleras del destino de Juan Dolio. Aunque pertenece a la Cooperativa de Maestros, CoopMarena no es sólo para los profesionales del magisterio. Su oferta está pensada para la membresía de todas las cooperativas, para el público familiar, para parejas.

Y es que la estancia en CoopMarena es una forma de vacacionar con un sentido social: fortaleciendo al sector cooperativo pero disfrutando de una oferta hotelera.

Imagen 1: CoopMarena Beach Resort



Fuente: Pagina Web Coopmarena.

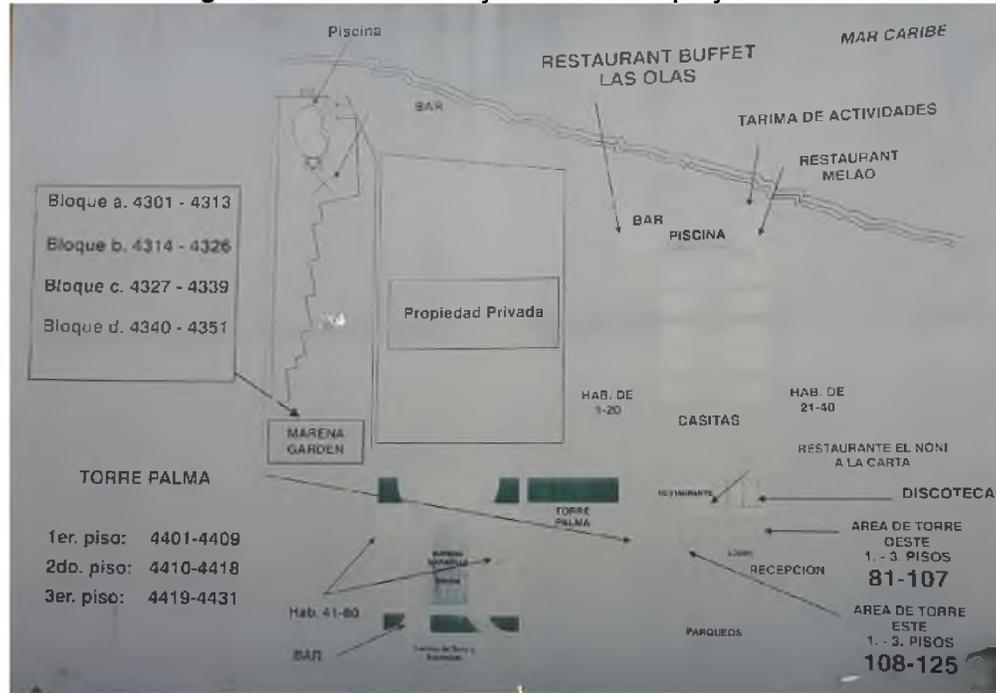
## 3.2. Distribución del Hotel

CoopMarena Beach Resort un hotel todo incluido con 213 habitaciones está dividida en 5 áreas decoradas con estilo tropical.

*Cuadro 1: Descripción de los componentes de las áreas del hotel.*

ÁREAS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Edificio principal	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Lobby.</li> <li>❖ Oficinas administrativas</li> <li>❖ 1 Salón de conferencia.</li> <li>❖ Discoteca Caracol.</li> <li>❖ Sistema de tratamiento de agua potable (Osmosis Inversa).</li> <li>❖ Una pequeña lavandería.</li> </ul>
	Edificio Palmares (Torre Palma)	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 32 habitaciones.</li> <li>❖ Un salón de conferencia.</li> </ul>
2	Marena Maravilla	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 40 habitaciones.</li> <li>❖ 1 piscina.</li> <li>❖ 1 cancha de baloncesto.</li> <li>❖ Oficinas administrativas.</li> </ul>
3	Marena Casita	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 40 habitaciones.</li> <li>❖ 1 Piscina (Principal).</li> <li>❖ Salida a la playa.</li> <li>❖ 1 restaurant.</li> <li>❖ Área de show nocturno.</li> </ul>
4	Edificio Marena	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Almacenes de mantenimiento.</li> <li>❖ Almacenes de restaurantes (Comida).</li> <li>❖ Cuarto de basura orgánica.</li> <li>❖ Cocina.</li> <li>❖ Área de generadores.</li> <li>❖ Área de juegos.</li> <li>❖ 1 bar.</li> </ul>
5	Marena Garden	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Comedor de empleados.</li> <li>❖ Salón de belleza.</li> <li>❖ Una cocina pequeña.</li> <li>❖ 47 habitaciones.</li> <li>❖ Una piscina.</li> <li>❖ Un bar.</li> </ul>

Imagen 2: Plano en conjunto del complejo turístico.



### 3.2.1. Localización Geográfica

El hotel CoopMarena está ubicado en la Avenida Boulevard, Juan Dolio San Pedro de Macorís. El resort está situado a 20 minutos del aeropuerto Las Américas y a 45 minutos de Santo Domingo y a unos 15 minutos de la ciudad de San Pedro de Macorís.

Imagen 3: Ubicación de CoopMarena Beach Resort.



Fuente: Google maps

*Imagen 4: Localización geográfica de CoopMarena Beach Resort.*



Fuente: Google maps

### **3.2.2. Calificación del hotel**

El Ministerio de Turismo es el órgano competente no solo para la expedición de las autorizaciones para el ejercicio de la industria hotelera sino también para su clasificación.

A los efectos de la clasificación, las empresas deberán enviar al Ministerio de Turismo, conjuntamente con la documentación exigida para la obtención de la licencia de apertura, auto evaluación del cumplimiento detallado de las condiciones exigidas en el decreto No. 818-03 que aprueba el Reglamento del Funcionamiento los establecimientos Hoteleros, que será examinada y evaluada

por el comité de Clasificación que estará radicado en la Ministerio de Turismo, dicho comité estará integrado por el Ministro de Turismo quien lo presidirá el Presidente de la Asociación Nacional de Hoteles y Restaurantes (ASONAHORES) como vicepresidente; dos (2) miembros del sector oficial designados por Ministerio de Turismo, uno de los cuales será el Director(a) del Departamento de Empresas y Servicios del Ministerio de Turismo, quien fungirá como Secretario(a), quienes podrán hacerse representar por otros funcionarios de sus dependencias y dos representantes designados por la Asociación Nacional de Hoteles y Restaurantes, los cuales podrán hacerse representar por miembros suplentes designados por esa entidad. (Decreto No. 818-03 que aprueba el reglamento del Funcionamiento de los Establecimientos Hoteleros., 2003).

La clasificación obtenida por las empresas será considerada como única, oficial y obligatoria y tendrá una vigencia de un período no superior a cinco (5) años a partir de la fecha de su emisión.

A los efectos del reglamento, ejercen actividades turísticas alojativas todas aquellas empresas en que se preste un servicio de alojamiento desde un establecimiento abierto al público y mediante el pago de un precio. En este sentido, los establecimientos hoteleros para este caso CoopMarena se clasificará de la siguiente manera:

### **3.2.2.1. Hotel de tres estrellas**

Las instalaciones generales del establecimiento y las particulares de las habitaciones, así como mobiliario, tapicería, lámparas, cuadros y, en general todos los elementos decorativos, serán de buena calidad. Las habitaciones estarán dotadas de cuarto de baño compuesto de bañera, ducha lavabo e inodoro. Dispondrán de teléfono, armario empotrado o no, y de conmutador de luces junto a la cabecera de la cama. El hotel tendrá servicio de lavandería y planchado para las ropas de los huéspedes, así como para la lencería del establecimiento. (Decreto No. 818-03 que aprueba el reglamento del Funcionamiento de los Establecimientos Hoteleros., 2003).

Estos hoteles cuentan con amplios espacios en cada habitación y un mobiliario completo con sillas, mesas, armarios, televisor, teléfono privado y baños confortables. Algunos incluso poseen una pequeña heladera que ya viene con bebidas que se pagan al final de la estadía en caso de consumir. Siempre están bien ubicados, sea porque están en el casco céntrico de la ciudad o por encontrarse en lugares turísticos cerca de grandes atracciones.

### 3.2.3. Descripción de sus servicios

Este hotel opera con el sistema todo incluido. Entre los cuales se encuentran los siguientes:

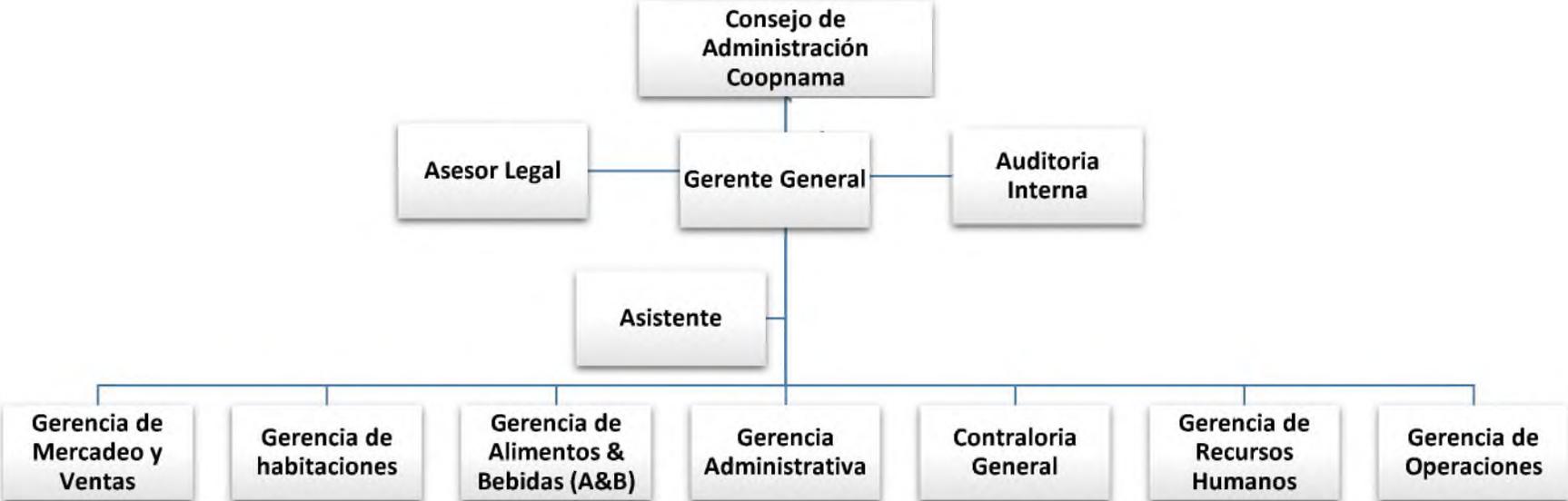
- ❖ 213 habitaciones confortables.
- ❖ 3 piscinas.
- ❖ 4 restaurantes nacionales y uno internacional.
- ❖ Salón de eventos.
- ❖ Discoteca Caracol.
- ❖ Playa
- ❖ Entretenimiento y Show Nocturno.
- ❖ 3 bares (bebidas Nacionales).
- ❖ Cancha de Tenis, Voleibol y Baloncesto.
- ❖ Área de Juegos.

*Imagen 5: Lobby del CoopMarena Beach Resort.*



*Fuente: Pagina Web Coopmarena.*

**3.2.4. Estructura Organizativa CoopMarena Beach & Resort**



### 3.2.5. Conceptos Generales de las Aguas Residuales

Las aguas residuales se definen como toda aquella cuya composición y calidad original han sido afectadas como resultado de su utilización. También según su origen se pueden clasificar como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y privadas, industrias y comercios a los que se le pueden agregar más adelante, las aguas pluviales, superficiales y subterráneas. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003).

### 3.2.6. Caudales

El determinar los caudales o la cantidad de agua residuales producida por una población es de gran importancia a la hora de proyectar las instalaciones para su recogida, tratamiento y evacuación. Siempre de cara a un diseño adecuado a las necesidades y la minimización y reparto equitativo de los costes de su tratamiento entre las entidades involucradas. Por ende es preciso tener siempre datos fiables de los caudales sobre el caudal que se quiere tratar. Por otro lado en aquellos casos en que los datos sobre los caudales sean escasos o inexistentes, estos pueden estimarse a partir de los datos de consumo de agua. (Metcalf & Eddy, 1996).

Según la norma preliminar del INAPA, en caso de no tenerse los datos suficientes sobre los caudales generados, estos pueden estimarse mediante adopción de un coeficiente de retorno o aporte del 70% al 85% de la dotación del suministro de agua potable. Esto por motivo a que usualmente no toda el agua para consumo se dirige hacia los colectores o unidades de tratamiento.

*Tabla 1: Coeficiente de retorno de las aguas residuales según su origen.*

<b>Origen del agua residual</b>	<b>Coeficiente de Retorno</b>
Población residencial	0.80
Habitaciones hoteleras	0.85
Turistas ocasionales	0.80
Comercio	0.40 a 0.50
Institucional	0.40 a 0.50
Industrial	0.40 a 1.50

*Fuente: Norma Preliminar del INAPA*

### 3.2.6.1. Caudal de Diseño

**Caudal Medio Diario ( $Q_{med}$ ):** Se define como el caudal medio en 24 horas tomando como base los datos de todo el año. Estos se emplean para el diseño de las unidades de las plantas de tratamiento y obtener los caudales de diseño. (Metcalf & Eddy, 1996).

**Caudal Máximo Horario ( $Q_{max/h}$ ):** Es máximo valor de caudal que se presenta a una hora determinada. Es de especial interés para el diseño de los colectores, las unidades de bombeo, medidores, etc. (Metcalf & Eddy, 1996).

En caso de no poder medir en campo estos caudales o no tener los registros pertinentes de los mismos, este se puede obtener multiplicando el caudal medio diario por un factor de mayoración (F).

El factor de Mayoración deberá estimarse mediante las medias directas en el campo, en base al caudal medio diario y las fluctuaciones horarias del mismo. En caso de que no puedan efectuarse los aforos correspondientes, el factor (F) puede obtenerse mediante el uso de ecuaciones o valores tabulados en los libros de texto. (INAPA, 2012).

### 3.2.7. Características de las aguas residuales

#### 3.2.7.1. Características físicas.

**Color:** Causado por sólidos suspendidos (aparente), material coloidal y sustancias en solución.

**Turbidez:** La presencia de sólidos coloidales le da al líquido una apariencia nebulosa que es poco atractiva y puede ser dañina..

**Olor:** Normalmente son debidos a la liberación de gases en el proceso de descomposición de la materia orgánica, en las aguas residuales.

**Sabor y olor:** Debido a las impurezas disueltas, frecuentemente de naturaleza orgánica, como fenoles y clorofenoles.

**Temperatura:** Es una característica muy importante dado su influencia sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre reacciones químicas y velocidades de reacción. (Metcalf & Eddy, 1996).

### 3.2.7.2. Características Química

**El pH:** La intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra se mide en la escala de pH, que en realidad mide la concentración de iones de hidrógeno presentes.

**Dureza:** Es la propiedad del agua que evita que el jabón haga espuma y produce incrustaciones en los sistemas de agua caliente. Es debida principalmente a los iones de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  aunque también son responsables el  $\text{Fe}^{++}$  y  $\text{Sr}^{++}$ .

**Oxígeno Disuelto:** El oxígeno es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Su presencia es esencial para mantener las formas superiores de vida biológica y el efecto de un vertido en un río se determina mediante el balance de oxígeno del sistema. Desafortunadamente el oxígeno es poco soluble en el agua y depende de la temperatura y de la presión.

**Demanda de Oxígeno:** La indicación del contenido orgánico de un vertido se obtiene al medir la cantidad de oxígeno que se requiere para su estabilización.

- ❖ **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos mientras descomponen la materia orgánica.
- ❖ **Demanda química de oxígeno (DQO):** La oxidación química por un agente fuertemente oxidante, se usa una mezcla hirviendo de dicromato potásico y ácido sulfúrico concentrado.

**Nitrógeno:** Es un elemento importante ya que las reacciones biológicas sólo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno. Existe en cuatro formas principales:

- ❖ **Nitrógeno orgánico:** Nitrógeno en forma de proteínas, aminoácidos y urea.
- ❖ **Nitrógeno amoniacal:** Nitrógeno como sales de amoniacal; p.e.  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , o como amoniacal libre.
- ❖ **Nitrógeno de nitritos:** Una etapa intermedia de oxidación que normalmente no se presenta en grandes cantidades.
- ❖ **Nitrógeno de nitratos:** Producto final de la oxidación del nitrógeno. Nutriente esencial - eutrofización. En aguas residuales: nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

**Fósforo total:** Es un elemento imprescindible para el desarrollo de los microorganismos de las aguas y en consecuencia para la depuración.

El contenido de fósforo de las aguas se debe a los vertidos urbanos (detergentes, fosas sépticas, etc.) y por otra parte a los vertidos de la industria agroalimentaria (abonos, compuestos, etc.).

❖ **Fósforo:** Nutriente esencial. Es determinante en el proceso de Eutrofización. Aguas residuales pueden tener entre 4 - 15 mg/L como P.

**Cloruro:** Está presente siempre en las aguas residuales urbanas, siendo los valores incorporados por habitante muy constantes debido al contenido de cloruro de la orina, las heces humanas suponen 6 gr de cloruros por persona y día. Un aspecto importante del cloruro es que su incremento puede inhibir la acción de los microorganismos en las depuradoras.

**Grasas:** La existencia de hidrocarburos y grasas en las aguas, genera problemas por su poder tenso activo que impide la captación de oxígeno, o genera una película envolvente de los flocos biológicos impidiendo su respiración y aligerándolos llevándolos a flotación, dificultándose así la decantación secundaria. (Metcalf & Eddy, 1996).

### 3.2.7.3. Características biológicas

**Microorganismos:** En el agua residual nos vamos a encontrar gran cantidad de microorganismos, lo que le va a dar al agua residual una de sus características más acusadas, su biodegradabilidad. Estos microorganismos tienen su origen, en su mayoría, en las manipulaciones que el hombre realiza con ese agua residual, como es el caso de los microorganismos fecales procedentes de las sustancias de desecho del organismo humano, microorganismos del suelo arrastrados en los procesos de riego, en los episodios de lluvias y en los procesos de baldeo de calles, microorganismos procedentes de procesos industriales, etc. pudiendo también encontrar otros tipos de organismos como los artrópodos.

Los tipos de microorganismos varían desde los virus, las bacterias, los protozoos, las algas, los hongos y algunos metazoos.

**Los virus:** presentes en el agua residual deben su importancia a su potencialidad para producir enfermedades, lo cual debe ser tenido muy en cuenta en las estaciones de tratamiento de aguas residuales.

**Bacterias:** Desempeñan un amplio papel en los procesos de descomposición de la materia orgánica, tanto en el marco natural como el de las plantas de tratamiento. Por esto resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismo y proceso de síntesis.

**Los protozoos:** son microorganismos eucarióticos incluidos en el Reino Protista, son organismos unicelulares eucarióticos de tamaño microscópico. Su morfología y organización celular son complejas.

**Las algas:** son un grupo de organismos eucariotas que llevan a cabo la fotosíntesis oxigénica, fijando autotróficamente el dióxido de carbono, igual que las plantas superiores. La mayor parte de las algas que nos encontraremos son microscópicas.

**Los hongos:** presentan organismos unicelulares (levaduras) y filamentosos están desprovistos de clorofila y utilizan compuestos orgánicos como fuente de energía y de carbono. Están ampliamente distribuidos en ambientes acuáticos y terrestres y son fundamentales en la descomposición de la materia orgánica. (Metcalf & Eddy, 1996).

### **3.2.8. Tratamiento de las aguas residuales**

La prevención de la contaminación del agua y el suelo solamente se logra si se definen de manera correcta los métodos de tratamiento y disposición de las aguas residuales.

Ocurre que cuando se arrojan las aguas residuales crudas a un río, fuentes de aguas subterráneas u otro cuerpo de agua con contaminantes que exceden la capacidad de asimilación del cuerpo receptor ya que este va reduciendo su calidad y posibilidades de usos para beneficio del ser humano.

El objetivo principal del tratamiento de las aguas residuales es proteger la salud humana. A medida que la población va creciendo aumenta la necesidad de proveer a la población con sistemas de tratamiento adecuados para asimilar el aumento considerable de caudales y concentraciones de contaminantes. Previniendo los riesgos a la salud humana y el medio ambiente.

En la elaboración de un sistema de tratamiento se pueden considerar básicamente los siguientes contaminantes a remover:

- ❖ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- ❖ Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- ❖ Sólidos suspendidos (SS).
- ❖ Patógenos.
- ❖ Nitrógeno y fósforo.
- ❖ Sustancias inorgánicas disueltas, Etc.

Por lo tanto la complejidad del tratamiento dependerá en gran parte de los contaminantes a remover y la concentración de los mismos. (Metcalf & Eddy, 1996).

### **3.2.8.1. Tipos de tratamientos**

A continuación se describirán los distintos tipos de tratamientos convencionales y avanzados utilizados para la depuración de aguas residuales en el país, se hará especial énfasis en aquellos relevantes a este proyecto de tesis; como por ejemplo aquellos utilizados por el COOPMARENA Beach Resort y las unidades pre-seleccionadas en el proceso de rediseño de las unidades de tratamiento del mismo.

**Cámaras Sépticas:** o como comúnmente se les llama tanque séptico, son sistemas de tratamiento generalmente construidos soterrados, sellados con fines de tratar aguas residuales generadas en zonas rurales, y que deben complementarse con otras unidades de tratamiento, para lograr una adecuada disposición de sus efluentes, sobre todo si se desea descargar en aguas superficiales. (Inapa, 2012).

Los tanques sépticos serán construidos en edificaciones que no dispongan de un alcantarillado sanitario o que por la topografía del terreno se le impida disponer de este. ( Ministerio de Obras Públicas (MOPC), 2010).

Los tanques sépticos pueden ser construidos de bloques de concreto, concreto armado, PVC, fibra de vidrio o plástico. Debe conformarse de por lo menos dos cámaras. En la primera cámara es donde se asientan la mayor parte de los sólidos, el separador entre ambas cámaras es para evitar que los sólidos y las espumas se escapen con el efluente, esto también se evita en gran medida con la utilización de tuberías en forma de T tanto en la entrada, el separador y en la salida.

Las aguas residuales fluyen hacia la primera cámara, donde los sólidos más pesados decantan hacia el fondo y las partículas de grasas y aceites flotan en la superficie. Los sólidos que decantan se degradan de forma anaeróbica acumulándose en el fondo como lodos, que cada cierto tiempo (de 2 a 5 años) deberán ser removidos, aunque se recomienda una revisión preventiva anualmente. (Tilley, Lüthi, Morel, Zurbrügg & Schertenleib, 2011).

Para completar los procesos de remoción de contaminantes y aumento en la eficiencia de remoción, se puede anexar al tanque séptico un filtro biológico de grava, el cual deberá ser diseñado con las especificaciones correspondientes de la norma. ( Ministerio de Turismo, 2011).

*Tabla 2: Información típica para el diseño de tanques sépticos.*

Valores Parámetros	Intervalos	Típicos
Tiempo de retención, días	1-3	1
Profundidad útil, m.	1.2-2.8	2
Tasa de acumulación de lodos, m <sup>3</sup> /hab/año	0.03-0.05	0.04

Fuente: Norma INAPA, 2012.

Cuando va asociado a un tratamiento secundario posterior, y para poblaciones mayores a 100 habitantes, el tiempo de retención podrá reducirse pero nunca menos de 12 horas.

## **<sup>1</sup>Ventajas y Desventajas de las cámaras sépticas**

*Cuadro 2: Ventajas y desventajas de las cámaras sépticas*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales para su construcción y reparación disponible localmente.</li> <li>• Larga vida de servicio.</li> <li>• No hay problemas con moscas y olores de usarse de forma adecuada.</li> <li>• bajos costos de inversión.</li> <li>• Requiere áreas pequeñas de terreno.</li> <li>• No requiere energía eléctrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja reducción de patógenos, sólidos y materiales orgánicos.</li> <li>• Requiere fuentes de agua constante.</li> <li>• Lodos requieren tratamiento y/o disposición adecuada.</li> </ul>

<sup>1</sup> Según Tilley, Lüthi, Morel, Zurbrügg & Schertenleib, 2011

**Pozos filtrantes:** Son perforaciones realizadas a mano o a máquina, que recibe el efluente de una unidad de tratamiento o de sistemas pluviales, incorporando de manera indirecta dichas aguas a los cursos de aguas subterráneas. (MOPC, 2010).

Estos pozos también pueden definirse como sistemas verticales de infiltración al subsuelo de las aguas provenientes de las fosas sépticas, esto a través de sus paredes permeables.

Las dimensiones dependerán de la permeabilidad del suelo y de la experiencia que se tenga en el lugar donde se construyan. (Ministerio de salud pública Guatemala, 2011).

El MOPC a través del reglamento para el diseño y construcción de instalaciones sanitarias en edificaciones R-008, establece los criterios necesarios para regular este tipo de construcciones a nivel nacional.

**Zanjas de absorción:** Este es otro método de infiltración al subsuelo por medio de tuberías perforadas dispuestas sobre zanjas recubiertas con material filtrante (Grava). El agua se escurre en el área de infiltración de la zanja, mientras los contaminantes son removidos naturalmente a través de las bacterias saprofitas del entorno para luego seguir infiltrándose para llegar a los cursos de aguas subterráneas. (Ministerio de salud pública Guatemala, 2011).

Existen otros tipos de variaciones de estos dos sistemas de infiltración anteriormente mencionados, pero básicamente tratan las aguas residuales de formas muy similares y con el mismo objetivo de infiltración al subsuelo.

A la combinación de cámara séptica + pozo filtrante o cámara séptica + zanjas de absorción, es lo que comúnmente se conoce como sistemas de tratamiento y disposición final individuales para las aguas residuales domésticas o también llamados sistemas in-situ.

### **3.2.9. Plantas de Tratamiento de aguas residuales**

#### **3.2.9.1. Pre-tratamiento**

Es el proceso por el cual se eliminan los constituyentes de las aguas residuales que puedan causar problemas en el mantenimiento y funcionamiento de los procesos posteriores a este. Se pueden citar los procesos de desbaste para la eliminación de sólidos gruesos y trapos, La flotación para la eliminación de grasas y aceites, etc.

#### **3.2.9.2. Tratamiento Primario**

El tratamiento primario es el que elimina parte de los sólidos en suspensión y la materia orgánica de las aguas residuales. Estas remociones se suelen llevar a cabo por medio de procesos físicos, como el tamizado y la sedimentación.

#### **3.2.9.3. Tratamiento secundario convencional**

Es el tratamiento que se encarga de la remoción de sólidos en suspensión y los compuestos orgánicos biodegradables por medio de microorganismos, principalmente bacterias. Esto incluye procesos de tratamiento biológicos con fangos activados, reactores de lechos fijos, los sistemas de lagunaje y sedimentación.

El objetivo principal de este tratamiento es la coagulación de los sólidos no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En los casos de las aguas residuales domesticas el objetivo principal es el de reducir la materia orgánica, además de la eliminación de nutrientes como el fosforo y el nitrógeno. En el caso de las aguas residuales industriales, serian tanto la materia orgánica como la inorgánica. (Metcalf & Eddy, 1996).

En términos generales, el tratamiento secundario se puede subdividir en dos tipos de tratamiento según la condición en la se desarrollan los microorganismos. Estos pueden ser:

- ❖ **Tratamiento aerobio:** es el proceso de tratamiento biológico que se da en presencia de oxígeno.
- ❖ **Tratamiento anaerobio:** es el proceso de tratamiento biológico que se da en ausencia de oxígeno.

Por otro lado los microorganismos pueden desarrollar sus actividades tanto en suspensión como fijos en un lecho poroso. Tomando en cuenta esto se da lugar a otra sub-clasificación:

- ❖ **Proceso de cultivo en suspensión:** donde los microorganismos responsables de la depuración de las aguas residuales, realizan sus actividades en suspensión dentro del líquido.
- ❖ **Proceso de cultivo en fijo:** donde los microorganismos responsables de la depuración de las aguas residuales, realizan sus actividades fijados en un medio inerte, como piedras, plásticos, escorias, etc. También a este tipo de procesos se les conoce como película fija.
- ❖ **Combinación de ambos:** También se pueden dar el caso de la combinación de ambos tanto cultivo fijo como en suspensión; como por ejemplo los Bio-filtros activados y los filtros percoladores. (Metcalf & Eddy, 1996).

En pocas palabras dentro de un tratamiento secundario se puede tener microorganismos en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno) y en suspensión en el líquido; como por ejemplo el caso de los fangos o lodos activados. O se pueden tener en condición anaeróbica (ausencia de oxígeno) y en un lecho fijo; como es el caso de los filtros anaeróbicos. Y así sucesivamente se pueden probar distintas combinaciones siendo clasificadas dependiendo de las condiciones y de cómo trabaje el cultivo de microorganismos.

**Lodos activados:** El proceso de lodos activados fue desarrollado en Inglaterra en el año 1914 por Arden y Lockett, es llamado así por la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo o contaminante presente en el líquido por vía aeróbica. Actualmente existen muchas variaciones del proceso original, pero esencialmente todos son lo mismo.

El proceso consiste en el ingreso del residuo orgánico (o aguas residuales) al interior de un reactor (estanque) donde se mantiene el cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El líquido contenido en el reactor se le conoce como líquido de mezcla o licor mezclado.

El ambiente aerobio del reactor se consigue mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos los cuales mantienen a su vez el líquido en estado de mezcla completa. Ya al cabo de cierto periodo de tiempo los microorganismos viejos con los nuevos se conducen hacia un tanque de sedimentación (Sedimentador secundario) para que estos decanten y se separen del agua ya tratada. Parte de estos organismos sedimentados en el fondo son recirculados de nuevo hacia el reactor de lodos activados, esto para mantener la concentración deseada, la otra parte es purgada fuera del sistema. (Metcalf & Eddy, 1996).

Dentro de los diferentes tipos de procesos de lodos activados y dentro de los más comúnmente utilizados se pueden mencionar los siguientes:

*Cuadro 3: Descripción de los tipos de reactor.*

<b>TIPO DE REACTOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Flujo de pistón (convencional)</b>	Los lodos de recirculación entran al reactor y se mezclan con el aire disuelto, el suministro suele ser uniforme a lo largo de la longitud del canal.
<b>Mezcla completa</b>	En este caso en el reactor se desarrolla un flujo continuo agitado, el caudal de recirculación se inyecta en diferentes puntos del reactor. La carga orgánica y la demanda de oxígeno es uniforme en todo el reactor.
<b>Aireación graduada</b>	Es una variación del proceso de flujo a pistón, en los que a lo largo del canal se aplican cantidades de aire diferentes
<b>Aireación con alimentación escalonada</b>	Es una modificación del proceso de flujo a pistón, en el que el caudal de recirculación se ingresa al canal en diferentes puntos. Normalmente se construyen tres o más canales en paralelo.
<b>Aireación Modificada</b>	Es similar al proceso de flujo a pistón, pero se emplean tiempos de retención pequeños y valores de alimento microorganismos más elevados. La eliminación de DBO es inferior al de otros procesos

*Fuente: Metcalf & Eddy, 1996*

**Tratamiento avanzado/Reutilización de las aguas residuales:** Puede definirse como aquel tratamiento necesario para remover ciertos contaminantes que el tratamiento secundario convencional no puede remover en las concentraciones deseadas este es el caso de Componentes tóxicos, materia orgánica o sólidos en suspensión en exceso, etc. Entre los que se pueden citar las resinas de intercambio iónico, carbón activado, osmosis inversa, coagulación química, rayos ultravioletas, cloración, Etc.

El tratamiento avanzado o terciario, también se emplea para la reutilización de las aguas residuales, en cuyos casos se necesitan efluentes de alta calidad en dependencia de su uso. (Romero, 2005).

**Rayos Ultravioletas (Rayos UV):** Los rayos UV son aquellos que son parte del espectro electromagnético de radiación, los cuales también son emitidos por el sol. Están entre la banda de rayos x y la luz visible, con longitudes de onda que van desde 180 a 400 nanómetros (nm), (un millón de nm = 1mm).

El uso de los rayos UV de tipo germicida ha visto un incremento en los últimos años, esto en virtud de los beneficios que ofrece frente a los procesos de desinfección química, ya que estos rayos no alteran las propiedades físicas del agua y actúa en fracciones de segundo sin necesidad de utilizar compuestos tóxicos ni corrosivos.

## **IV. Metodología Utilizada**

### **4.1. Enfoque**

Según Hernández, Fernández & Baptista (2006), el enfoque de esta tesis es de tipo Cuantitativo.

### **4.2. Contexto de la investigación**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones el Hotel Coopmarena Beach Resort de Juan Dolio-Guayacanes, en la provincia de San Pedro de Macorís, Republica Dominicana. Para su realización se tardó un tiempo estimado de 5 meses.

El permiso de acceso y realización del trabajo de investigación dentro a las instalaciones del complejo fue otorgado por el consejo administrativo del hotel, presidido por su presidente Lic. Valentín Medrano, posteriormente mediante el departamento de recursos humanos del hotel, se pudo adquirir un carnet de identificación para el libre acceso dentro de las instalaciones.

### **4.3. Muestras**

De acuerdo con Hernández, Fernández & Baptista (2006), las muestras tomadas para esta investigación son del tipo probabilístico, en la que se tomó como punto de muestreo solo una de las tres unidades de tratamiento, tomando como base

que dicha unidad resulte ser en su contexto, la más representativa y la que arroje mejores resultados para fines del posterior desarrollo de la investigación o tesis.

Por lo tanto, la toma de muestra de aguas residuales se realizó en el sistema de cámara séptica 2 por poseer una configuración en su diseño mucho más elaborada que las demás, además de recibir los vertidos de aguas residuales de mayor diversidad en cuanto a las concentraciones de contaminantes, lo que las convierte en las de mayor relevancia en el complejo. Otra razón importante en la selección del séptico 2, es que el hotel lo tenía disponible para la realización de los análisis, ya que la misma unidad se encontraba en proceso de mantenimiento y se aprovechó dicha oportunidad para la obtención de las muestras.

Las muestras se tomaron en pares (a la entrada y a la salida) a una hora previamente determinada. Repitiendo el proceso tres veces en intervalos de tiempo de hora y media, en horas de la mañana del día programado. Tomando un total de 6 muestras de agua en total. Más adelante se describe detalladamente el proceso de toma de muestra de las aguas residuales.

#### **4.4. Diseño utilizado**

El diseño utilizado para la elaboración de esta tesis fue el no experimental, ya que se evaluaron las variables relevantes en su contexto sin manipular ninguna de las mismas. (Hernández, Fernández & Baptista, 2006)

A continuación se describen las fases que conforman el diseño utilizado:

##### **4.4.1. Fase I**

Se basa en la descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales que dispone el hotel y resort CoopMarena, obtener toda la información necesaria para la investigación.

Herramientas utilizadas:

- ❖ Visita al Hotel CoopMarena.
- ❖ La observación directa con la finalidad de visualizar el sistema de recolección y disposición de las aguas residuales.

#### **4.4.2. Fase II**

Se basa en el análisis de calidad de agua, necesario para determinar la eficiencia de las unidades actuales de tratamiento, la propuesta de la planta de tratamiento de las aguas residuales, así como su reutilización en áreas verdes, etc.

- ❖ Cantidad de aguas residuales producida en el hotel.
- ❖ Caracterización de las aguas residuales.
- ❖ Determinación de la eficiencia de remoción de contaminantes de las unidades actuales de tratamiento.
- ❖ Su eficiencia conforme a las normas ambientales.
- ❖ Determinación de los parámetros de diseño para la nueva propuesta de tratamiento.

#### **4.4.3. Fase III**

Se basa en la generación de la propuesta de diseño de un nuevo sistema de tratamiento de las aguas residuales generada en el Hotel y resort CoopMarena.

- ❖ Elección de un sistema de tratamiento de aguas residuales.
- ❖ Diseño y cálculo de cada de las unidades de tratamiento de las aguas residuales.
- ❖ Determinación de la eficiencia de remoción de contaminantes del sistema con las nuevas unidades de tratamiento.
- ❖ Su eficiencia conforme a las normas ambientales.

#### **4.4.4. Fase IV**

Se basa en recomendaciones para el uso sostenible de las aguas residuales que se producen en las instalaciones.

- ❖ Determinación de las características de las aguas ya tratadas por el nuevo sistema ya diseñado.
- ❖ Posible reutilización de las aguas tratadas por el nuevo sistema y áreas de destino de las mismas.

### **4.5. Técnicas y procedimiento utilizados**

Entre las técnicas y procedimiento para la recolección de información para las distintas fases tenemos.

### **4.5.1. Fases I y II**

- ❖ Observación directa
- ❖ Descripción y evaluación del sistema actual de tratamiento, recolección y disposición de las aguas residuales.
- ❖ Cumplimiento o no de las normas ambientales vigentes.
- ❖ Toma de muestra.
- ❖ Revisión bibliográficas

Para la recolección, es necesario, hacer un plan riguroso en el cual llevará a buscar fuentes de investigación y materiales que ayuden a dar contextualizaciones sobre el tema. Al igual que la observación y visitas a COOPMARENA.

Las informaciones teóricas se obtendrán de las fuentes oficiales y confiables que servirán para tener un mayor entendimiento de la realidad observada. Entre esas fuentes se podrán citar: Libros, normas, guías, monografías, revistas científicas, visita al CoopMarena.

#### **4.5.1.1. Instrumentos utilizados**

Los recursos utilizados para recolectar la información, serán los siguientes:

- ❖ Cámara fotográfica
- ❖ Libros
- ❖ Manuales y guías de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- ❖ Las fichas bibliográficas se utilizarán para especificar la fuente, señalando en ellas, el autor, editor, año, país y la página de donde se tomó el dato.

### **4.5.2. Fase III**

- ❖ Determinación de los parámetros de partida para el diseño, en base a los datos reales ofrecidos por el hotel y los resultados del análisis de calidad de las aguas residuales.
- ❖ Revisión bibliográfica.
- ❖ Selección de las unidades de tratamiento complementarias que conformaran junto a las actuales el nuevo sistema de tratamiento.
- ❖ Diseño de las nuevas unidades de tratamiento.
- ❖ Determinación de la eficiencia de remoción de contaminantes de las nuevas unidades y su cumplimiento con las normas ambientales vigentes.

#### **4.5.2.1. Instrumentos utilizados**

- ❖ Libros de diseño.
- ❖ Ecuaciones de diseño.
- ❖ Normas de diseño.
- ❖ Normas ambientales.
- ❖ Trabajos de investigación.
- ❖ Manuales y guías de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.

#### **4.5.3. Fase IV**

- ❖ Determinar si las características del efluente del nuevo proceso de tratamiento cumple con las normas de reutilización ambientales tanto nacionales como internacionales.
- ❖ Determinar el reúso del efluente tratado y las áreas a donde irá destinado.

#### **4.5.3.1. Instrumentos utilizados**

- ❖ Normas de diseño.
- ❖ Normas ambientales de reutilización.
- ❖ Trabajos de investigación.

#### **4.5.4. Toma de muestras de aguas residuales**

Para este delicado procedimiento realizado durante la fase II de este trabajo de investigación, se utilizó el instructivo del laboratorio de calidad de agua de la CAASD, el cual indica lo siguiente:

#### **4.5.4.1. Equipos y materiales**

- ❖ Recipientes para muestreo físico químico.
- ❖ Botellas esterilizadas para muestreo bacteriológico.
- ❖ Guantes desechables.
- ❖ Gafas de seguridad.
- ❖ Tarjetas para la identificación.
- ❖ Bolígrafo
- ❖ Bandas elásticas.
- ❖ Hielo para preservación.
- ❖ Nevera para muestreo.
- ❖ Jabón

**Nota:** El instructivo describe otros equipos y materiales, pero estos son para uso exclusivo del laboratorio o para muestreos de campo más avanzados, donde se requieran determinar más variables, para esta investigación solo fueron necesarios los descritos anteriormente.

#### **4.5.4.2. Procedimiento de toma de muestra de aguas residuales**

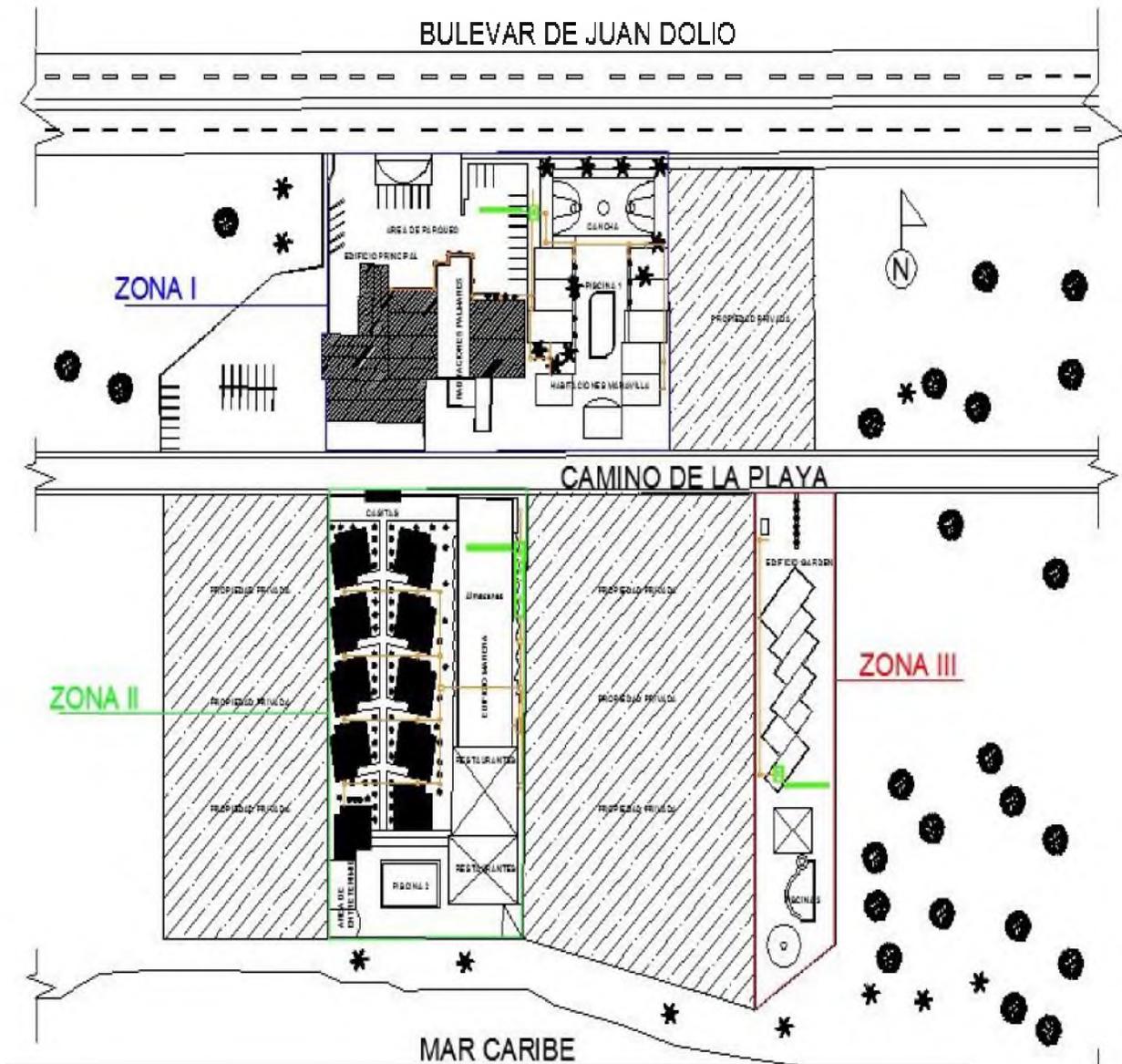
1. Anotar las condiciones de la planta de tratamiento y/o unidades de tratamiento, investigando las fechas de limpieza y mantenimiento de los procesos de la misma, así como los entornos de la planta.
2. Identificar los puntos y procesos del muestreo.
3. Tomar las medidas pertinentes de seguridad.
4. Llenar formulario de cadena de custodia.
5. Tomar las muestras para el análisis bacteriológico procediendo a identificar con tarjeta de identificación o etiqueta de custodia con los siguientes datos: Fecha, hora, punto de muestreo y medidas analíticas (realizadas en el campo de muestreo), ubicación de la planta y colector de muestras.
6. Proceder a tomar una muestra de ½ galón o más para el análisis físico-químico e identificar debidamente (según el punto #5).
7. Preservar en hielo o temperatura  $\leq 6$  °C.
8. Enjuagar con abundante agua los equipos utilizados y guardar debidamente.

#### **4.6. Descripción del Sistema Actual de Tratamiento.**

El hotel & resort CoopMarena trata sus aguas residuales dentro de su propiedad o en el mismo sitio de su generación (sistema In-situ), esto mediante el uso de sistemas de trampas de grasas, Cámaras Sépticas y pozos filtrantes.

La gestión general de las aguas residuales consiste en tres sistemas de tratamiento, que recolectan las aguas residuales originadas en tres zonas con distintas áreas de albergue, que en su totalidad conforman el complejo turístico (ver figura 2).

Figura 1: Complejo turístico Hotel CoopMarena, delimitado por Zonas.



En la siguiente tabla se describirán cada una de las zonas de aportación, sus áreas de albergue, origen de sus aguas residuales y el sistema de tratamiento a que estas van destinadas.

*Cuadro 4: Descripción por zonas del hotel: área que alberga, origen de las aguas residuales y sistema de tratamiento.*

<b>Zonas</b>	<b>Áreas que alberga</b>	<b>Origen de las aguas residuales</b>	<b>Sistema de tratamiento</b>
<p><b>Zona I</b> (Población de hospedaje: 320 personas)</p>	<p><b>Edificio principal:</b> Área de Lobby, 54 habitaciones, oficinas administrativas, salón de conferencias, discoteca, sistema de osmosis inversa y pequeña lavandería.</p> <p><b>Habitaciones Palmares:</b> Área de 32 habitaciones y un salón de conferencias.</p> <p><b>Habitaciones Maravilla:</b> Área de 40 habitaciones, cancha de baloncesto y piscina 1.</p>	<p>Aguas residuales provenientes de los baños de usos públicos y privados (baños de habitaciones), pequeña lavandería, rechazo del sistema de osmosis inversa.</p>	<p>Cámara Séptica 1 (Una cámara) + 1 Pozo filtrante.</p>
<p><b>Zona II</b> (Población de hospedaje: 130)</p>	<p><b>Edificio Marena:</b> Área de Almacenes de mantenimiento, almacenes de restaurantes, área de restaurantes, cocina, área de generadores, pequeño sistema osmosis, área de entretenimiento, bares.</p> <p><b>Casitas:</b> Área de 40 habitaciones</p>	<p>Aguas residuales provenientes de los baños de usos públicos y privados, rechazo del sistema de osmosis inversa, restaurantes, cocina; áreas de preparación de alimentos (lavado de alimentos, carnicería, repostería, etc.), fregaderos.</p>	<p>Trampa de grasa + Cámara Séptica 2 (Dos cámaras) + filtro biológico + 2 Pozos filtrantes</p>

<b>Zona III</b> (Población de hospedaje: 100)	<b>Edificio Garden:</b> Área de Lobby, 47 habitaciones, pequeño salón de belleza, pequeña cocina, comedor de empleados.	Aguas residuales provenientes de los baños de usos públicos y privados, pequeño salón de belleza, pequeña cocina.	Trampa de grasa + Cámara Séptica 3 (Una cámara) + 1 Pozo filtrante.
--	---	---	---

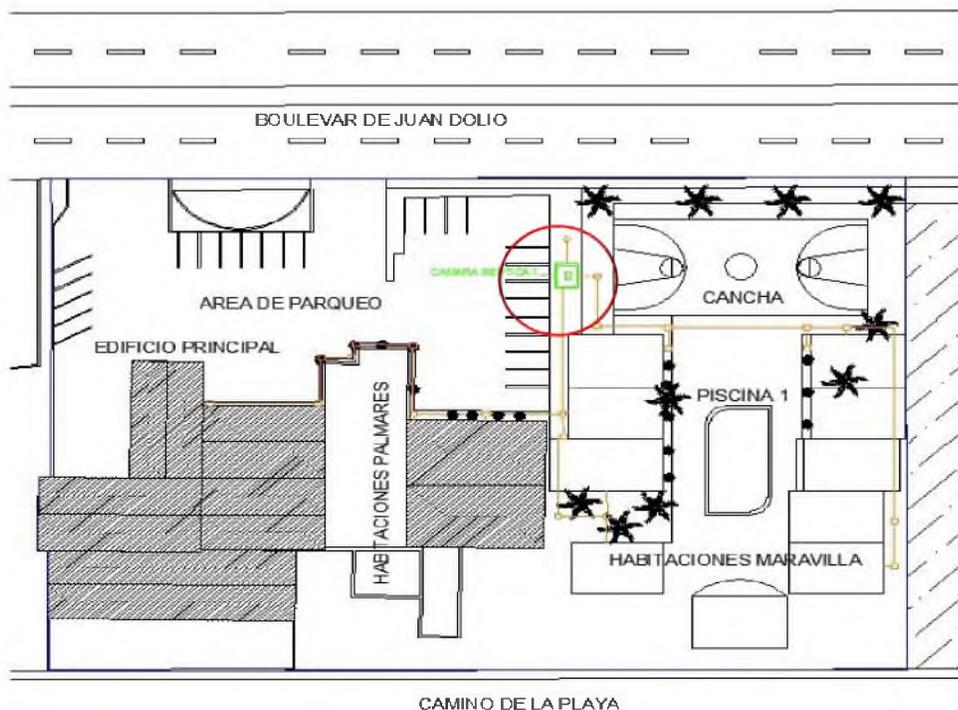
A pesar de que el origen de los efluentes de aguas residuales de una zona pueden variar, aportando así distintos tipos de contaminantes, las aguas residuales del hotel en general entran en la categoría de aguas residuales municipales por la naturaleza y concentración típicas de sus contaminantes.

#### 4.6.1.1. Zona I: Cámara séptica 1 + 1 Pozo Filtrante

##### i. Ubicación

La cámara séptica 1 está localizada dentro de las instalaciones del hotel, por el área del parqueo 1, en la siguiente figura se muestra su ubicación.

Figura 2: Ubicación de la cámara séptica 1+pozo Filtrante. Zona 1



## ii. Descripción y funcionamiento

Esta cámara séptica es de un compartimiento o una cámara, está construida por bloques de mampostería reforzada y losas de hormigón armado. Su geometría es de forma cuadrada y recibe el aporte de la Zona I.

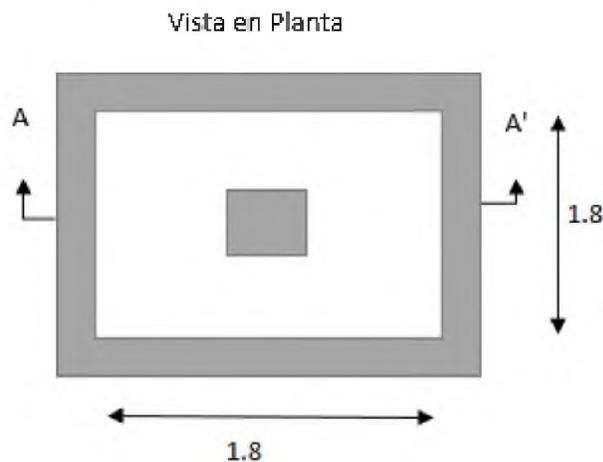
Su funcionamiento empieza cuando el agua residual cruda cae dentro de la cámara de sedimentación (Única cámara, ver esquema), en la misma los sólidos más pesados caen, y al mismo tiempo las bacterias en ausencia de oxígeno, empiezan a degradar la materia orgánica disuelta en el agua, de esta forma aumentan su tejido celular volviéndose más pesadas y por ende terminan decantando al fondo del tanque. Por su parte el agua clarificada (hasta cierto punto) asciende a la tubería de salida y pasa a la disposición final.

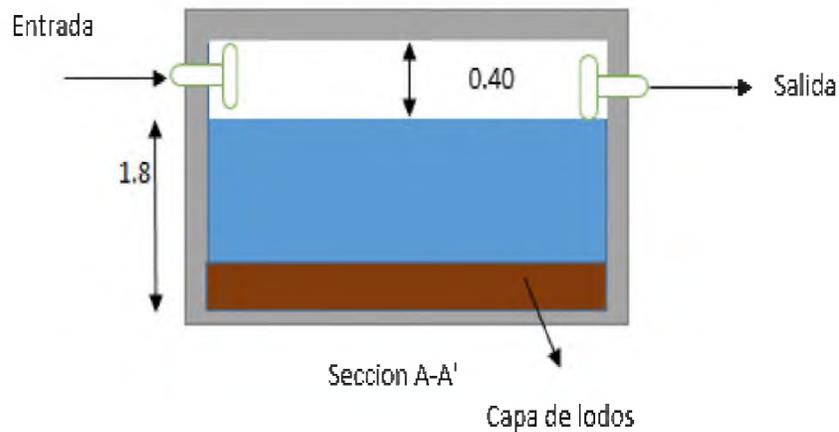
A continuación se muestran cada una de las especificaciones:

*Tabla 3: parámetros de diseño de cámara séptica 1.*

Parámetros de Diseño	Valor	Unidad
Ancho (A)	1.80	m
Largo total (L total)	1.80	m
Profundidad Útil (Prof. Útil)	1.80	m
<b>Capacidad total de la cámara</b>	5.83	m <sup>3</sup>
	5,83	Lts

## iii. Esquema cámara séptica 1





#### 4.6.1.2. Zona 2: Trampa de grasa + Cámara séptica 2 + Filtro biológico + 3 Pozos filtrantes

##### ***Trampa de Grasa***

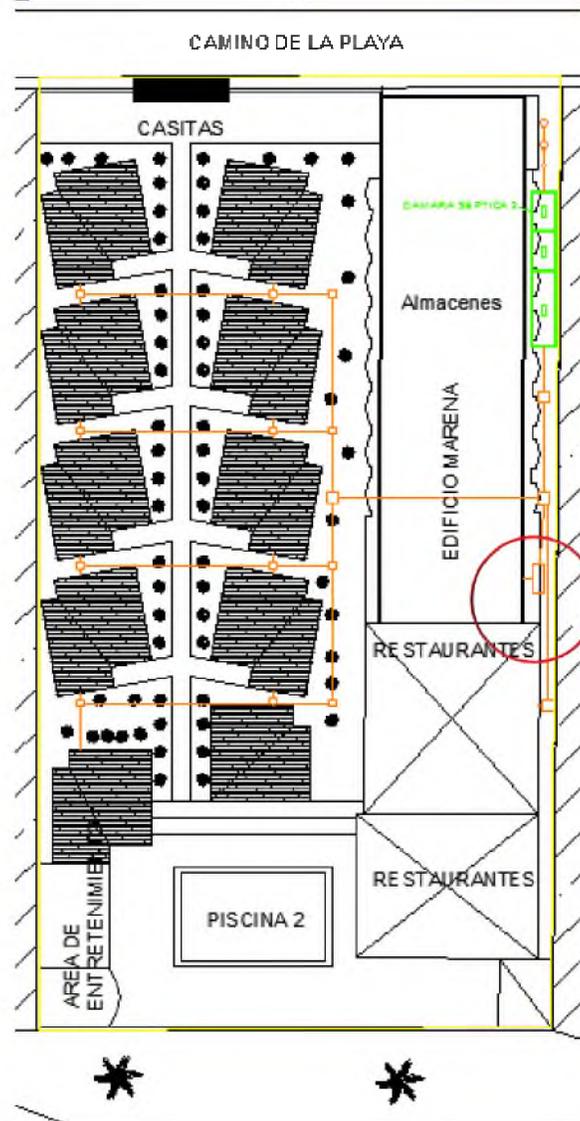
Constituyen un sistema de tratamiento primario, en el cual se realiza una separación por diferencia de densidades.

Estos equipos que han sido diseñados para remover aceites y grasas, y otros materiales flotantes de las descargas de aguas residuales generadas en los comercios, industrias y hogares. Estos contaminantes, de no ser removidos causan problemas en las redes de recolección de las aguas residuales y las plantas de tratamiento. (Programa de Pre tratamiento, Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, Estado Libre Asociado de Puerto Rico).

##### ***i. Ubicación***

La trampa de grasa del hotel CoopMarena está ubicada previa a la entrada a la cámara séptica 2, ver figura 4.

Figura 3: Ubicación de la trampa de grasa. Zona II.



**ii. Descripción y funcionamiento.**

La trampa de grasa alberga las aguas que proceden del fregadero principal del área de la cocina y un desagüe de la misma (ver planos anexos). La trampa de grasa está construida de bloques de mampostería reforzada, y piezas de PVC en forma de T de 3 pulgadas de diámetro.

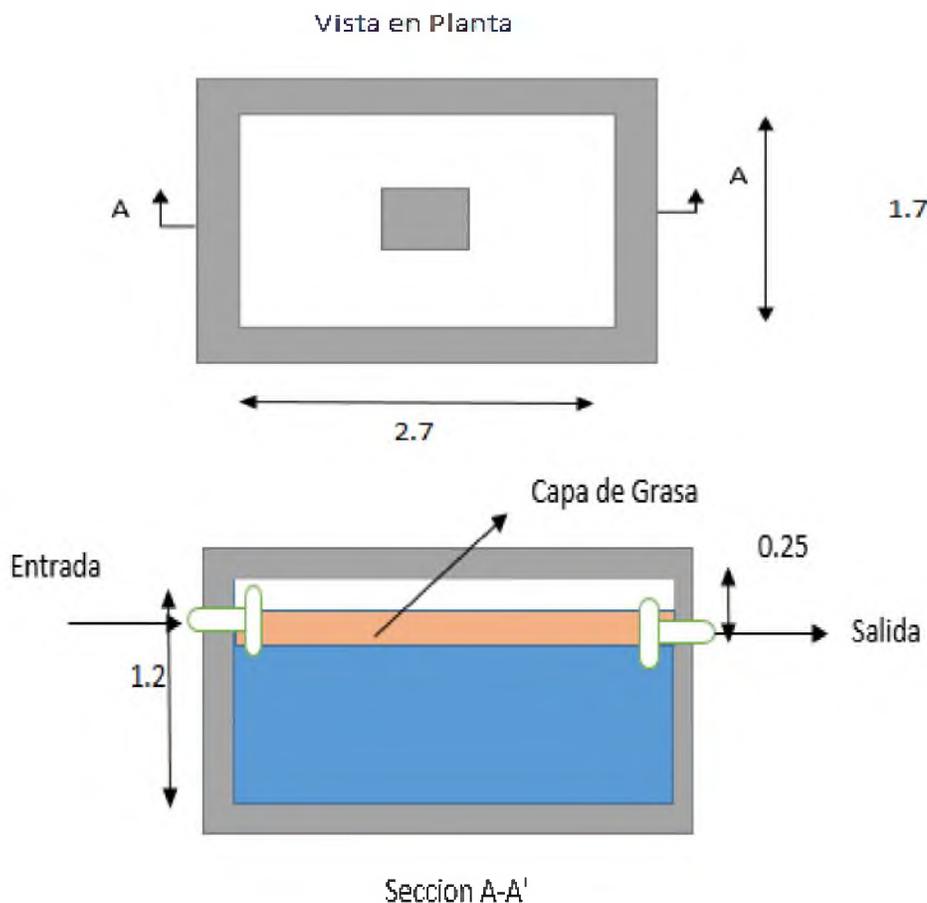
A medida que el agua ingresa a la trampa de grasa esta disminuye la velocidad del flujo, donde por diferencia de densidad las grasas y aceites flotan y quedan atrapadas en la superficie, las piezas de PVC en forma de T impiden que las natas en exceso salgan por la tubería de salida dando solo paso al agua que se escurre por la parte baja de la pieza. (Ver esquema).

A continuación se muestran las dimensiones de la trampa de grasa.

Tabla 4: *paramentos de diseño de la trampa de grasa.*

PARAMETROS DE DISEÑO		
Dimensión	Valor	Unidad
Largo (L)	2.70	Metros (m)
Ancho (A)	1.70	Metros (m)
Profundidad (h)	1.20	Metros (m)
<b>Capacidad</b>	<b>5.51</b>	<b>Metros cúbicos (m<sup>3</sup>)</b>

### iii. Esquema trampa de grasa

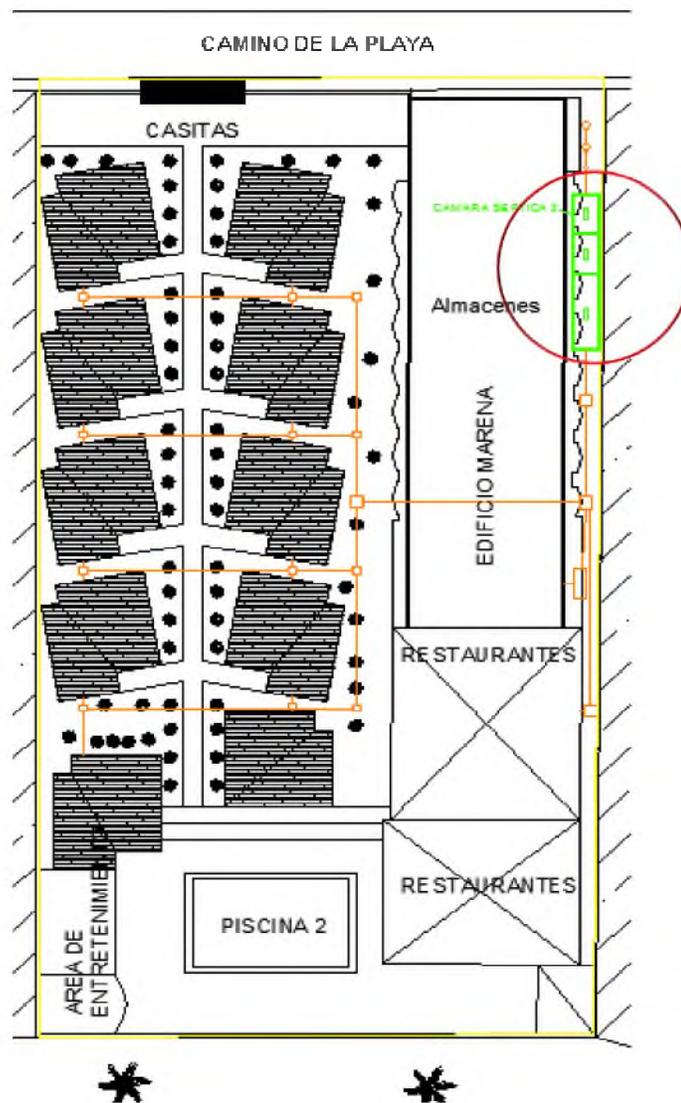


## Cámara Séptica 2

### i. Ubicación

La cámara séptica 2 está localizada en el lateral derecho del edificio Marena. (Ver figura 5).

Figura 4: Ubicación de la cámara séptica 2. Zona II.



## **ii. Descripción y funcionamiento**

Es de doble compartimiento, está construida de mampostería reforzada y losas de hormigón armado, las cámaras son de forma rectangular. Recibe el aporte de la Zona II.

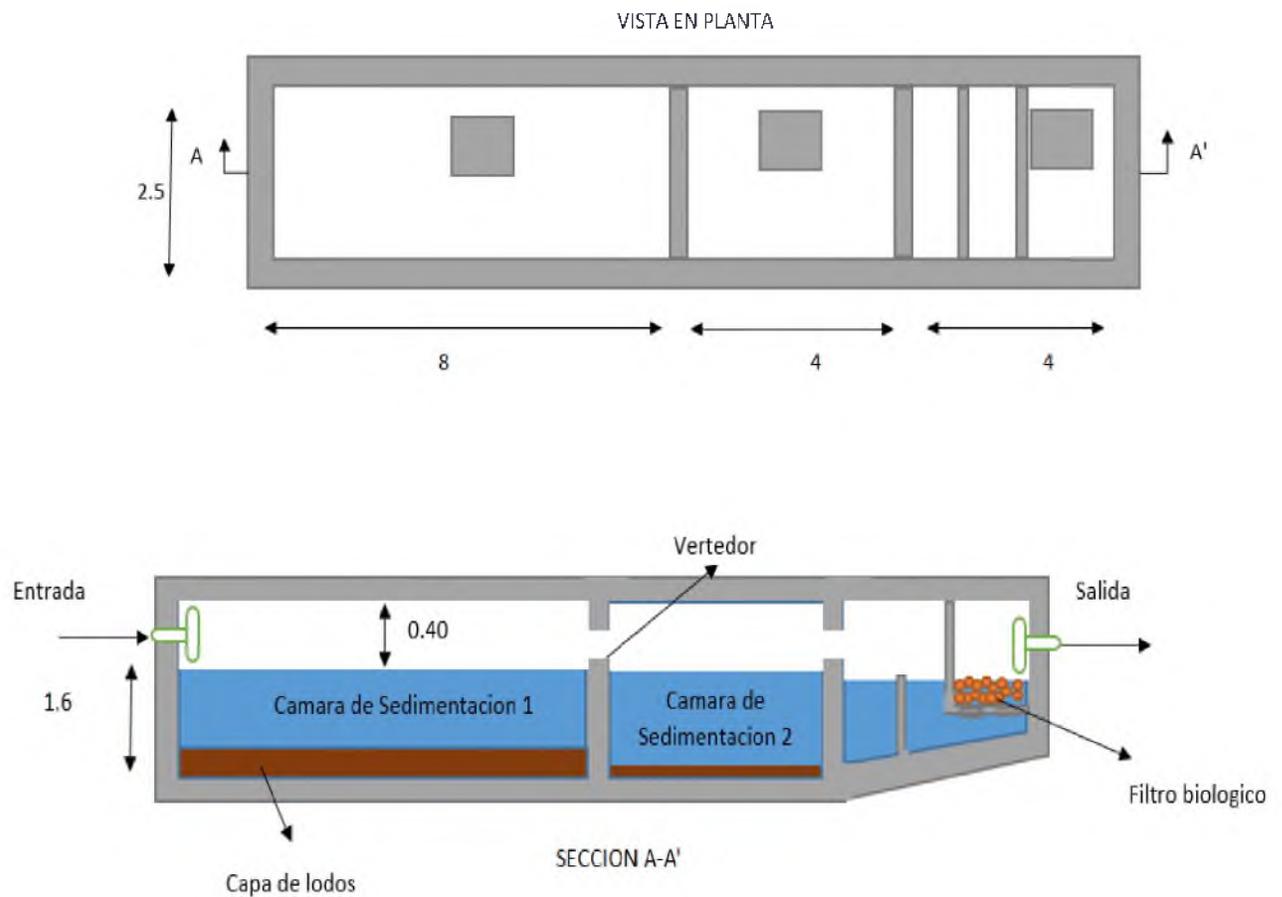
El agua residual es recibida en la primera cámara de sedimentación (Ver esquema), luego los sólidos más pesados decantan al fondo, más tarde el agua es vertida a la cámara de sedimentación 2 donde pasa por otro proceso de clarificación por sedimentación. La actividad anaeróbica de las bacterias, que se da en ambas cámaras, degradan la materia orgánica y decantan al fondo. Ya después, el agua clarificada de la segunda cámara, pasa a donde se encuentra el filtro biológico, compuesto básicamente por áridos o materiales pétreos de 1/2" a 3" (Ver Planos), el agua pasa a través de los intersticios de la grava filtrando el agua y atrapando gran parte de la materia en suspensión y sustancias disueltas. Después de esto El agua finalmente sale de la unidad de tratamiento hacia la disposición final.

A continuación se muestran cada una de las especificaciones:

*Tabla 5: Parámetros de diseño de la cámara séptica 2.*

<b>Parámetros de Diseño</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Ancho (A)	2.50	m
Largo total (L total)	12.00	m
Largo cámara 1 (L cámara1)	8.00	m
Largo cámara 2 (L cámara2)	4.00	m
Profundidad (Prof.)	1.60	m
<b>Capacidad total de la cámara</b>	<b>48.00</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
	<b>48,000.00</b>	<b>Lts</b>

### iii. Esquema cámara séptica 2



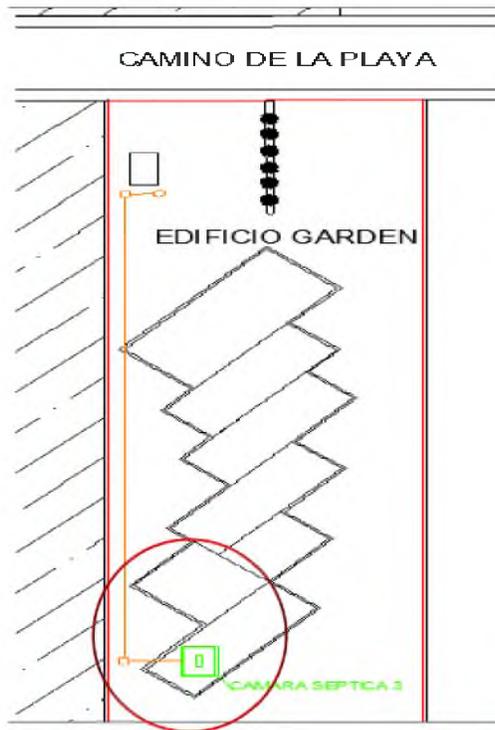
#### 4.6.1.3. Zona III: Trampa de grasa + Cámara séptica 3 + 1 Pozo filtrante

##### **Cámara Séptica 3**

###### **i. Ubicación**

La cámara séptica 3 está localizada dentro de las instalaciones del edificio Garden, en un punto crítico del mismo. En la siguiente figura se muestra su ubicación:

Figura 5: Ubicación de la cámara séptica 3. Zona III.



**ii. Descripción y funcionamiento**

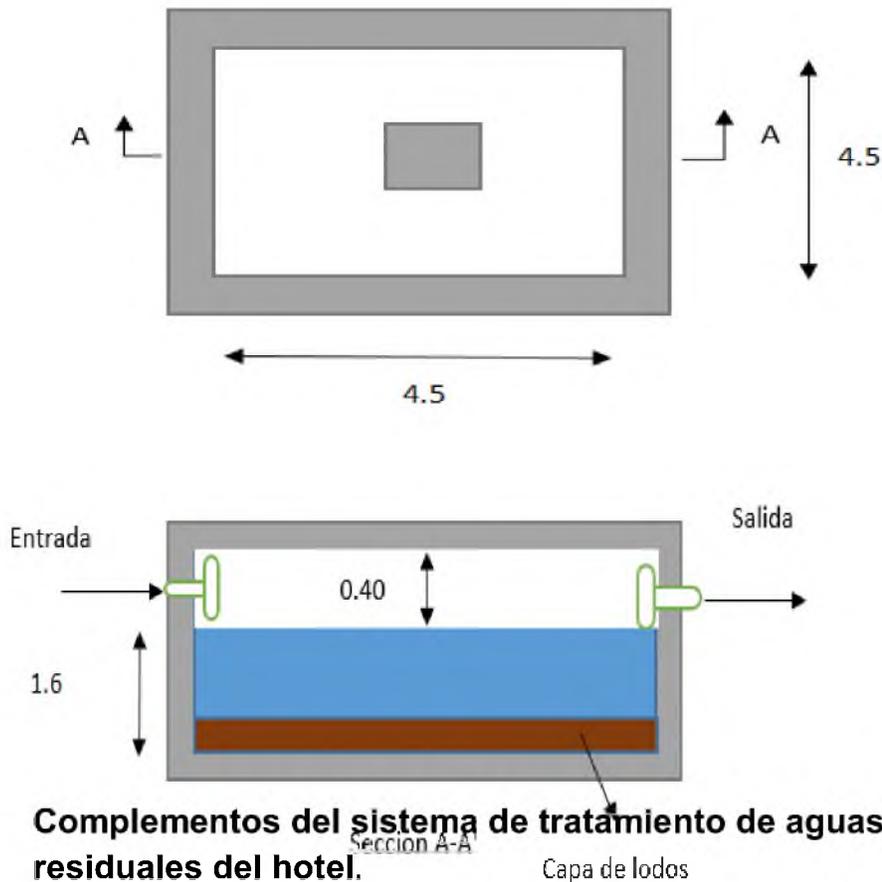
El séptico 3 es de un compartimiento y recoge las aguas de la Zona III. Está construida de Mampostería reforzada y losas de hormigón armado. Su funcionamiento es el mismo que la Cámara séptica 1.

A continuación se muestran cada una de las especificaciones:

Tabla 6: parámetros de diseño cámara séptica 3.

Parámetros de Diseño	Valor	Unidad
Ancho (A)	4.50	m
Largo total (L total)	4.50	m
Profundidad (Prof.)	1.60	m
<b>Capacidad total de la cámara</b>	32.40	m <sup>3</sup>
	32,400.00	Lts

iii. **Esquema cámara séptica 3**



4.6.1.4. **Complementos del sistema de tratamiento de aguas residuales del hotel.**

**Caja de Inspección o registros**

La caja, cámara de inspección o registros tienen la finalidad de inspeccionar las líneas recolectoras, facilitar su mantenimiento y evitar estancamientos por sólidos de las tuberías sobre todo cuando estas cambian de dirección o pendiente.

Según la definición dada por el reglamento de MOPC, el R-008 “Es un dispositivo construido generalmente de bloques con cámaras llenas de hormigón, de fibra de vidrio o acero, que se coloca en las intersecciones y/o en los cambios de dirección o diámetro de la tubería de drenaje, con el objetivo de facilitar la inspección y la limpieza de las líneas colectoras.”

Las cámaras de inspección del hotel son hechas de mampostería reforzada bloques de 6” en su gran mayoría de dimensiones 0.50 m x 0.50 m por 0.90 m de profundidad, aunque estas dimensiones varían según las tuberías y la

profundidad, algunas alcanzan el 1.20 de profundidad y 1.10x1.10 de dimensión en planta.

### ***Colectores***

Las tuberías colectoras (las exteriores) son en su totalidad de PVC SDR 32.5, con diámetros que varían de 3", 4", 6" y 8". Todas con pendiente mínima estipulada del 2%.

### ***Filtrantes***

Las aguas residuales tratadas por los tres sépticos son dispuestas al subsuelo por medio de pozos filtrantes tubulares perforados de PVC SDR 32.5, cuyos diámetros son de 8" por 50' de profundidad cada uno.

## **V. Presentación de Resultados.**

### **5.1. Deficiencias de Funcionamiento del Sistema Actual.**

Las principales instituciones gubernamentales encargadas de la gestión en general de las aguas residuales de los hoteles turísticos en el país son: El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, las instituciones de agua potable y saneamiento (INAPA, CAASD, las Coras, etc), el Ministerio de Turismo y el Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones. Todos establecen reglamentos, guías y normas para el sector turismo en el diseño, manejo y disposición final de las aguas residuales.

Luego de la descripción general del sistema actual de tratamiento de aguas residuales del Hotel & Resort CoopMarena. Se identificaron las deficiencias en cada uno de los componentes del sistema, todo esto de acuerdo a los parámetros de diseño establecidos por las guías, normas y reglamentos vigentes. Además se evaluó el régimen de mantenimiento de las unidades de tratamiento que se tiene en el hotel, en función a la estimación de la producción de lodos en las cámaras sépticas.

Por otra parte para tener un valor real en las concentraciones de contaminantes en las aguas residuales, se realizó un análisis de calidad de agua en una de las unidades tratamiento y posteriormente se envió al laboratorio de calidad de agua de la CAASD para su análisis correspondiente.

A continuación se presentan los resultados de la evaluación realizada a cada unidad de tratamiento en función a la zona que pertenece:

### 5.1.1. Evaluación de la Cámara séptica 1 (Zona I)

Para determinar si el séptico 1 cumple con los criterios de diseño establecidos por los entes de control, se procedió a realizar los cálculos de determinación de los caudales y posteriormente los tiempos de retención hidráulicos (THR), además de obtener sus dimensiones geométricas reales.

Tabla 7: caudal de diseño de la cámara séptica 1.

<b>CAUDAL DE DISEÑO</b>		
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Caudal aportes de las personas ( huéspedes)</b>		
Número de personas	320	Personas
<sup>2</sup> Dotación	400	Lts/hab.día
Caudal medio agua potable (Q <sub>med</sub> )	128,000.00	Lts/día
<sup>3</sup> Coefficiente retorno	0.85	-----
<b>Caudal medio agua residuales (Q<sub>AR1</sub>)</b>	<b>108,800.00</b>	<b>Lts/día</b>
<b>Caudal aportes de los empleados</b>		
Número de personas	62	Personas
<sup>4</sup> Dotación	150	Lts/hab.día
Caudal medio de agua potable (Q <sub>med</sub> )	9,300.00	Lts/día
<sup>5</sup> Coefficiente retorno	0.85	-----
<b>Caudal medio agua residuales (Q<sub>AR2</sub>)</b>	<b>7,905.00</b>	<b>Lts/día</b>
<b>Caudal de rechazo OI</b>		
<b>Caudal de rechazo (Q<sub>AR3</sub>)</b>	<b>21,818.00</b>	<b>Lts/día</b>
<b>Caudal total (Q<sub>TOTAL</sub>=Q<sub>AR1</sub>+Q<sub>AR2</sub>+Q<sub>AR3</sub>)</b>	<b>138,523.00</b>	<b>Lts/día</b>

De acuerdo al reglamento <sup>6</sup>R-008 del MOPC, esta cámara cumple con lo siguiente:

<sup>2</sup> Dotación tomada de la Norma Inapa.

<sup>3</sup> Coeficiente de retorno tomado de la Norma de Inapa.

<sup>4</sup> Dotación tomada de la Norma Inapa.

<sup>5</sup> Coeficiente de retorno tomado de la Norma de Inapa.

- ❖ La capacidad total de la cámara que esta debe de ser mayor a 378.5 litros.

$$V_{total} = L_{total} \times Ancho \times prof$$

$$V_{total} = 1.8 \text{ m} \times 1.8 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$$

$$V_{total} = 5.832 \text{ m}^3 = 5,832 \text{ Lts. } \textbf{Cumple}$$

El sistema de la cámara séptica 1 no cumple con los siguientes parámetros:

- ❖ De acuerdo al reglamento <sup>7</sup>R-008 del MOPC, se establece que la cámara séptica debe de tener una profundidad mayor de 1 metro y menor o igual que 1.60 metros.

$$1 \text{ m} < prof \leq 1.60 \text{ m}$$

$$prof = 1.8 \text{ m } \textbf{No Cumple}$$

- ❖ Esta cámara séptica no cumple con los criterios establecidos por los requerimientos de proyectos hidrosanitarios del MITUR ni el reglamento R-008 del MOPC, que establecen que las cámaras sépticas deben de ser de doble cámara o doble compartimiento.

- ❖ Tiempo de Retención Hidráulico

$$TRH = V / Q_{total}$$

$$TRH = 5,832 \text{ Lts} / 138,523 \text{ Lts/dia}$$

$$TRH = 0.042 \text{ dias}$$

$$TRH = 1.01 \text{ Hrs}$$

**No Cumple** ⇒

Según lo establecido por Inapa en su norma de diseño el TRH debe ser > 1 día o 24 horas.

- ❖ El séptico alberga una población de 320 huéspedes, 58% de la capacidad total de Hotel, además de aproximadamente 62 empleados fijos en la zona, un número que supera con creces los máximos permitidos por el MITUR, el cual establece que la capacidad máxima de 50 personas.

- ❖ Carece de tratamiento preventivo el cual la guía establece que mínimamente debe de ser anual.

<sup>6</sup> R-008, Reglamento para el Diseño y la Construcción de Instalaciones Sanitarias para Edificaciones del Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones.

<sup>7</sup> R-008, Reglamento para el Diseño y la Construcción de Instalaciones Sanitarias para Edificaciones del Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones.

## 5.1.2. Evaluación de la Cámara Séptica 2 (Zona II)

### 5.1.2.1. Evaluación de Diseño y Funcionalidad de la Trampa de grasa

La evaluación de la trampa de grasa se realiza con el fin de comprobar si en su diseño fue considerado los parámetros establecidos por los entes de control. Para identificar y evaluar la trampa de grasa se utilizó el reglamento de Diseño y Construcción de Instalaciones sanitarias para Edificaciones, R-008 del Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones. El cual establece los siguientes parámetros:

Las aguas que provengan de fregaderos u otro aparato sanitario que producen grasas descargaran directamente en una trampa de grasa y en su diseño tomaran en cuenta los siguientes criterios (Ministerio de Obra Pública y Comunicaciones, 2010):

- ❖ Las dimensiones de la trampa de grasa deberán ser en función del volumen de grasa producida, las cuales en ningún caso podrán ser menores de 1.00 m X 0.80 m; medidas entre sus muros interiores y con una profundidad mínima de 1.00 m.

*la profundidad de la trampa = 1.2 m      Cumple.*

- ❖ La trampa de grasa está ubicada en un lugar de fácil acceso para su inspección y limpieza.

Para la evaluación del tiempo de retención de diseño de la trampa de grasa existente, se obtendrá el caudal de diseño según las especificaciones técnicas del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), el cual estipula:

$$Qd = 0.3 * \Sigma P^{1/2}$$

Dónde:

- Qd = Caudal Máximo de diseño para trampas de grasas.
- $\Sigma P$  = Suma de todas las unidades de gastos a ser atendidas por la trampa de grasa.

Para el caso de lavaderos de restaurantes en hoteles, la unidad de gasto corresponde a 2 unidades, por los 4 grifos de los lavaderos más 2 adicionales del área de cocina caliente, se tiene:

$$\Sigma P = 6 * 2 = 12$$

$$Qd = 0.3 * 12^{1/2}$$

$$Qd = 1.04 \text{ LPS} = 0.0010 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Asumimos una altura útil de 0.90mt, por el volumen de grasa que se acumula en la superficie.

$$V_{real} = 1.70 * 2.7 * 0.90$$

$$V_{real} = 4.13 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen necesario, seleccionamos el tiempo de retención mínimo recomendado por la norma del INAPA de 15 minutos = 900seg.

$$V_{nec} = Qd * TRH$$

$$V_{nec} = 0.0010 \text{ m}^3/\text{seg} * 900\text{seg}$$

$$V_{nec} = 0.90\text{m}^3$$

Como se puede verificar el volumen útil de la trampa de grasa está muy por encima del necesario para la retención de las mismas.

### 5.1.2.2. Evaluación de Diseño y Funcionalidad de la Cámara séptica 2

Tabla 8: caudal de diseño cámara séptica 2.

<b>CAUDAL DE DISEÑO</b>		
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Caudal aportes de las personas (huéspedes)</b>		
Número de personas	130	Personas
<sup>8</sup> Dotación	400.00	Lts/hab.día
Caudal medio agua potable (Q <sub>med</sub> )	52,000.00	Lts/día
<sup>9</sup> Coefficiente de retorno	0.85	-----
<b>Caudal medio agua residuales (Q<sub>AR1</sub>)</b>	<b>44,200.00</b>	<b>Lts/día</b>
<b>Caudal aportes de empleados</b>		
Número de personas	72	Personas
<sup>10</sup> Dotación	150.00	Lts/hab.día
Caudal medio agua potable (Q <sub>med</sub> )	10,800.00	Lts/día
<sup>11</sup> Coefficiente retorno	0.85	-----
<b>Caudal medio agua residuales (Q<sub>AR2</sub>)</b>	<b>9,180.00</b>	<b>Lts/día</b>

<sup>8</sup> Dotación tomada de la Norma de Inapa

<sup>9</sup> Coeficiente de retorno tomado de la Norma de Inapa.

<sup>10</sup> Dotación tomada de la Norma de Inapa

<sup>11</sup> Coeficiente de retorno tomado de la Norma Inapa

<b>Caudal de rechazo OI</b>		
<b>Caudal de rechazo (<math>Q_{AR3}</math>)</b>	<b>5,455.00</b>	<b>Lts/día</b>
<b>Caudal total de aguas residuales (<math>Q_{TOTAL} = Q_{AR1} + Q_{AR2} + Q_{AR3}</math>)</b>	<b>58,835.00</b>	<b>Lts/día</b>

De acuerdo a los parámetros de diseño que establece el Reglamento <sup>12</sup>R-008 del MOPC, este cumple con lo siguiente:

- ❖ Con la capacidad de la cámara 1 que debe de ser 2/3 de la capacidad total.

$$V_{c_1} = \frac{2}{3} V_{total}$$

$$V_{c_1} = \frac{2}{3} 48 m^3$$

$$V_{c_1} = 32 m^3 \quad \text{Cumple}$$

- ❖ Con la capacidad de la cámara 2 que debe de ser 1/3 de la capacidad total.

$$V_{c_1} = \frac{1}{3} V_{total}$$

$$V_{c_1} = \frac{1}{3} 48 m^3$$

$$V_{c_1} = 16 m^3 \quad \text{Cumple}$$

- ❖ Con la profundidad ya que el reglamento establece que este debe de tener una profundidad mayor de 1 metro y menor o igual que 1.60 metros.

$$1 m < prof \leq 1.60 m$$

$$prof = 1.6 m \quad \text{Cumple}$$

- ❖ Con la capacidad total de la cámara que esta debe de ser mayor a 378.5 litros.

$$V_{total} = L_{total} \times Ancho \times prof$$

$$V_{total} = 12 m \times 2.5 m \times 1.6 m$$

$$V_{total} = 48 m^3 \quad \text{Cumple}$$

De acuerdo a los parámetros de diseño que establece el MITUR, este cumple con lo siguiente:

---

<sup>12</sup> R-008, Reglamento para el Diseño y la Construcción de Instalaciones Sanitarias para Edificaciones del Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones.

- ❖ De acuerdo a los parámetros de diseño establecido por MITUR y el R-008 del MOPC, la cámara séptica 2 cumple con la cantidad mínima de compartimentos estipulados.

- ❖ Tiempo de Retención Hidráulico.

$$TRH = V / Q_{total}$$

$$TRH = 48,000 \text{ Lts} / 58,835 \text{ Lts/día}$$

$$TRH = 0.82 \text{ días}$$

$$TRH = 19.58 \text{ Hrs}$$

**No Cumple** ⇒

Según lo establecido por INAPA en su norma de diseño el TRH debe ser > 1 día o 24 horas.

- ❖ El séptico llega albergar los caudales de más de 130 personas/ días (23.6%) de la capacidad máxima del hotel, cifra la cual supera el máximo estipulado por el Ministerio de Turismo, en sus especificaciones técnicas de no más de 50 personas/día para este tipo de tratamiento.

- ❖ El paso entre las cámaras se da por medio de vertedores (ver esquema cámara séptica 2), esto puede llevar a que los sólidos suspendidos y las natas en exceso pasen a las otras cámaras con facilidad y sin recibir el tratamiento. Esto conlleva a un aumento significativo de los sólidos suspendidos y materia orgánica en el efluente.

### 5.1.3. Evaluación de la Cámara séptica 3 (Zona III)

Tabla 9: Caudal de diseño cámara séptica 3.

CAUDAL DE DISEÑO		
Datos	Valor	Unidad
<b>Caudal aportes de las personas (huéspedes)</b>		
Número de personas	100	Personas
<sup>13</sup> Dotación	400.00	Lts/hab.día
Caudal medio agua potable (Qmed)	40,000.00	Lts/día
<sup>14</sup> Coefficiente de retorno	0.85	-----
<b>Caudal medio agua residuales</b>	<b>34,000.00</b>	<b>Lts/día</b>

<sup>13</sup> Dotación tomada de la Norma de Inapa

<sup>14</sup> Coeficiente de retorno tomado de la Norma de Inapa.

<b>(Q<sub>AR1</sub>)</b>		
<b>Caudal aportes de empleados</b>		
Número de personas	55	Personas
<sup>15</sup> Dotación	150.00	Lts/hab.día
Caudal medio agua potable (Q <sub>med</sub> )	8,250.00	Lts/día
<sup>16</sup> Coefficiente retorno	0.85	----
<b>Caudal medio agua residuales (Q<sub>AR2</sub>)</b>	<b>7,012.50</b>	<b>Lts/día</b>
<b>Caudal total de aguas residuales (Q<sub>TOTAL</sub> = Q<sub>AR1</sub> + Q<sub>AR2</sub>)</b>	<b>41,012.50</b>	<b>Lts/día</b>

De acuerdo al Reglamento <sup>17</sup>R-008 del MOPC, esta cámara cumple con los siguientes parámetros de diseño:

- ❖ La cámara séptica debe de tener una profundidad mayor de 1 metro y menor de 1.60 metros.

$$1\text{ m} < \text{prof} \leq 1.60\text{ m}$$

$$\text{prof} = 1.6\text{ m} \quad \text{Cumple}$$

- ❖ La capacidad total de la cámara que esta debe de ser mayor a 378.5 litros.

$$V_{total} = L_{total} \times \text{Ancho} \times \text{prof}$$

$$V_{total} = 4.5\text{ m} \times 4.5\text{ m} \times 1.6\text{ m}$$

$$V_{total} = 32.4\text{ m}^3 = 32,400\text{ Lts.} \quad \text{Cumple}$$

- ❖ En cuanto a las dimensiones de la cámara séptica cumple con los requisitos de diseño establecido en el Reglamento R-008 del MOPC.

- ❖ Tiempo de Retención Hidráulico

$$TRH = V / Q_{total}$$

$$TRH = 32,400\text{ Lts} / 34,000\text{ Lts/día}$$

$$TRH = 0.79\text{ días}$$

$$TRH = 18.96\text{ Hrs}$$

**No Cumple**



Según lo establecido por INAPA en su norma de diseño el TRH debe ser > 1 día o 24 horas.

- ❖ El séptico es de un solo compartimiento, por tanto no cumple con los requisitos que exige el Ministerio de Turismo ni el MOPC, para este tipo de

<sup>15</sup> Dotación tomada de la Norma de Inapa

<sup>16</sup> Coeficiente de retorno tomado de la Norma Inapa

<sup>17</sup> R-008, Reglamento para el Diseño y la Construcción de Instalaciones Sanitarias para Edificaciones del Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones.

instalación hotelera que exige dos compartimientos o cámaras como mínimo.

- ❖ Falta de mantenimiento preventivo, el cual la guía establece que debe de ser anual.
- ❖ El séptico está ubicado dentro de las instalaciones (Punto Crítico), por lo que es altamente recomendable prescindir del mismo y reubicarlo, con las especificaciones pertinentes a las normas.
- ❖ El séptico alberga una población de 100 personas, superando el máximo de 50 personas que establece el Ministerio de Turismo.

**Nota:** Debido a que la trampa de grasa de la Zona III, solo alberga las aguas residuales de una pequeña cocina y la misma cumple con las dimensiones mínimas estipuladas por norma de 1.00x0.80 por 1.00 de profundidad, no es necesario hacer un análisis exhaustivo de esta unidad de tratamiento.

#### **5.1.4. Mantenimiento del sistema de tratamiento.**

El mantenimiento de los sépticos básicamente consiste en la extracción de los lodos y natas acumulados en un tiempo determinado en las distintas cámaras que componen el sistema. En el hotel esto se lleva a cabo mediante el uso de camiones cisternas propiedad de un contratista privado, que succionan los lodos y natas acumulados de los sépticos y le dan tratamiento y disposición final ya fuera de las instalaciones del hotel.

A continuación se describe el régimen de mantenimiento de cada sistema:

##### **5.1.4.1. Sistema de tratamiento Zona I**

Se puede estimar la producción de lodos en un séptico de la siguiente manera:

Según el CEPIS y la OPS (2005), la cantidad de sólidos producidos por año varía en relación con la temperatura ambiental o el factor clima de la zona en donde se ubica el séptico, se pueden utilizar los siguientes valores:

- ❖ Clima cálido: 40 lt/habitantes/año
- ❖ Clima frío: 50 lt/habitantes/año

Pero para el caso de sépticos que reciban aguas residuales de restaurantes y similares donde producen apreciables cantidades de grasas y aceites, a esos valores deberá adicionárseles el valor de 20 lt/habitantes/año.

Mediante la siguiente formula se estima la cantidad de tiempo en que se deberán extraer los lodos, para esto se asume que 1/3 del volumen del séptico estará destinado a albergar estos residuos líquidos.

Entonces se tiene:

$$\frac{1}{3} V(\text{septico}) = T * P * \text{tasa de produccion}$$

Dónde:

- ❖ T: es el tiempo estimado de extracción de lodos
- ❖ P: población que sirve el séptico.
- ❖ 1/3 V(séptico): volumen del séptico que se destina para almacenamiento.

Sustituyendo:

$$T = (5830 \text{ lts}) / (382 \text{ habitantes}) * (40 \text{ lts/habitantes/año}) * 3$$

$$T = 0.13 \text{ años} = 1.5 \text{ meses}$$

Esto nos indica que cada mes y medio tendrán que extraerse lodos de este séptico, esto puede deberse a que el séptico alberga un caudal considerablemente alto, para su poca capacidad de asimilación y tratamiento de las aguas provenientes de la Zona I.

Por otro lado, este sistema no posee un régimen exhaustivo de mantenimiento preventivo. En el mismo solo se eliminan los lodos y natas cuando se colmatan los filtros, cuando se dan situaciones de rebose o presurización de líneas.

#### **5.1.4.2. Sistema de tratamiento Zona II**

Para este caso se utiliza el mismo método anterior:

- ❖ Población estimada: 202 (Huéspedes + empleados)

$$\frac{1}{3} V(\text{septico}) = T * P * \text{tasa de produccion}$$

Para este caso se asume que la mayor parte de los lodos se sedimentan en la primera cámara.

$$T = 1/3 * (32000 \text{ lts}) / (202 \text{ habitantes} * 40 \text{ lts/habitantes/año}) \\ + (202 \text{ habitantes} * 20 \text{ lts/habitantes/año})$$

$$T = 0.88 \text{ años} = 10.56 \text{ meses}$$

Este resultado indica que en un tiempo estimado de 10 meses y medio se pueden extraer los lodos. Pero esto es para condiciones favorables para el séptico.

Que como se indicó anteriormente este no es el caso para este sistema, debido a que está reteniendo a caudales para lo cual no fue diseñado.

Para este séptico se procede con la extracción de lodos y grasas cada 3 meses, pero aun así la calidad del efluente deja mucho que desear. Esto puede deberse a los grandes caudales de aportación y contaminantes de la Zona II, para los cuales el séptico presenta considerables deficiencias de tratamiento.

#### **5.1.4.3. Sistema de tratamiento Zona III**

Para este caso se utiliza el mismo método anterior:

❖ Población estimada: 155 (Huéspedes + empleados)

$$1/3 V(\text{septico}) = T * P * \text{tasa de produccion}$$

$$T = 1/3(32400 \text{ lts}) / (155 \text{ habitantes} * 40 \text{ lts/habitantes/año})$$

$$T = 1.7 \text{ años}$$

Para este séptico se pueden extraer los lodos cada año o año y medio por seguridad. Cabe resaltar que para este sistema no existe un régimen de mantenimiento preventivo, y pasa la misma situación que el séptico de la Zona I.

Por otro lado, para este sistema se exhorta de manera inmediata prescindir de él, ya que presenta una ubicación inadecuada tanto de la cámara séptica en si como del filtrante que se utiliza para la disposición final de sus aguas.

#### **Pozos filtrantes.**

Los pozos filtrantes tubulares de PVC que sirven como unidades de tratamiento usando el suelo como medio filtrante y disposición final de las aguas residuales,

poseen un diámetro adecuado de 8 pulgadas para manejar los caudales provenientes de cada séptico.

Pero por otro lado según un estudio de mecánica de suelo realizado por MP. SA ingenieros consultores (2007), el nivel freático en la zona del hotel se encuentra a 4.25 m, mientras que cada pozo filtrante tiene una profundidad de 50' o 15.24 m, sobrepasando el nivel freático por 11 metros. Por ende se incumple tanto con las normas del INAPA como con la norma del MOPC, las cuales prohíben terminantemente que los pozos filtrantes lleguen al nivel freático.

Estas normas especifican que este tipo de pozos deberán estar siempre 1 m por encima del nivel estático. Esto con el objeto de utilizar el suelo circundante como filtro antes de que las aguas residuales lleguen a corrientes de aguas subterráneas y de esta forma proteger las fuentes del subsuelo, de lo contrario el pozo filtrante se comporta como los denominados pozos negros, que descargan agua residual indebidamente tratada directamente a los cuerpos de agua subterráneas.

### **5.1.5. Análisis de calidad de aguas residuales**

El análisis de aguas residuales se efectuó con el objetivo obtener una muestra representativa de las características de las aguas residuales del hotel, además de evaluar la eficiencia en remoción de contaminantes del actual sistema de tratamiento y la calidad del efluente.

El hotel permitió hacer el análisis de calidad de aguas residuales a uno de sus tres sistemas de tratamiento, por ende el análisis correspondiente se efectuó en la zona donde las aguas residuales, según su origen, contendrían una mayor concentración de contaminantes. Por ende como muestra representativa de las aguas residuales del hotel, se seleccionó el séptico 2 que recibe aportes de la Zona II del complejo, ya que sus aguas residuales además de provenir de baños públicos, habitaciones, rechazo de OI, etc. También recibe todas las aguas residuales de los restaurantes del hotel, además este séptico como pudo apreciarse anteriormente, es el de mayor volumen y capacidad de tratamiento en cuanto a su diseño y construcción.

El análisis de calidad de aguas residuales del hotel tuvo como objeto determinar las concentraciones de los siguientes contaminantes: Demanda Bioquímica de

Oxígeno DBO5, sólidos suspendidos (SS), Fosforo Total, Nitrógeno Total y variaciones del pH. El mismo fue realizado tomando un total de 6 muestras de agua tanto a la entrada y la salida de una de la cámara séptica 2, esto siguiendo el protocolo de toma de muestras estipulado por el laboratorio de la CAASD para posteriormente poder ser recibidas por el mismo.

Las muestras se tomaron en pares, una a la entrada y una a la salida. Repitiendo el proceso tres veces en intervalos de tiempo de hora y media, en horas de la mañana del día previamente programado.

Los resultados del análisis efectuado por el laboratorio de la CAASD fueron los siguientes:

**Fecha de realización:** 6 de abril del 2016.

*Tabla 10: Resultados de análisis de agua residuales.*

Localización	Sólidos suspendidos (mg/l)	DBO5 (mg/l)	Fosforo Total (mg/l)	PH
Muestra # 1 , registro entrada séptico 2	352	301.67	4.5	6.36
Muestra # 2 , registro salida séptico 2	212	181.62	5.5	6.24
Muestra # 3 , registro entrada séptico 2	440	251.40	9.0	5.98
Muestra # 4 , registro salida séptico 2	272	189.20	6.5	6.30
Muestra # 5 , registro entrada séptico 2	310	233.7	6.0	6.47
Muestra # 6 , registro salida séptico 2	318	271.64	8.5	6.11

Fuente: Laboratorio de aguas residuales de la CAASD.

Para determinar la eficiencia de remoción tanto de DBO5 como de sólidos suspendidos (SS) de la cámara séptica 2, se obtiene el promedio de ambos parámetros tanto en la entrada como en la salida:

$$DBO5 \text{ prom. (Entrada)} = (DBO5 \text{ Muestra\#1} + DBO5 \text{ Muestra\#3} + DBO5 \text{ Muestra\#5})/3$$

$$SS \text{ prom. (Entrada)} = (SS \text{ Muestra\#1} + SS \text{ Muestra\#3} + SS \text{ Muestra\#5})/3$$

$$SS \text{ prom. (Entrada)} = (Fosforo \text{ total Muestra \#1} + Fosforo \text{ total Muestra \#3} + Fosforo \text{ total Muestra \#5})/3$$

Misma fórmula para determinar los promedios de salida.

*Tabla 11: Promedio de parámetros tanto en la entrada como en la salida de la cámara séptica 2.*

ENTRADA	PROM.	SALIDA	PROM.
DBO (mg/l)	262.00	DBO (mg/l)	214.00
SS (mg/l)	367.33	SS (mg/l)	267.33
FOSFORO (mg/l)	6.50	FOSFORO (mg/l)	6.83
PH	6.27	PH	6.22

Según Romero (2005), las concentraciones de contaminantes de las aguas residuales domesticas suelen rondar cercanos a los siguientes valores:

*Tabla 12: Concentraciones de contaminantes de las aguas residuales domésticas.*

PARAMETRO	VALORES USUALES
DBO (mg/l)	220.00
SS (mg/l)	220.00
FOSFORO (mg/l)	8.00
PH	6.0-9.0

Fuente: Romero (2005).

Como puede apreciarse los valores de la DBO de entrada, están un poco por encima de lo usual, mientras que los sólidos suspendidos, si se muestran muy por encima de lo usual. Por su parte el fosforo está muy cercano a los valores teóricos al igual que el pH que se mantiene dentro del rango.

Por otro lado, los valores de la DBO de salida (Valores escogidos para el diseño de la planta), están muy cercanos a lo usual, mientras que los sólidos suspendidos siguen estando por encima. Por otro lado el fosforo está muy cercano a los valores teóricos al igual que el pH que se mantiene dentro del rango usual.

Al analizar los valores de las concentraciones promedio de contaminantes a la salida del séptico o del efluente, puede apreciarse perfectamente que estos se asemejan a las concentraciones comunes del agua residual domestica cruda (sin tratar).

Lo que deja entrever la clara ineficiencia de remoción de contaminantes de este sistema de tratamiento, lo que le impedirá rotundamente cumplir con cualquier norma ambiental de control de descarga. Se recuerda, que este séptico, es el que mejor criterio de diseño posee y el de mayor capacidad.

Para obtener la eficiencia promedio del séptico:

$$\% E (DBO5) = [(DBO5 Ent - DBO5 sal) / DBO5 Ent] * 100$$

Dónde:

- ❖ %E (DBO5): Eficiencia de remoción expresada en porcentaje (%).
- ❖ DBO5 Ent.: DBO5 promedio de entrada (mg/l).
- ❖ DBO5 Sal.: DBO5 promedio de salida (mg/l).

Sustituyendo:

$$\% E (DBO5) = [(262 \text{ mg/l} - 204 \text{ mg/l}) / 262 \text{ mg/l}] * 100$$

La eficiencia de remoción de DBO5 del séptico será:

$$\% E (DBO5) = 18\%$$

Mismo procedimiento para obtener la eficiencia de remoción de los parámetros restantes.

La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos (SS) del séptico será:

$$\% E (SS) = 27\%$$

En cuanto al fósforo total, la eficiencia de remoción es despreciable.

**Según la norma de calidad de agua y control de descarga del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los valores máximos permisibles para descarga al subsuelo son:**

Tabla 13: Valores máximos permisibles para descarga al subsuelo.

Parámetro	Valores Max. Permisibles por norma (mg/l)	Efluente (mg/l)	Condición
DBO5	50	214.00	No Cumple
SS	50	267.33	No Cumple
P total	-	6.83	-
N total	-	9.00	-

Fuente: Norma de calidad de agua y control de descarga, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

**Nota:** Debido a que en la actualidad el laboratorio de análisis de calidad de agua de la CAASD, no llevan a cabo la prueba para determinar el Nitrógeno total, este valor puede asumirse tomando en cuenta la caracterización de las aguas residuales municipales, según Romero (2005), para este caso el valor ronda los 9 mg/l.

Para los valores de Nitrógeno total (N total) y Fosforo total (P total), la norma ambiental sobre calidad de agua y control descargas no estipula un valor Máximo Cuando se trata de poblaciones equivalentes menores a 5000 habitantes, el cual es el Caso del hotel CoopMarena.

Pero según la norma mexicana NOM-001-SEMARNAT (1996) usada como referencia en este caso, recomienda no sobrepasar en nitrógeno y fosforo valores de 15mg/l y 5 mg/l respectivamente.

**Según NOM-001-SEMARNAT (1996), valores máximos permisibles para preservar vida acuática:**

Tabla 14: Valores máximos permisibles para preservar la vida acuática.

Parámetro	Valores Max. Permisibles por norma (mg/l)	Efluente (mg/l)	Condición
DBO5	30	214.00	No Cumple
SS	40	267.33	No Cumple
P total	5	6.83	No Cumple
N total	15	9.00	Cumple

Fuente: NOM-001-SEMARNAT 1996.

Para este caso Se escogen los valores máximos de la columna de “preservación de vida acuática en los ríos”, porque estos son los que más se asemejan a los valores de la norma dominicana para descarga a cuerpos de agua superficial y al subsuelo, siendo los valores de la norma mexicana aún más estrictos.

Los valores de contaminantes de DBO5, SS y Ptotal del efluente de la cámara séptica 2, siendo esta la que posee condiciones de diseño y construcción más favorables, no cumplen con los máximos permitidos por las normas ambientales.

## **5.2. Rediseño del Sistema Actual de Tratamiento.**

Como se dijo anteriormente, el sistema de tratamiento de aguas residuales del complejo turístico, recolecta las aguas de las diferentes zonas ya definidas (ver figura 1 o planta en conjunto del anexo).

Tomando como base los resultados no favorables de los análisis anteriormente descritos, se hace indispensable el complementar el actual sistema de tratamiento, con otras unidades que garanticen una correcta remoción de contaminantes, esto yendo acorde por supuesto, con las directrices de las normas ambientales vigentes.

Por ende se propone reestructurar ciertas unidades de pre-tratamiento del sistema antiguo del hotel, además de conectar los efluentes de aguas residuales de los tres sépticos a un sistema de tratamiento complementario, conformado por un sedimentador primario, un reactor de lodos activados y un sedimentador secundario. Constituyéndose así una planta de tratamiento de aguas residuales. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2006)

### **5.2.1. Diseño de Trampa de Grasa**

Se requerirá una pequeña trampa de grasa adicional conectada a las aguas provenientes del área de limpieza de carnes del edificio Marena (Ve planta sanitaria, Planos anexo), ya que estas usualmente contienen considerables concentraciones de grasas y pueden entorpecer los procesos de tratamientos de las unidades posteriores.

Para el diseño de la trampa de grasa, se obtendrá el caudal de diseño según las especificaciones técnicas del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), el cual estipula:

$$Qd = 0.3 * \Sigma P^{1/2}$$

Dónde:

- Qd = Caudal de diseño para trampas de grasas.
- $\Sigma P$  = Suma de todas las unidades de gastos a ser atendidas por la trampa de grasa

El área de limpieza de carnes cuenta con un área de lavado, con un grifo. Según el CEPIS, la unidad de gasto para cada grifo es 2.

$$\Sigma P = 2$$

$$Qd = 0.3 * 2^{1/2} = 0.42 \text{ lts/seg}$$

$$Qd = 25.2 \text{ Lts/min}$$

Para un tiempo de retención (TRH) de 10 min (recomendado en este tipo de unidad), nos da un volumen:

$$Vol = Qd * TRH$$

$$Vol = 25.2 * 10 \text{ min}$$

$$Vol = 25.2 \frac{\text{lts}}{\text{min}} * 10 \text{ min} = 252 \text{ lts}$$

$$Vol = 0.252 \text{ m}^3$$

Para una profundidad recomendada por el INAPA de 0.90m, nos da un área:

$$A = V / Prof$$

$$A = 0.252 \text{ m}^3 / 0.90 \text{ m}$$

$$A = 0.280 \text{ m}^2$$

**Usar trapa de grasa de 0.40 x 0.80 x 0.90 mts.**

### 5.2.2. Diseño de las Unidades Complementarias

Los datos generales de partida utilizados para el diseño de las unidades complementarias de tratamiento, son los siguientes:

El caudal medio de aguas residuales del hotel se obtuvo de la sumatoria de los caudales de aporte de las tres zonas anteriormente descritas:

- ❖ Caudal Zona I = 138,523.00 lts/día
- ❖ Caudal Zona II = 58,835.00 lts/día
- ❖ Caudal Zona III = 41,012.50 lts/día

$Q_{AR (med)} = \text{Caudal medio de aguas residuales.}$

$$Q_{AR (med)} = (138,523.00 + 58,835.00 + 41,012.50) \text{ lts/día} / 86400 \text{ seg}$$

$$Q_{AR (med)} = 2.76 \text{ Lts/seg}$$

El caudal medio de aguas residuales será el caudal de diseño ( $Q_{\text{Diseño}}$ ) de las unidades de tratamiento, exceptuando aquellas donde se especifique lo contrario.

$$Q_{AR (med)} = Q_{\text{Diseño}}$$

$$Q_{\text{(diseño)}} = 2.76 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} = 238.46 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

*Tabla 15: Parámetros físicos-químicos y microbiológicos del agua residual.*

<b>Parámetros Físico-Químico y Microbiológicos del Agua Residual</b>	
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	214.00
SS (mg/l)	268.00
Fosforo total (mg/l)	6.83
Nitrógeno total (mg/l)	9
PH	6.22

*Concentraciones promedios obtenidas en base a la caracterización de las aguas residuales del Hotel CoopMarena.*

### 5.2.2.1. Cálculo del sedimentador primario.

Debido a que la concentración media de sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales del hotel supera los 200 mg/l, se requerirá de un sedimentador primario previo al tanque de aireación, para la optimización del tratamiento.

*Tabla 16: datos para el diseño del sedimentador primario.*

<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caudal de Diseño (Q)	238.46	M <sup>3</sup> /día
Velocidad de Sedimentación (Vs)	30.00	m/s
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	1.50	Horas

### Calculo del área del sedimentador

$$A = Q/V_s$$

$$A = \frac{238.46 \text{ m}^3/\text{d}}{30 \text{ m/s}}$$

$$A = 7.95 \text{ m}^2$$

### Calculo del volumen

$$\text{Vol} = Q * TRH$$

$$\text{Vol} = (238.46 \text{ m}^3/\text{d}) * (1.5 \text{ h} / 1 \text{ d} / 24 \text{ h})$$

$$\text{Vol} = 14.90 \text{ m}^3$$

### Calculo de la profundidad

$$\text{Prof} = \text{Vol}/A$$

$$\text{Prof} = 14.90 \text{ m}^3 / 7.95 \text{ m}^2$$

$$\text{Prof} = 1.88 \text{ m}$$

**Usar sedimentador rectangular (2.65 X 3.00 X 1.88) m**

Tabla 17: Remoción de contaminantes del sistema de lodos activados.

Parámetro	Concentración influente (mg/l)	%Remoción	Concentración efluente (mg/l)
DBO	214	20	171.20
SS	268	58	112.56
P Total	6.83	20	5.46
N Total	9	15	7.65

**Nota:** Las eficiencias de remoción fueron suministradas por la norma del INAPA.

### 5.2.2.2. Calculo del Reactor de Lodos Activados (Mezcla completa).

Tabla 18: Datos de partida para cálculo del reactor de lodos activados.

Datos de partida		
Caudal AR	0.0028	m3/seg
Caudal AR	2.76	L/seg.
Caudal AR	238.46	m3/día

DBOi	171.20	mg/l
DBOe	20.00	mg/l
SSe	20.00	mg/l
Temp. (AR)	27.00	°C

*Tabla 19: Suposiciones de diseño.*

Suposiciones de Diseño	Ud	
$\theta_c$	10	días
SSVLM	3500	mg/l
SST	10000	mg/l
Y	0.60	mgssv/mgDBO
Kd	0.06	d <sup>-1</sup>
%SSVE	0.8	
SSVE	16	mg/l

Dónde:

- ❖  $\theta_c$  = Tiempo de retención celular.
- ❖ **SSVLM** = Sólidos suspendidos volátiles en el líquido de mezcla.
- ❖ **SST** = Sólidos suspendidos totales en líquido de mezcla.
- ❖ **Y** = Coeficiente cinético.
- ❖ **Kd** = coeficiente de descomposición endógena.
- ❖ **SSVE** = Sólidos suspendidos volátiles en el efluente.

*Datos obtenidos de (Metcalf & Eddy, 1996) para reactores de mezcla completa.*

**Calculo de la DBO soluble del efluente del efluente**

$$S_e = (DBO_e - 0.63 * SSe)$$

$$S_e = 20 \text{ mg/l} - 0.63 * 20 \text{ mg/l}$$

$$S_e = 7.4 \text{ mg/l} = S$$

**Calculo del volumen del reactor**

$$** V = [YQ \theta_c (S_0 - S) / (1 + K_d \theta_c)] / X$$

Sustituyendo con las unidades correspondientes:

$$V = [0.65 * 238.46 * 10 * (171 - 7.4) / (1 + 0.06 * 10)] / 3500$$

$$V = 41.85 \text{ m}^3$$

**Nota:** En las ecuaciones con (\*\*) no se les colocaran las unidades al momento de sustituir los valores de la variable, más si en la descripción de las mismas, esto solo para ayudar a una mejor comprensión.

**Masa de lodos producida:**

Producción observada:

$$Y_{obs} = Y / (1 + K_d \theta_c)$$

$$Y_{obs} = 0.65 / (1 + 0.06 * 10)$$

$$Y_{obs} = 0.375 \text{ (mgssv/mgDBO)}$$

Producción de lodos:

$$P_x = Y_{obs} * Q * (S_0 - S)$$

$$P_x = 0.375 \text{ (mgssv/mgDBO)} * 238.46 \text{ (m}^3/\text{d)} * (171.20 - 7.4) \text{ (mg/l)} * (1 \text{ m}^3/1000\text{L)}$$

$$P_x = 17.51 \text{ Kgssv/d}$$

Se supone que el 80% de los sólidos son volátiles, entonces la producción de sólidos totales es:

$$P_{xST} = 17.51 \text{ (Kgssv/d)} / 0.80$$

$$P_{xST} = 21.89 \text{ KgST/d}$$

**Calculo del tiempo de retención hidráulico (TRH):**

$$TRH = V / Q$$

$$TRH = 41.85 \text{ m}^3 / 238.46 \text{ (m}^3/\text{d)} = 0.18 \text{ días}$$

$$TRH = 4.15 \text{ horas (Valores entre 3-5 horas, Metcalf & Eddy, 1996) Cumple}$$

**Calculo del caudal de purga (Qw):**

$$Q_w = [(V * X / \theta_c) - X_e * Q_e] / X$$

$$Q_w = [(41.85 \text{ m}^3 * 3500 \text{ (mg/l)} / 10 \text{ d)} - 16 \text{ mg/l} * 238.46 \text{ m}^3/\text{d}] / 3500 \text{ mg/l}$$

$$Q_w = 3.09 \text{ m}^3/\text{d}$$

**Calculo del caudal de recirculación (Qr):**

$$3500(Q + Q_r) = 10000Q_r$$

Despejando:

$$Q_r / Q = 0.78$$

Entonces:

$$Q_r = 238.46 \text{ m}^3/\text{día} * 0.78$$

$$Q_r = 186.00 \text{ m}^3/\text{d}$$

**Calculo del sistema de bombeo:**

$$P = Q_b * TDH / 75 * E$$

Donde:

- ❖ P = potencia de la bomba en (HP)
- ❖ Q<sub>b</sub> = Caudal a bombear (l/s)
- ❖ TDH = altura dinámica total a bombear (M)
- ❖ E = Eficiencia del equipo de bombeo (40-60%)

$$TDH = PS + H_f + P_0$$

Dónde:

- ❖ PS = Profundidad tubería de succión = 3.25 mt
- ❖ H<sub>f</sub> = perdidas por fricción en tuberías = 2.5 mt (asumido)
- ❖ P<sub>0</sub> = presión de llegada = 5 mt (Asumido)

$$TDH = 10.75 \text{ mt}$$

Por seguridad aumentar el TDH un 5%:

$$TDH = 10.75 * 1.05 = 11.30 \text{ m}$$

Calculo del caudal de bombeo, para seguridad multiplicamos el caudal de recirculación por 2:

$$Q_b = 2 * Q_r = 2 * 186.00 \text{ m}^3/\text{d} = 372.00 \text{ m}^3/\text{d} = 4.30 \text{ l/seg}$$

Sustituyendo:

$$P = 4.30 * 11.30 \text{ m} / 0.40 * 73$$

$$P = 1.66 \text{ HP} = 2 \text{ HP}$$

**Para la recirculación de lodos, usar bomba inatacable de 2 HP**

**Calculo de la relación alimento/microorganismos (A/M)**

$$A/M = (S_0/TRH * X)$$

$$A/M = (171.20 \text{ mg/l}) / (0.18 \text{ día} * 3500 \text{ mg/l})$$

$$A/M = 0.28 \text{ mgDBO/mgSSVLM} * d$$

(Valores entre 0.2-0.6 mgDBO/mg SSVLM\*d, Metcalf & Eddy, 1996) **Cumple**

**Calculo de Carga Volumétrica (CV)**

$$CV = Q * S_0 / V$$

$$CV = 238.46 \text{ m}^3/\text{día} * (139 \text{ (mg/l)})(1 \text{ m}^3/1000 \text{ l})/41.85 \text{ m}^3$$

$$CV = 0.98 \text{ mgDBO aplicada/m}^3$$

(Valores entre 0.8-1.92 mgDBOaplicada/m<sup>3</sup>, Metcalf & Eddy, 1996) **Cumple**

**Cantidad de oxígeno requerido en la demanda de DBO carbonosa última**

$$DBOL_{utilizada} = Q * (S_0 - S) / fx$$

$$DBOL_{utilizada} = 238.46 \text{ m}^3/\text{día} * (171.20 - 7.4) \text{ (mg/l)}(1 \text{ m}^3/1000 \text{ l})/0.68$$

Donde fx es un coeficiente tabulado

$$DBOL_{utilizada} = 57.44 \text{ kg/día}$$

$$Do = 57.44 * 1.15 \text{ (por seguridad)}$$

$$Do = 66.06 \text{ kgO}_2/\text{día}$$

**Calculo de cantidad de aire necesario**

$$Q_{aire} = Do / (0.232 * 1.20)$$

$$Q_{aire} = (66.06 \text{ kgO}_2/\text{día}) / (0.232 * 1.20)$$

$$Q_{aire} = 237.27 \text{ m}^3/\text{día}$$

Asumir un 8% de transferencia de oxígeno para Qaire real, entonces:

$$Q_{aire} = 237.27 \text{ (m}^3/\text{día}) / 0.08$$

$$Q_{aire} = 2965.97 \text{ m}^3/\text{día}$$

### Calculo del volumen de aire requerido por unidad

$$V_{req} = Q_{aire}/Q_{DBO}$$

$$V_{req} = 2965.97 \text{ (m}^3/\text{día)} * 1000\text{l}/(171.20\text{mg/l} * 0.0025\text{m}^3/\text{seg} * 86400\text{seg})$$

$$V_{req} = 71.61 \text{ m}^3\text{O}_2/\text{kgDBO}$$

### Calculo del sistema de aireación.

Para el suministro de aire del reactor se utilizaran difusores de aire de burbujas finas. El oxígeno será suministrado por un soplador.

### Calculo del rendimiento de un difusor:

$$N = N_0 * \alpha (1.024)^{(T - 20)} [\beta CS(TA) - CL] / CS(20,0)$$

Tabla 20: Datos asumidos para el cálculo del rendimiento del difusor.

Datos asumidos		UD
N0	1.6	KgO2/Kw.h
$\beta$	1	AD
$\alpha$	0.82	AD
CL	1.5	mg/l
T	27	°C
H	6	msnm
CS(20,0)	9.17	mg/l
CS(T,0)	8.6	mg/l
CS(TA)	8.59	mg/l

Dónde:

- ❖ **N**: Transferencia de oxígeno en condiciones reales del campo, kg O2/Kw.h
- ❖ **N0**: Transferencia en agua a 20 °C y concentración nula de oxígeno disuelto.

- ❖  $\beta$ : Factor de corrección de salinidad-tensión superficial.
- ❖ **CS (TA)**: Concentración de saturación de oxígeno, a una altura y temperatura dada.
- ❖ **CS (20,0)**: Concentración de saturación de oxígeno en el agua a 20 °C.
- ❖ **CS (T,0)**: Concentración de saturación de oxígeno en el agua a una temperatura dada a nivel del mar.
- ❖ **CL**: Concentración de oxígeno de funcionamiento.
- ❖ **T**: Temperatura
- ❖ **H**: altura a partir del nivel de mar.
- ❖  $\alpha$ : Factor de corrección de transferencia de oxígeno en el agua residual.

**Nota:** la mayor parte de estas variables están tabuladas en los libros de textos y dependen de las características y condiciones de trabajo de los difusores.

Para el caso de **CS (TA)** esta se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CS(TA) = CS(T, 0) * (1 - H/9450)$$

$$CS(TA) = 8.6(mg/l) * (1 - (6m/9450))$$

$$CS(TA) = 8.59mg/l$$

Sustituyendo cada valor con sus unidades correspondientes, en la ecuación general de N:

$$N = 1.6kgO2/Kw.h * 0.82 * (1.024)^{(27 - 20)(^{\circ}C)} [(1 * 8.59mg/l - 1.5mg/l)/9.17mg/l]$$

$$N = 1.20KgO2/kw.h$$

#### **Calculo del número de difusores necesarios**

$$ND = Do/N$$

$$ND = (66.06 kgO2/día/24h) * 1.20(kgO2/Kw.h)$$

$$ND = 3.00 Ud ; \text{ usar 5 difusores por seguridad}$$

#### **Calculo del flujo de aire y potencia del soplador**

Caudal de aire del soplador (Qa):

$$Qa = No/E * CO * WA$$

Dónde:

- ❖ **E**: eficiencia de transferencia estándar
- ❖ **CO**: Concentración de oxígeno en el aire.
- ❖ **WA**: peso volumétrico del aire.

Sustituyendo en la ecuación:

$$Qa = (1.6 \text{ kgO}_2/\text{KW} \cdot \text{h}) * (1\text{h}/60\text{min})/0.14 * 0.232(\text{kgO}_2/\text{Kg aire}) * 1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$Qa = 0.68 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Qa = 0.015 \text{ m}^3/\text{seg}$$

### **Potencia del soplador**

$$Pw = WRT/Ca * E[(P2/P1)^{0.283} - 1]$$

Dónde:

- ❖ **Pw:** Es la potencia requerida por el soplador. (Kw)
- ❖ **W:** Caudal del aire en peso. (9.15 kg/seg)
- ❖ **R:** Constante universal de los gases. (8.31 Kj/k-mol °K)
- ❖ **T0:** Temperatura absoluta del aire en grados Kelvin (°K).
- ❖ **E:** Eficiencia del soplador (%)
- ❖ **Ca:** constante del aire (8.41 Kg/k-mol)
- ❖ **P1:** Presión de entrada (atm)
- ❖ **P2:** presión de salida (atm)

### **Calculo de P2:**

$$P1 = 1 \text{ atm (por la proximidad del lugar al mar)}$$

$$P2 = 1 \text{ atm} + \text{Sumergencia del difusor} + \text{Perdidas en tubería}$$

Despreciamos las perdidas y el difusor estará con una presión de sumergencia de

$$3.05 \text{ mca} = 0.304 \text{ atm}$$

$$P2 = 1 \text{ atm} + 0.304 \text{ atm}$$

$$P2 = 1.304 \text{ atm}$$

Sustituyendo en la ecuación de potencia:

$$** Pw = [(0.018 * 8.314 * 300)/(29.7 * 0.283 * 0.70)] * ((1.304/1)^{0.283} - 1)$$

$$Pw = 0.59 \text{ Kw} = 0.80 \text{ HP}$$

$$\text{Nivel de potencia} = Pw/V$$

$$\text{Nivel de potencia} = 0.014 \text{ Kw}/\text{m}^3$$

### 5.2.2.3. Cálculo del sedimentador secundario.

Tabla 21: Parámetros de diseño para cálculo del sedimentador secundario.

<b>Caudal de Diseño (Q)</b>	<b>238.46</b>	<b>M3/día</b>
Velocidad de Sedimentación (Vs)	20	m/s
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	2.0	Horas

#### Calculo del área del sedimentador

$$A = Q/Vs$$

$$A = (238.46 \text{ m}^3/d)/(20\text{m/s})$$

$$A = 11.92 \text{ m}^2$$

Usar sedimentador de forma cuadrada: Lados = 3.45mt

#### Calculo del volumen

$$V = Q \times TRH$$

$$V = (238.46 \text{ m}^3/d) * (2.0\text{h}/1\text{d}/24\text{h})$$

$$V = 19.87 \text{ m}^3$$

#### Calculo de la profundidad

$$prof = V/A$$

$$Prof = (19.44 \text{ m}^3)/(11.66\text{m}^2)$$

$$Prof = 1.67\text{m}$$

Remoción de contaminantes del sistema de lodos activados (Reactor + Sedimentador Secundario):

Tabla 22: Remoción de contaminantes del sistema de lodos activados.

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración influente (mg/l)</b>	<b>%Remoción</b>	<b>Concentración efluente (mg/l)</b>
DBO5	171.20	95	8.56
SS	112.56	90	11.26
P Total	5.46	40	3.28
N Total	7.65	40	4.59

Las eficiencias de remoción fueron suministradas por la norma del INAPA y la ficha técnica de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Chile).

#### 5.2.2.4. Diseño del lecho de secado

El lecho de secado solo se utilizara en casos de emergencia. Ya que los lodos producidos en el sedimentador primario pueden ser extraídos por medio de camiones cisternas para darles un tratamiento adecuado fuera del complejo turístico. Tal y como se hace con los sépticos.

Tabla 23: Área necesaria para el tipo de lodo.

Tipo de lodo	Área necesaria (kg/m <sup>2</sup> /año)	Por personas (m <sup>2</sup> /1000personas)
Primario y fango activado en exceso	58-98	0.175-0.25

Fuente: Metcalf & Eddy (1995)

Según el diseño del sistema de lodos activados, se obtuvo una producción de lodos seco de:

$$21.87 \text{ kg lodo/día}$$

Calculamos la producción de lodos por año, tomando en cuenta un estimado de días al año en el que el hotel está en pleno servicio. Asumimos 3 días a la semana por todo un año, esto nos da; 144 días.

$$Px(\text{anual}) = 144\text{días} * 21.87\text{Kg lodo/día}$$

$$Px(\text{anual}) = 3149.28 \text{ kglodo/año}$$

Calculo del área necesaria del lecho de secado:

$$A(\text{nec}) = \frac{3149.28 \text{ kglodo/año}}{134 \text{ kg/m}^2/\text{año}}$$

$$A(\text{nec}) = 23.50 \text{ m}^2$$

Usar un lecho de secado rectangular de: 4 m x 6

Cuadro 5: especificaciones de diseño del lecho de secado.

Especificaciones de Diseño	
Altura sobre arena	0.9 m
Diámetro tubería	0.10 m

Drenaje principal	0.10 m
Pendiente tubería drenaje principal	2%
Espesor de grava	20-46 cm.
Tamaño grava	3-25 mm
Profundidad de arena	20-46 cm.
Tamaño efectivo arena	0.03-0.75 mm
Coefficiente uniformidad arena	< 4
Ancho del lecho	7.0 m
Longitud del lecho	< 0.60
Placa salpicamiento	0.90 x 0.9 x 0.1 m

### 5.2.2.5. Diseño Cárcamo de bombeo

#### **Calculo del caudal de bombeo de aguas residuales (Qb):**

Como factor de seguridad para obtener el caudal de bombeo se multiplica el caudal medio de aguas residuales por 3.

$$Qb = 3 * Qmed$$

$$Qb = 3 * 2.76 \text{ (l/seg)}$$

$$Qb = 8.28 \text{ l/seg}$$

#### **Calculo del caudal mínimo de aguas residuales (Qmin):**

El caudal mínimo de aguas residuales teóricamente puede determinarse con la multiplicación del caudal medio por un factor de 0.5.

$$Qmin = 0.5 * Qmed$$

$$Qmin = 0.5 * 2.76 \text{ (l/seg)}$$

$$Qmin = 1.38 \text{ l/seg}$$

#### **Calculo del diámetro de la tubería de impulsión (por Bresse):**

$$D = 1.17 * Qb^{1/2}$$

Dónde:

- $D = \text{Diámetro de la tubería de impulsión (m)}$

$$D = 1.17 * [0.0083 \text{ (m}^3\text{/seg)}]^{1/2} = 0.106 \text{ m}$$

$$D = 4''$$

Usar una tubería de 4" PVC SDR-26 (Junta de goma)

**Calculo del volumen útil del cárcamo (V(útil)):**

$$V(\text{útil}) = TRH * Q_{med}$$

Dónde:

- *TRH = 15 min según las normas de diseño del INAPA para cárcamos de bombeo de aguas residuales.*

$$V(\text{útil}) = 15(\text{min}) * 2.76(\text{l}/\text{seg}) * 60(\text{seg}) / 1(\text{min}) = 2,484 \text{ lt}$$

Se escoge una profundidad de 1.50m

El área del cárcamo será:

$$A = 1.67 \text{ m}^2$$

Usar cárcamo cuadrado de: L = 1.40m

**Dimensiones del Cárcamo:**

1.40m x 1.40m x 1.50m de profundidad

Se reajusta el volumen y el área:

$$V = 2880 \text{ m}^3$$

$$A = 1.92 \text{ m}^2$$

**Calculo del tiempo máximo de retención:**

$$T_{max} = V / Q_{min} = (2880 \text{ lt} / 1.38 \text{ seg}) / 60 \text{ seg}$$

$$T_{max} = 35 \text{ min} < 45 \text{ min ok}$$

**Calculo del sistema de bombeo**

Para el cálculo de este sistema de bombeo se utiliza el mismo procedimiento que el sistema de bombeo para la recirculación de lodos (ver acápite 6.2.2.7).

Con los siguientes valores:

$$Q_b = 8.28 \text{ l}/\text{seg}$$

$$TDH = 8.10 \text{ m}$$

$$P = 2.5 \text{ Hp}$$

A continuación se verifican que los valores del efluente final del nuevo sistema de tratamiento cumplan con lo estipulado por las normas ambientales de control de descarga:

Según la norma de calidad de agua y control de descarga del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los valores máximos permisibles para descarga al subsuelo son:

*Tabla 24: Valores máximos permisibles para descargar al subsuelo.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores Max. Permisibles por norma (mg/l)</b>	<b>Efluente (mg/l)</b>	<b>Condición</b>
<b>DBO5</b>	50	8.56	Cumple
<b>SS</b>	50	11.26	Cumple
<b>P total</b>	-	3.28	-
<b>N total</b>	-	4.59	-

Fuente: Norma de calidad de agua y control de descarga, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Según NOM-001-SEMARNAT (1996), valores máximos permisibles para preservar vida acuática:

*Tabla 25: Valores máximos permisibles para preservar la vida acuática.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores Max. Permisibles por norma (mg/l)</b>	<b>Efluente (mg/l)</b>	<b>Condición</b>
<i>DBO5</i>	30	8.56	<i>Cumple</i>
<i>SS</i>	40	11.26	<i>Cumple</i>
<i>P total</i>	5	3.28	<i>Cumple</i>
<i>N total</i>	15	4.59	<i>Cumple</i>

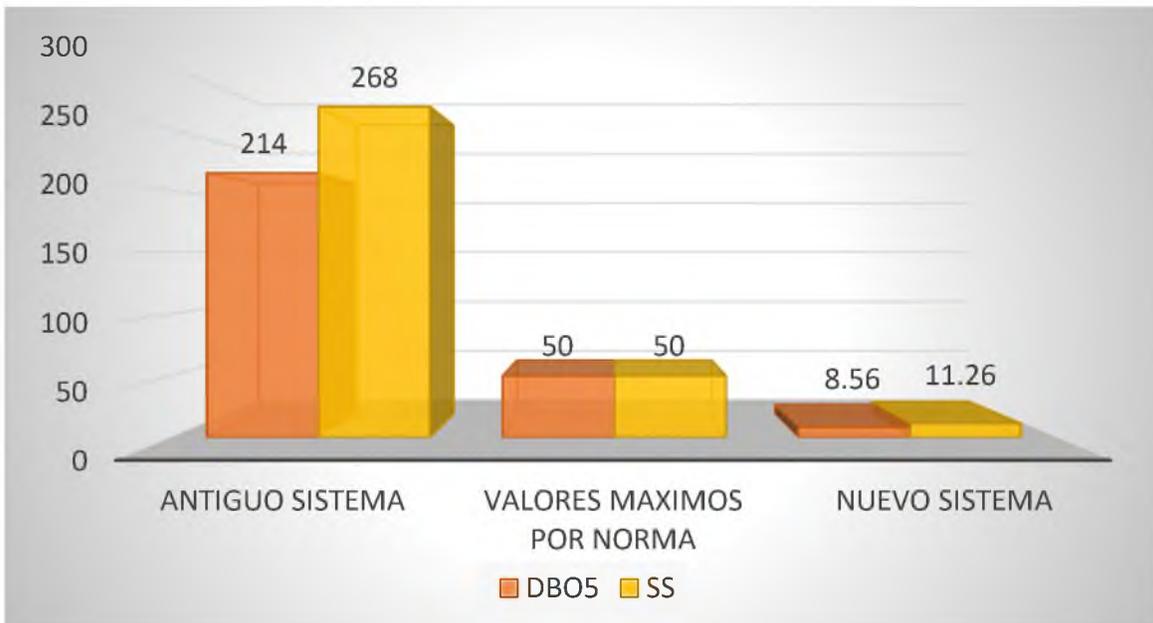
Como podrá verificarse, los parámetros del efluente de la planta de tratamiento propuesta, cumple de manera exitosa con la norma para descargas al subsuelo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y además con normas internacionales, en este caso con la norma de control de descargas de aguas residuales en bienes nacionales de México.

### 5.3. Disposición Final de las Aguas Residuales Tratadas.

Debido a la calidad del efluente, las aguas residuales tratadas pueden ser dispuestas al subsuelo por medio de pozos filtrantes. Estos pueden ser de características similares a los ya existentes (Ver descripción pozos filtrantes del sistema actual). Por otro lado y como se verá más adelante, se analizara si las características de este efluente son aptas para ser reutilizables.

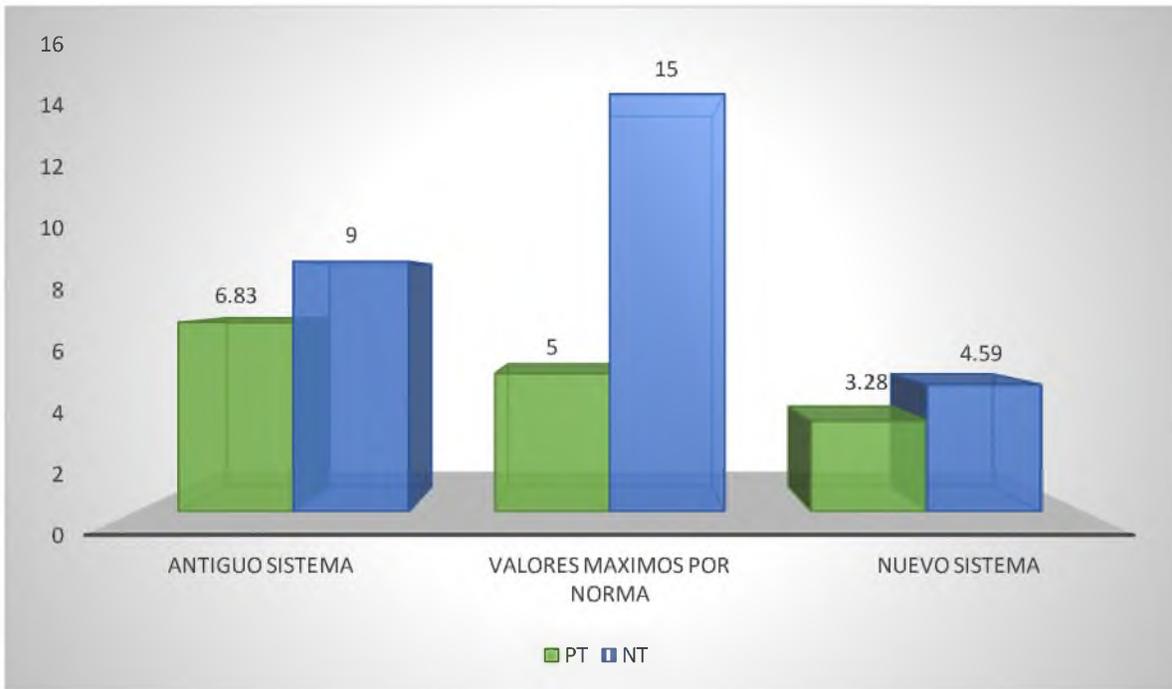
### 5.4. Comparación de los parámetros de calidad del antiguo sistema y del nuevo sistema propuesto

A continuación se toma como referencia los parámetros máximos permitidos por la norma de calidad de agua y control de descarga del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y se compara los valores del antiguo sistema y el nuevo sistema.



**Gráfico 1**

En caso de los nutrientes se utilizó la norma oficial mexicana Nom-001-SEMARNAT-1996:



**Gráfico 2**

Tanto los valores de DBO5 y SS superan en orden de hasta 4-5 veces los máximos requeridos por norma, lo que indica un alto grado de contaminación al cuerpo receptor de aguas subterráneas de la zona, mientras que con el nuevo sistema propuesto las concentraciones de estos dos contaminantes son de orden de 4-5.5 veces menores que los máximos requeridos por norma, (ver Gráfico 1).

En el caso de los nutrientes como fosforo total (PT) y nitrógeno total (NT), el escenario es menos crítico, los valores del nitrógeno del antiguo sistema son menores a los requeridos por la norma de referencia, excepto los del fosforo, pero con el nuevo sistema es controlable, (Ver gráfico 2).

## 5.5. Estimación de Costos

### 5.5.1. Unidades complementarias de tratamiento

#### 5.5.1.1. Preliminares

Son las actividades de adecuación del lugar donde se va a construir la planta de tratamiento. Entre dichas actividades se encuentran: limpieza del área, tarranchar, replanteo, excavación o movimiento de tierra.

Tabla 26: Presupuesto de preliminares.

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	total US\$
Limpieza	5	hr	65.00	325.00
Tarranchar	39	ml	0.65	25.35
Replanteo	45	m <sup>2</sup>	0.87	39.15
Extracción de capa vegetal	80	m <sup>3</sup>	1.52	121.60
Excavación	126	m <sup>3</sup>	5.55	699.30
<b>Total US\$</b>				<b>1,210.40</b>

#### 5.5.1.2. Obra gris + terminación.

Tipo de estructura: Mampostería confinada, Bloques de concreto de 8" de espesor, bastones Ø 3/8 "@ 0.40 cm con acero horizontal (serpentinado) cada 3 líneas, todos los huecos llenos.

Tabla 27: presupuesto de obra gris + terminación.

Concepto	Cantidad	Precio Unitario	Unidad	total US\$
Muros de mampostería reforzada 8"	106.5	24.08	m <sup>2</sup>	2,564.53
Viga de amarre + Columnas de Amarre (20x20) 4 Ø ½	4.6	420.62	m <sup>3</sup>	1,934.87
Losa de hormigón 15 cm	7.0	238.30	m <sup>3</sup>	1,668.11
Losa Cimentación	7.0	179.63	m <sup>3</sup>	1,257.42
Terminación Interna	115.0	6.28	m <sup>2</sup>	722.49
<b>Total US\$</b>				<b>8,147.42</b>

### 5.5.1.3. Colectores.

Tipo: Usar tubería Ø 8" PVC SDR-31 pendiente (S) de 0.002.

Este colector con esta pendiente puede manejar hasta 7 veces el caudal de diseño de la planta. Como 8" es el diámetro mínimo recomendado por la norma del INAPA, se usaran estas tuberías para las nuevas conducciones.

Tabla 28: Presupuesto de colectores.

Concepto	Cantidad	Precio Unitario	Unidad	total US\$
Colocación de tuberías Ø 8" 19'	172.64	10.94	ml	1888.72
Excavación	56.00	4.48	m <sup>3</sup>	251.12
<b>Total US\$</b>				<b>2,139.84</b>

### 5.5.1.4. Verja perimetral + piso de hormigón armado

Tabla 29: Presupuesto verja perimetral + piso de hormigón armado.

Concepto	Cantidad	Precio Unitario	Unidad	total US\$
Zapata Cont.	2.94	201.81	m <sup>3</sup>	593.32
Muro Blocks 6"	26.11	16.03	m <sup>2</sup>	418.57
Malla ciclónica	47.00	11.32	m <sup>2</sup>	531.89
Relleno de reposición (Caliche) con compactación manual.	40.00	14.08	m <sup>3</sup>	563.26
piso	7.01	174.66	m <sup>3</sup>	1224.40
<b>Total US\$</b>				<b>3,331.44</b>

### 5.5.1.5. Accesorios Especiales

Tabla 30: Presupuesto de accesorios especiales.

Accesorios	Valor Total US\$
Bomba de recirculación centrífuga inatacable de 2 HP de potencia 68 GPM	433.27
Difusores burbujas finas (Polipropileno reforzado)	173.31
Compresor de aire 1 HP de potencia y 0.70 m <sup>3</sup> aire/min	324.96
Carcamo de bombeo (con equipos)	4,579.29
Lecho de secado	1,733.10
Puerta verja perimetral (Malla ciclónica tubos de acero inoxidable)	433.28
Sistema eléctrico	866.55
Pozos filtrantes (8" x 50' PVC SDR-32.5)	5,112.65
Generador eléctrico (30Kw)	649.91
Sistema de paneles solares (300Watt)	2,274.70
Adquisición de solar (Juan Dolio, Av. Boulevard 200m <sup>2</sup> ) Precio estimado de mercado.	15,164.65
<b>Total US\$</b>	<b>31,745.67</b>

### 5.5.1.6. Total de estimación de costo

Tabla 31: Total de estimación de costo

Concepto	total US\$
Total costos	46,574.17
<b>Total general: Imprevisto (35%) + Total</b>	<b>69,162.63</b>

## **5.6. Uso Sostenible del Efluente del Nuevo Sistema de Tratamiento.**

En la actualidad la Republica Dominicana no cuenta con una guía, normativa o ley que regularice la reutilización de las aguas residuales en el país. Esto a pesar de que hay una cantidad considerable de proyectos, sobretodo en el ámbito turístico e industrial, que reciclan sus aguas residuales tratadas para contribuir con el ahorro de agua potable y promover una gestión sostenible en cuanto a las aguas residuales.

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales es el principal ente regulador de este tipo de proyectos de reutilización. La entidad pública o privada que presente el proyecto ante el ministerio deberá sustentar la viabilidad del mismo por medio de una descripción clara de sus características y sus cálculos correspondientes. Además de que los porcentajes de remoción de contaminantes deberán estar acorde con las normas internacionales avaladas por el ministerio, entre ellas están las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Panamericana de La Salud (OPS), normas de reutilización del CEPIS, las normas mexicanas, españolas, etc. Una vez que se compruebe la viabilidad técnica del proyecto, el mismo puede ser aprobado bajo ciertas recomendaciones por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

El principal objetivo en el tratamiento de las aguas residuales para su reutilización es la eliminación de agentes patógenos. Por ende las directrices de las normas de reutilización se expresan según el valor máximo de coliformes fecales (CF), permisibles en el efluente a reutilizar. Esto se debe a que no hay dudas del origen fecal de las aguas residuales y por lo tanto estos microorganismos pueden emplearse como indicadores de patogenicidad (OMS, 1995).

Por consiguiente la propuesta de reutilización del efluente del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales del Hotel CoopMarena, se basara en las directrices de la OMS, La Norma Oficial Mexicana Nom-003-SEMARNAT-1997 y algunos de los lineamientos del Real Decreto Español 1620/2007.

A continuación se escoge la Nom-003-SEMARNAT-1997 para verificar la calidad de reúso del efluente, ya que esta norma es la que posee de forma más clara los límites máximos de los parámetros analizados en este proyecto. A continuación se verifica si el efluente de la planta es apto para reutilización y en cuales áreas deberá ser destinado:

**Reusó en servicios al público con contacto directo:** Se refiere al agua reciclada que se destina a actividades donde el usuario entra en contacto directo con el agua. Dentro de las cuales se pueden citar; llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos de pequeñas embarcaciones, canoas, remos, lavado de vehículos y riego de parques. (Nom-003-SEMARNAT, 1997).

**Reusó en servicios al público con contacto indirecto u ocasional:** Se refiere al agua reciclada que se destina a actividades donde el usuario entra en contacto indirecto o accidental con el agua, ya que se restringe su uso. Dentro de las cuales se pueden citar; riego de jardines, y camellones en autopistas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de sistemas contra incendio, lagos artificiales si actividades recreativas, o de contacto de los usuarios. (Nom-003-SEMARNAT, 1997).

*Tabla 32: Valor máximo permisible y valor efluente del sistema de DBO<sub>5</sub> y SS por tipo de reusó.*

Parámetro	Valor Max. Permissible. (mg/l)	Valor del efluente del sistema. (mg/l)	Condición	Tipo de reusó
<b>DBO 5</b>	30	8.56	Cumple	Servicios al público con contacto indirecto u ocasional.
<b>SS</b>	30	11.26	Cumple	Servicios al público con contacto indirecto u ocasional.

Para la eliminación de los agentes patógenos deberá de utilizar la desinfección por lámparas de rayos UV, donde se eliminan el 99.99% de los patógenos presentes en el efluente, evitando de esta forma el uso de agentes químicos desinfectantes corrosivos que perjudiquen la calidad del afluente, sobre todo si este se utilizara para el regado de las áreas verdes del hotel. Las dimensiones del canal y longitud de la lámpara varían en función de los caudales y dosis de luz que se suministre al efluente de la planta.

Cabe destacar que la calidad del efluente también califica para uso de “servicios al público con contacto directo” que en cuya norma se restringe para este caso, con valores máximos de DBO5 y SS hasta 20 mg/l. Pero por el momento el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales prohíbe que las aguas residuales tratadas con fines de reúso entren en contacto directo con las personas. Por consiguiente la reutilización deberá ser siempre solo en contacto indirecto u ocasional.

Usos destinados del caudal de aguas residuales tratadas del hotel CoopMarena Beach Resort:

- ❖ Riego de áreas verdes del hotel.
- ❖ Descarga aparatos Sanitarios (inodoros).

Mediante el Real Decreto 1620/2007, Apéndice IA, también se ofrece la posibilidad de reúso de aguas residuales para los fines anteriormente descritos, pero aquí solo se limita a establecer máximos permisibles a parámetros como los SS, Nematodos, E-Coli y turbidez. Para este proyecto los parámetros a verificar serían los SS cuyo valor máximo por norma sería 20 mg/l y tenemos un 11.26 mg/l, por lo tanto cumple. Y los organismos patógenos serían eliminados por los rayos UV. Solo se tendría que verificar la turbidez del afluente para cumplir en totalidad con la norma española.

Por su parte, la resolución 1207 de 2014, por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de las aguas residuales tratadas. Expedido en Bogotá Colombia por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Considera que el reúso de agua residual constituye una solución ambientalmente amigable, capaz de reducir los impactos negativos asociados con la extracción y descarga a cuerpos de agua naturales. Según la anterior resolución las aguas residuales tratadas se podrán utilizar en los siguientes usos:

- ❖ Áreas verdes en parques y campos deportivos.
- ❖ Actividades de ornato y mantenimiento.

El reúso destinado en las áreas verdes resulta ser el uno de los menos complejos por la distribución del agua tratada por medio de sistemas de aspersores. Según la norma del INAPA (2012), el consumo de agua de las áreas verdes o jardines ronda los 2 lt/m<sup>2</sup>/día. Tomando en cuenta que el hotel cuenta con un área verde aproximada de 2010 m<sup>2</sup> (Dato tomado de los planos en conjunto), esto ofrece un

consumo de agua por mes de 120,600 lt/mes o 120.60 m<sup>3</sup>/mes que serían suministrados de manera continua por el sistema de reutilización.

En cuanto a la recarga de inodoros, según Expok 2012, se puede estimar un consumo de agua por descarga de 8 – 10 lt, si tomamos el promedio de 9 lt/descarga y asumimos unas 13 descargas por día en las habitaciones, esto nos ofrece un total de 117 lt/habitación/día, que para un total de 213 habitaciones serían 24,921 lt/día de consumo de agua por los inodoros. Como el hotel puede presentar usualmente una máxima ocupación de sus habitaciones unos 12 días al mes (cuatro fines de semana contando los viernes), este consumo se traduce a 299,052 lt/mes o 299.05 m<sup>3</sup>/mes que serían suministrados de manera continua por el sistema de reutilización.

Sumando el consumo de agua tratada en las áreas verdes e inodoros (de las habitaciones) tenemos un ahorro de 419,652 lt/mes o 412.65 m<sup>3</sup>/mes aproximadamente. Pero resulta que el consumo promedio mensual en meses de temporada alta puede ascender a unos 37,000 m<sup>3</sup>/mes (datos suministrados por el hotel), por lo tanto el ahorro en reutilización solo representaría un 1.11% del consumo total del hotel, esto se debe básicamente al tamaño propio del mismo, la cantidad de metros cuadrados de áreas verdes y cantidad de inodoros.

Debido al tamaño y envergadura de este Hotel, Se recomienda que en caso que se desee reutilizar las aguas residuales del mismo, este proceso se combine con una buena gestión de ahorro de agua potable, encaminada a reducir el consumo de agua mediante la implementación de aparatos sanitarios modernos, reducción de fugas, etc. esto para obtener un ahorro significativo de agua para consumo.

## VI. Recomendaciones

- ❖ En las circunstancias actuales, es necesario legislar sobre el reúso de aguas residuales, por lo tanto, se propone emitir una política o normativa específica sobre el uso de aguas residuales en campos como la agricultura, acuicultura, silvicultura, industria y otros el uso de las aguas residuales tratadas es importante en áreas con escasa precipitación pluvial, disminuir el consumo de agua potable y también con el objeto de proteger los cuerpos de agua superficiales y la contaminación al nivel freático.
- ❖ Deben de realizarse más estudios acerca de las condiciones que se encuentren otros hoteles turísticos en el país, ya que al igual que CoopMarena pueden presentarse mucho más casos de mala gestión de aguas residuales, lo cual sería una situación de alta gravedad nacional, poniendo en riesgo la salud humana y el medio ambiente.
- ❖ Urge la necesidad de crear guías de fácil entendimiento en cuanto a la gestión sostenible de las aguas residuales en los Pequeños, medianos y grandes hoteles a nivel nacional, para que no carezcan de conocimiento alguno a la hora de utilizar cualquier tipo de unidad de tratamiento, dándole especial atención a la disposición final de las aguas residuales y la calidad de estos efluentes.

## VII. Conclusión General

El actual sistema de tratamiento de aguas residuales del Hotel CoopMarena no se encuentra en condiciones satisfactorias de funcionamiento, esto se debe a que el hotel ha ido extendiendo su capacidad, y además las unidades de tratamiento se encuentran sometidas a caudales para los cuales no fueron diseñadas ni construidas, por lo que se aprecia una serie de ineficiencias de funcionamiento en las mismas.

Los resultados obtenidos del análisis de las aguas residuales del hotel, demuestran una grave ineficiencia de la unidad de tratamiento evaluada, la cual es la que presenta mejores condiciones de trabajo en cuanto a su diseño y construcción. Los valores de las concentraciones de contaminantes del efluente del séptico 2 se asemejan a los valores típicos de las aguas residuales domésticas (crudas), además los valores de la DBO5 y los SS superan de 4-5 veces los valores máximos permitidos por las normas ambientales del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

La planta de tratamiento y/o unidades complementarias diseñadas, proyectan altos porcentajes de eficiencia de más de un 90%, dando valores de concentraciones de contaminantes en el efluente de 5-6 veces menores a los valores máximos permitidos, por lo que el efluente además de cumplir satisfactoriamente con las normas nacionales e internacionales también puede ser reutilizado, y propiciar un uso sostenible de las aguas residuales en el hotel. Haciendo la salvedad, de que la reutilización de aguas residuales de este hotel deberá ir de la mano con una gestión adecuada en los sistemas de agua potable, para una reducción significativa en el consumo.

Para el reúso del efluente, deberán contemplar la eliminación de coliformes fecales y/o microorganismos patógenos, esto se puede solucionar con el uso de la tecnología de desinfección por rayos UV, la cual pueden llegar a tener eficiencias de remoción de más de un 90%, esto a fin de garantizar efluentes de buena calidad sanitaria que cumplan con las normas correspondientes. Cabe resaltar que en caso de que se presentasen contaminantes inorgánicos, esto por el origen subterráneo del agua consumida por el hotel, se pueden adicionar otras unidades de tratamiento para disminuir la presencia de estos.

Con el diseño del sistema de tratamiento planteado, se cumple con las normas de descargas de efluente, permitiendo que las aguas sean descargadas a subsuelo o que la mismas sean reutilizadas en las instalaciones hoteleras (sistema de riego de zonas verdes, riego de jardines, lavado de zonas comunes, patios, calle, aceras, recirculación y reúso en descarga de sanitarios, recarga de sistema contra incendio, etc.), en todos los casos de reúso se deben tener en cuenta las normas pertinentes de calidad de la entidad reguladora, permitiendo disminuir el consumo de agua potable y el costo de tratamiento para potabilizar el agua.

El lugar escogido para la construcción de la planta de tratamiento dentro de las instalaciones del hotel es el más adecuado debido a que esa zona es la más alejada de las principales áreas que visitan huéspedes, además constará con una malla para proteger que los huéspedes no accedan a esta zona y dicha protección estará cubierta de plantación de bambú, además de brindar un ambiente estético, purifica el aire absorbiendo los olores que la planta pueda desprender. (Garcidueñas, 2014).

Cabe destacar que en el país no existe una política o normativa que incentive a la reutilización de las aguas residuales ya tratada, por lo que este trabajo tuvo que auxiliarse de normas internacionales de países con condiciones similares a la República Dominicana.

Los entes de control tales como el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Ministerio de Turismo no están ni supervisando ni regulando el tratamiento y disposición final de las aguas residuales del Hotel Coopmarena Beach Resort.

## VIII. Bibliografía

- Caceres, P. (2011). *El mundo*. Obtenido de <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/06/28/natura/1309264942.html>
- Calderon, F. (2014). *Destinos turísticos en Mexico estan contaminados con sus atractivos naturales deteriorados*. Obtenido de Diversidad Ambiental: <http://www.diversidadambiental.org/medios/nota421.html>
- Decreto No. 818-03 que aprueba el reglamento del Funcionamiento de los Establecimientos Hoteleros. (2003). Santo Domingo, Distrito Nacional, Republica Dominicana.
- Diaz & Serrano, SF. (2005). Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta.
- Diaz, A. (s.f.). DETERMINACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DEL TURISMO EN EL LAGO SOCHAGOTA DE LA CIUDAD DE PAIPA. En *Diutama: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.Uptc.* .
- Economistas Dominicanos. (2008). *Economistas Dominicanos*. Obtenido de blog de word press.com.
- Economistas Dominicanos. (2008). *Economistas Dominicanos*. Obtenido de blog de word press.com: <https://economistadominicano.wordpress.com/tag/juan-dolio/>
- el economista. (2015). *El economista*. Obtenido de <http://www.eleconomista.com.mx/entretenimiento/2015/11/25/agua-vital-sector-turistico>
- Garcidueñas, P. (2014). *¿Sabes cuanta agua consumes diariamente?* Obtenido de Expoknews web site: <http://www.expoknews.com/sabes-cuanta-agua-consumes-diariamente/>
- Guia Republica Dominicana . (2010). *Guia Republica Dominicana*. Obtenido de seccion turismo: <http://guiarepublicadominicana.com/turismo.html>
- Gutierrez, R. (2014). *El Economista*. Obtenido de <http://www.eleconomista.es/empresa-finanzas/agua-medioambiente/noticias/5756271/05/14/Espana-reutiliza-el-12-de-las-aguas-residuales-que-pasan-por-la-depuradores.html>
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, L. (2006). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. MEXICO D.F: Mc. Graw Hill.

Hosteltur. (2016). Obtenido de [http://www.hosteltur.com.do/114470\\_trece-playas-puerto-rico-no-son-aptas-bano-exceso-bacterias.html](http://www.hosteltur.com.do/114470_trece-playas-puerto-rico-no-son-aptas-bano-exceso-bacterias.html)

Inapa. (2012). *Normas Tecnicas para el Diseño de Obras e Instalaciones Hidraulica y Sanitarias*. Santo Domingo.

Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2000). En *Ley 64-00*. Santo Domingo, Republica Dominicana.

LLado, J. (2010). *Diario Libre*. Obtenido de <http://www.diariolibre.com/noticias/turismo-y-deuda-ambiental-CJDL239290>

*Marketing Estrategico*. (Febrero de 2011). Obtenido de Historia del Turismo en republica Dominicana .

Metcalf & Eddy. (1996). *Ingenieria de Aguas Residuales Tratamiento Vertido y Reutilización*. Madrid : McGraw-Hill.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). Norma Ambiental sobre Calidad del Agua y Control de Descargas. En M. d. Naturales, *Norma Ambiental sobre Calidad del Agua y Control de Descargas*. Santo Domingo, Republica Dominicana.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). Norma Ambiental sobre Calidad del Agua y Control de Descargas. En *Norma Ambiental sobre Calidad del Agua y Control de Descargas*. Santo Domingo, Republica Dominicana.

Ministerio de Obra Pública y Comunicaciones. (2010). Reglamento para el Diseño y la construcción de Instalaciones Sanitarias en Edificaciones. *R-008 Decreto No. 572-10*. Santo Domingo, Republica Dominicana.

Ministerio de Turismo (MITUR). (2011). Requerimientos para el Sometimiento de Diseños Hidraulicos. . Santo Domingo .

Ministerio de Salud Publica de Guatemala. (2011). *Guia de Normas para la Disposición Final de Excretas y Aguas Residuales en zonas rurales de Guatemala*. . Guatemala.

Peguero, C. (2011). *EL Periodismo con sentido*. Obtenido de <http://www.elperiodismoconsentido.blogspot.com.2011/04/contaminacion-del-rio-higuamo-en-spm.html>

Romero, J. (2005). *Laguna de Estabilización de Aguas Residuales*. Bogota, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Rosso, A. (2016). Juan Dolio se replantea como un polo con oferta complementaria de lujo. *Periodico Hoy* .

Tilley, Lüthi, Morel, Zurbrügg & Schertenleib. (2011). Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. Duebendorf, Suiza: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática.

Wright & Cairns. (1998). Desinfección del agua por medio de luz ultravioleta. *Simposio OPS: Calidad de agua: Desinfección Efectiva*. . Lima, Peru.

## IX. Anexos

### Análisis del laboratorio de calidad de agua residuales.



CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTO DOMINGO  
CAASD

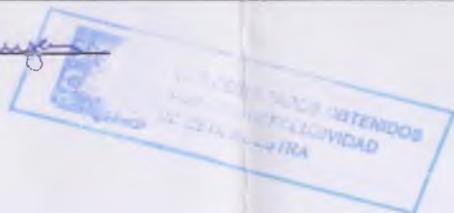
DIRECCION DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
DIVISION DE RESIDUOS LIQUIDOS

PROCEDENCIA SANTO DOMINGO, D. N.  
FECHA DE RECIBO 06 DE ABRIL 2016  
FECHA DE MUESTREO 06 DE ABRIL 2016

SOLICITADO POR VILMA PATRICIA SOTO  
RECOLECTADA POR JEAN C. QUEZADA  
FECHA DE ANALISIS 06 DE ABRIL 2016

LOCALIZACION	CODIGO	SOL. SUSPENDIDOS mg/L	PH	DBO5 (mg/L)	FOSFORO T. mg/L
MUESTRA #1, REGISTRO ENT. SEPTICO #1, HOTEL COOPMARENA, JUAN DOLIO	RL-16-04-01	352	6.36	301.67	4.5
MUESTRA #2, REGISTRO SAL. SEPTICO #1, HOTEL COOPMARENA, JUAN DOLIO	RL-16-04-02	212	6.24	181.62	5.5
MUESTRA #3, REGISTRO ENT. SEPTICO #1, HOTEL COOPMARENA, JUAN DOLIO	RL 16-04-03	440	5.98	251.4	9.0
MUESTRA #4, REGISTRO SAL. SEP.#1, HOTEL COOPMARENA, JUAN DOLIO	RL 16-04-04	272	6.30	189.20	6.5
MUESTRA #5, REGISTRO ENT. SEP.#1, HOTEL COOPMARENA, JUAN DOLIO	RL 16-04-05	310	6.47	233.7	6.0
MUESTRA #6, REGISTRO SAL. SEP#1, HOTEL COOPMARENA, JUAN DOLIO	RL 16-04-06	318	6.11	271.64	8.5

*[Firma]*  
INVESTIGADOR

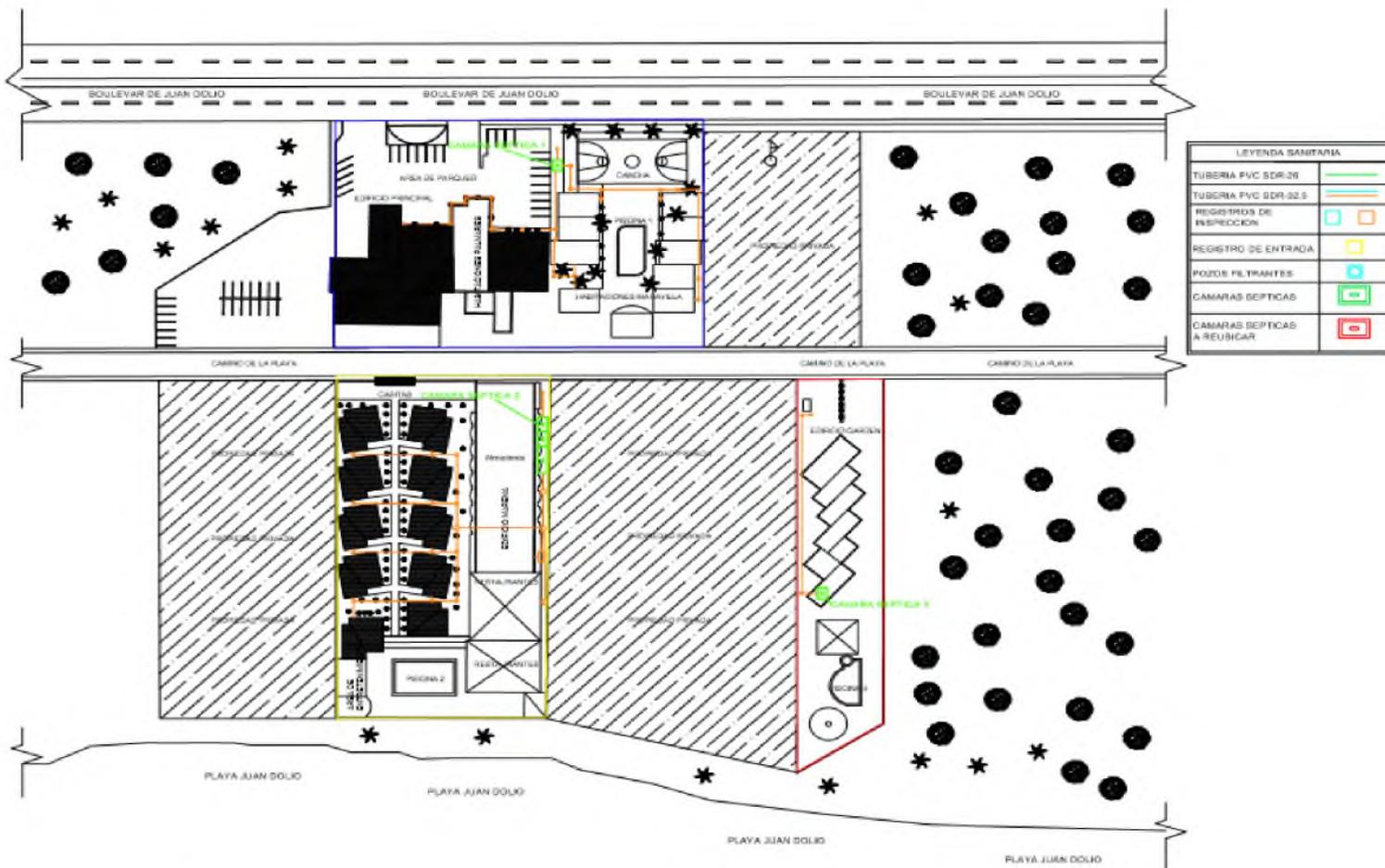


*[Firma]*  
DIRECTORA

Fotografías de la toma de muestra de las aguas residuales

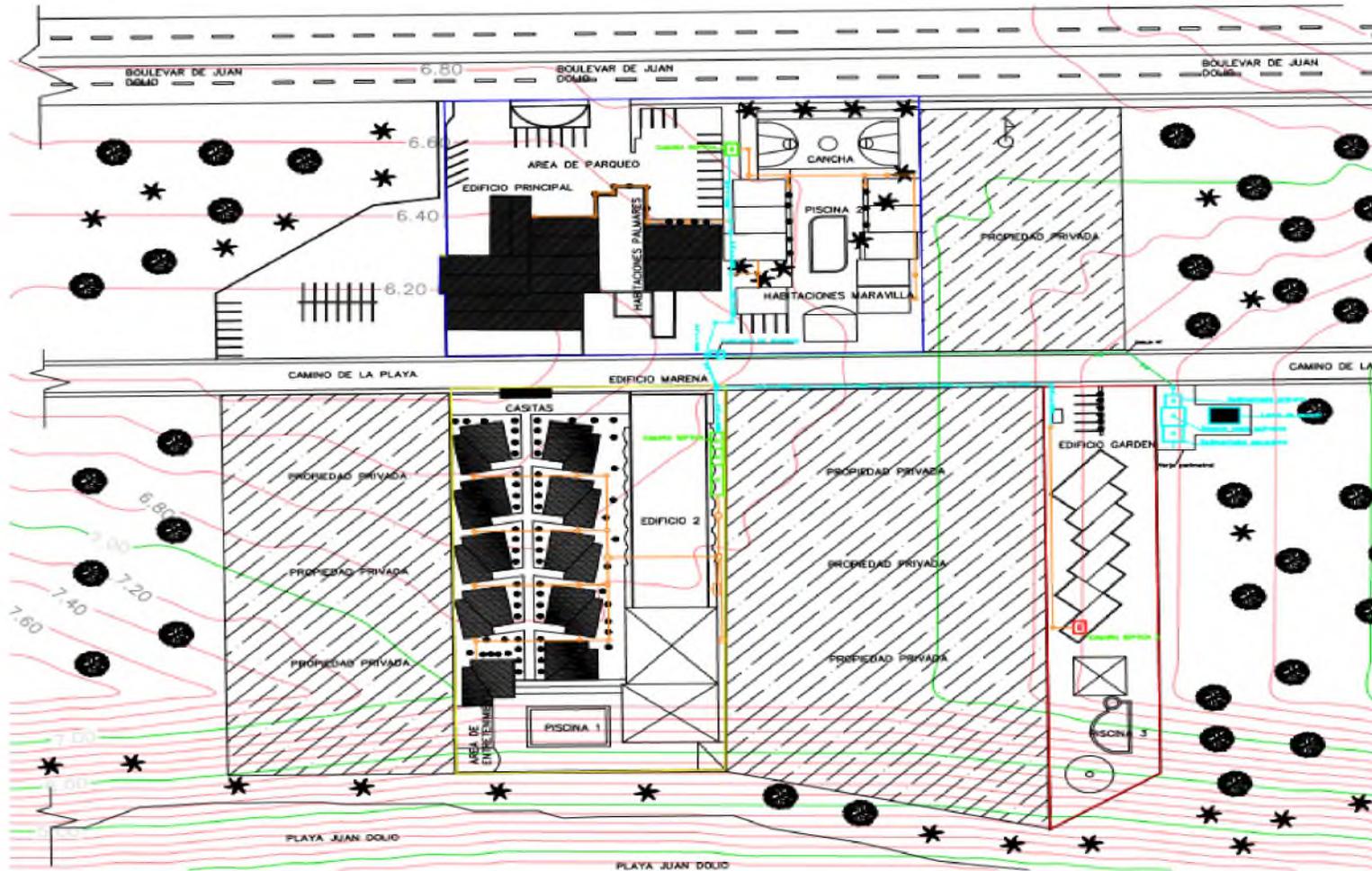


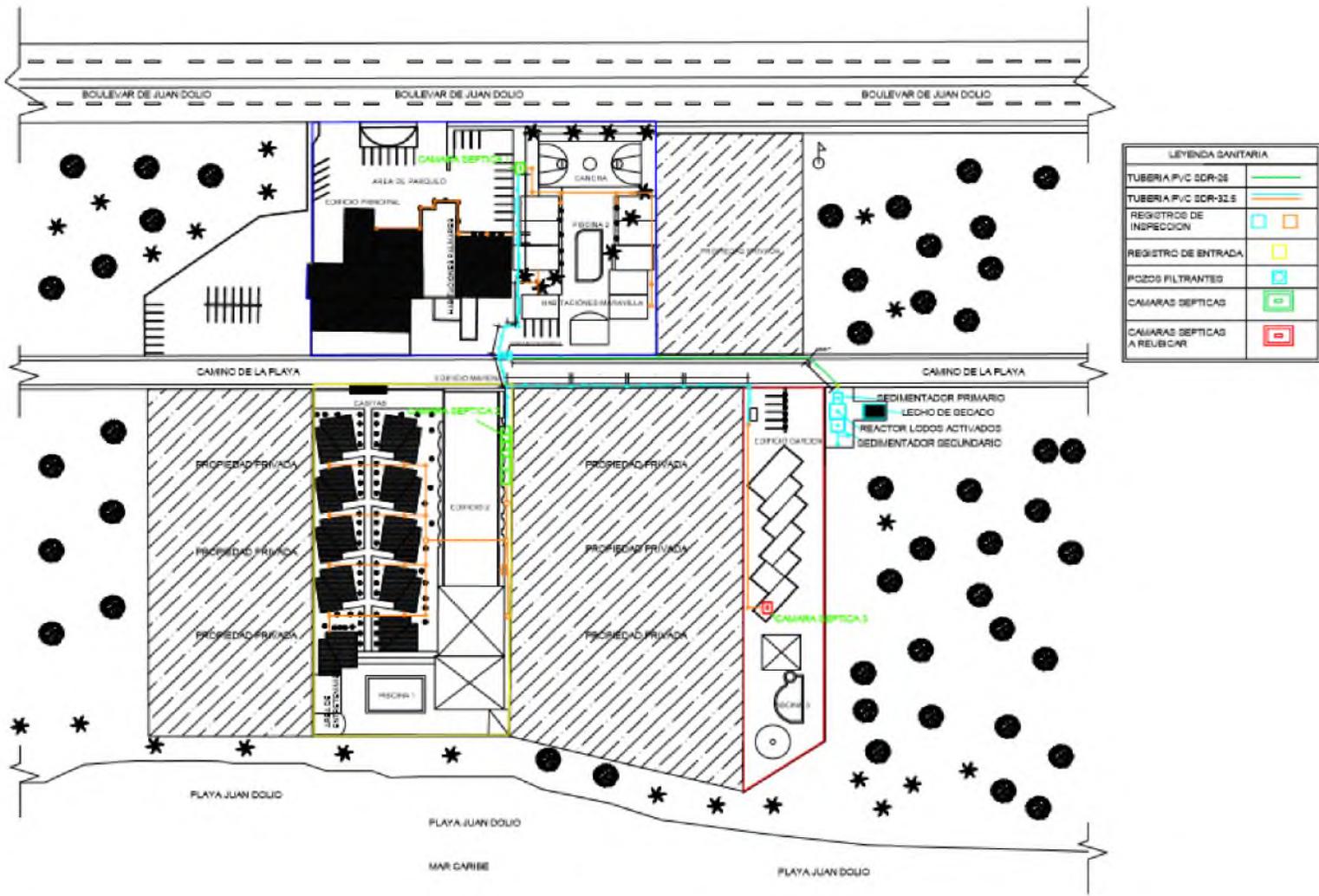
Planos técnicos:



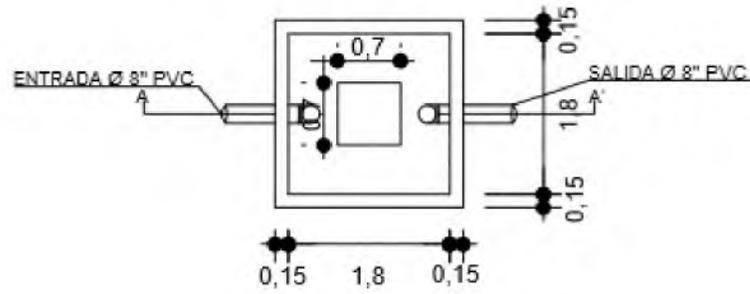
PLANTA EN CONJUNTO DEL HOTEL - ACTUAL SISTEMA DE RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

# Plano topográfico del complejo.

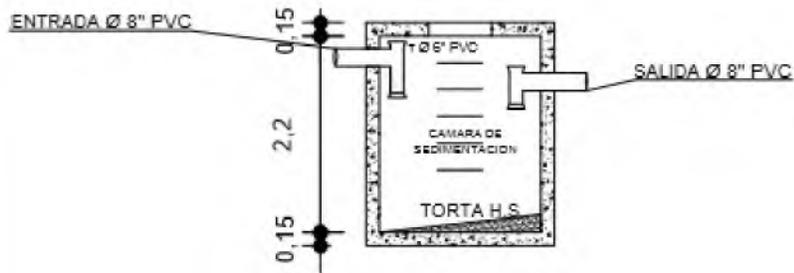




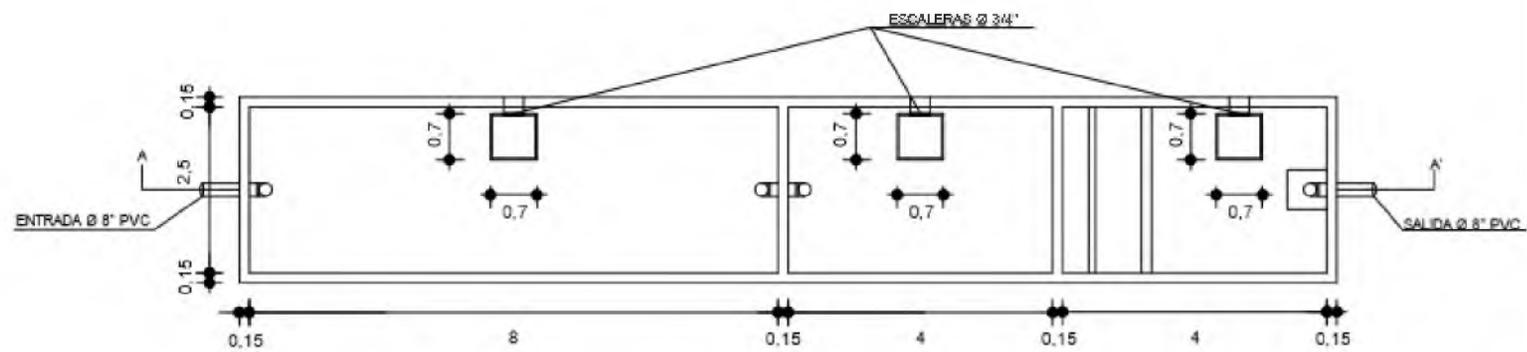
PLANTA EN CONJUNTO HOTEL - NUEVO SISTEMA DE RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



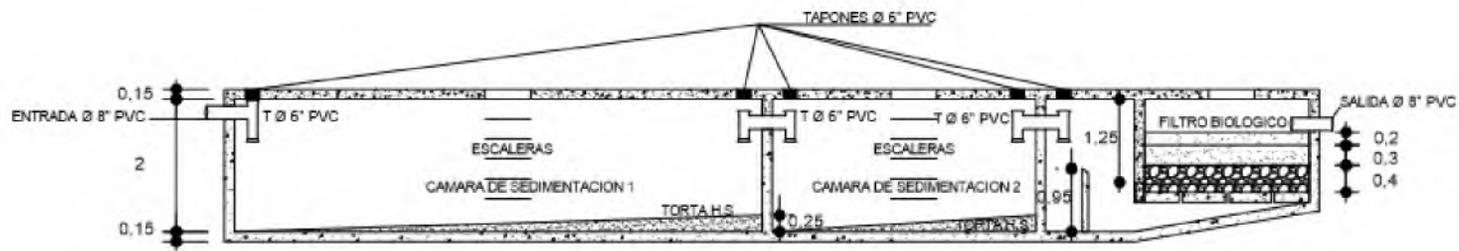
⊕ VISTA EN PLANTA SEPTICO 1  
NO ESC.



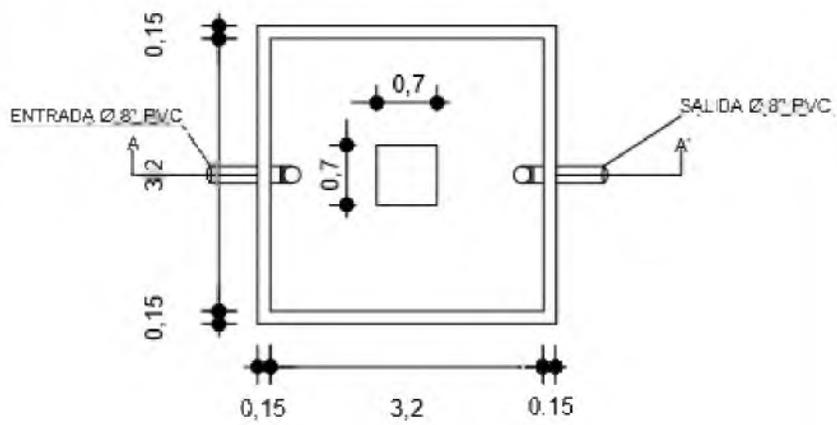
⊕ SECCION A-A' SEPTICO 1  
NO ESC.



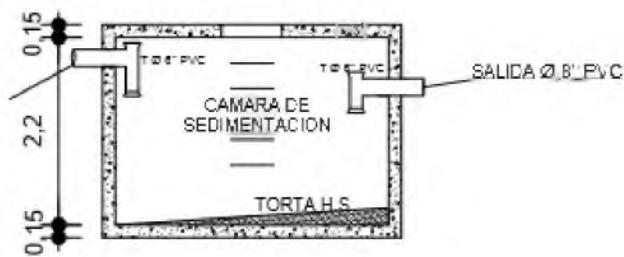
VISTA EN PLANTA SEPTICO 2  
NO ESC



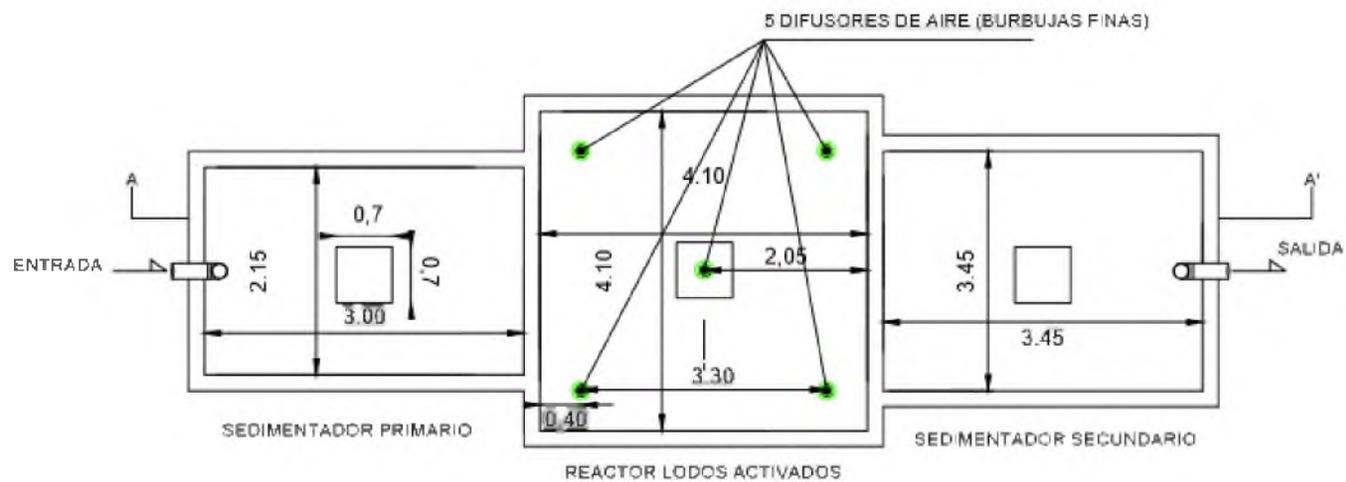
SECCION A-A' SEPTICO 2  
NO ESC.



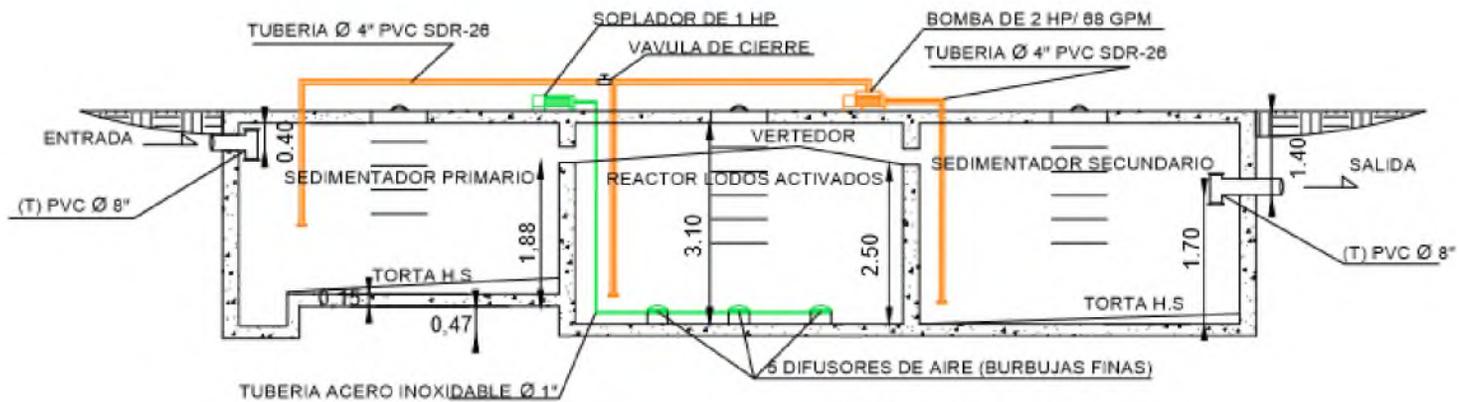

 VISTA EN PLANTA SEPTICO\_3  
 NO ESC.




 SECCION A-A SEPTICO\_3  
 NO ESC.

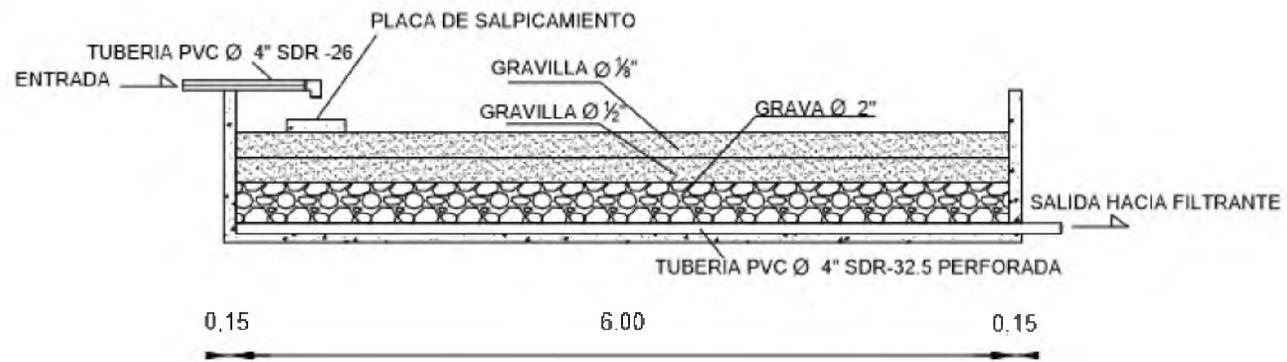


⊖ VISTA EN PLANTA UNIDADES DE TRATAMIENTO

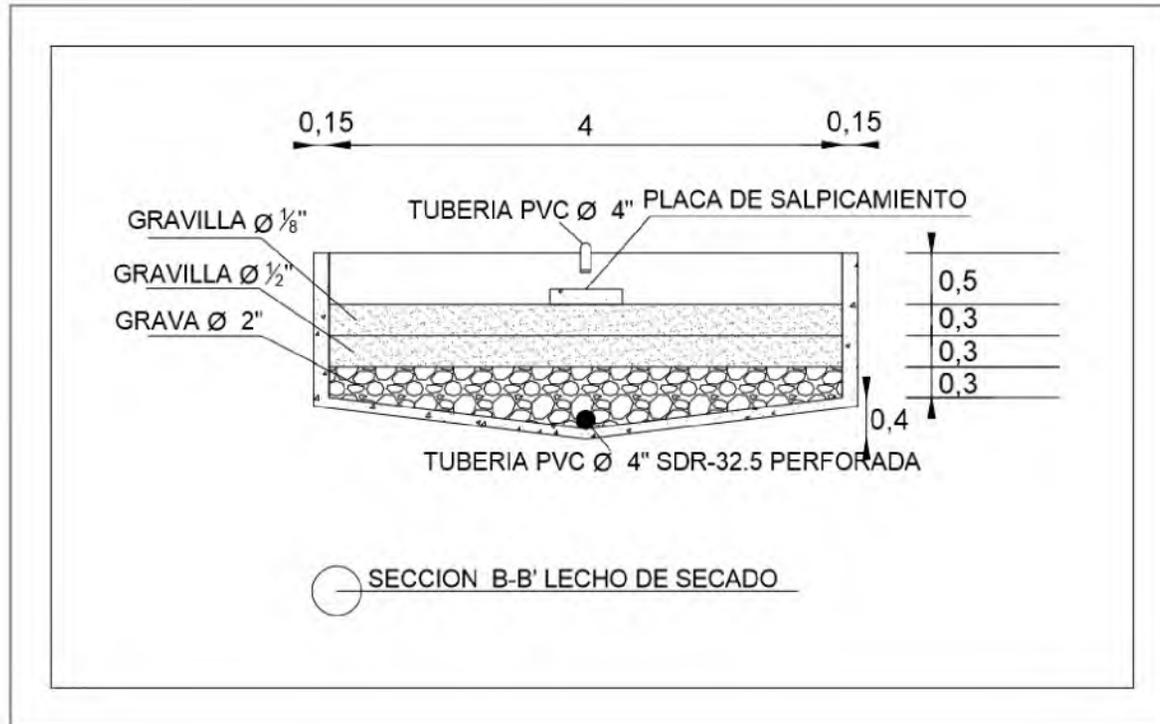


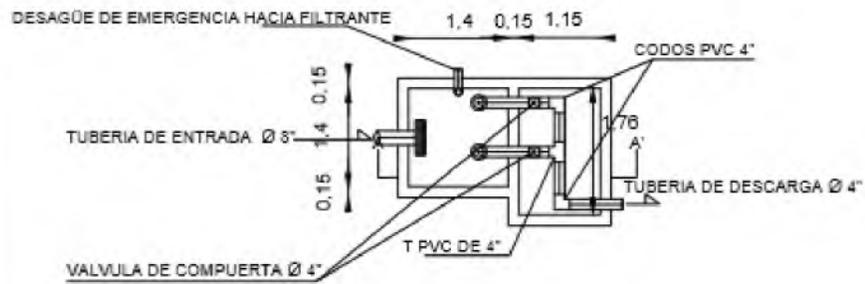
SECCION A-A' UNIDADES DE TRATAMIENTO



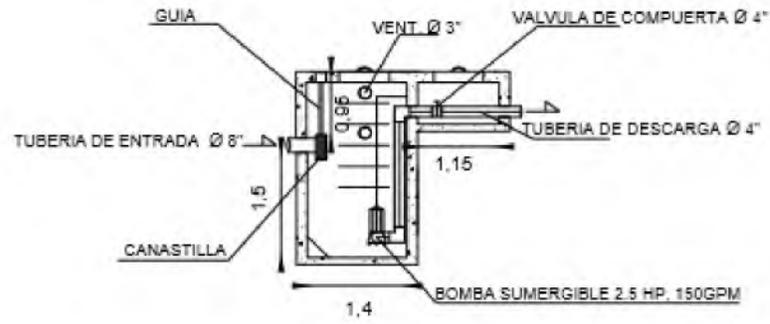


SECCION A-A' LECHO DE SECADO

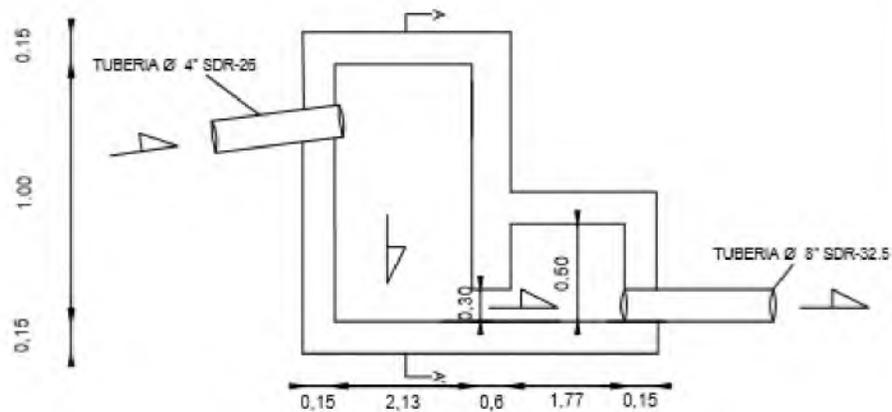




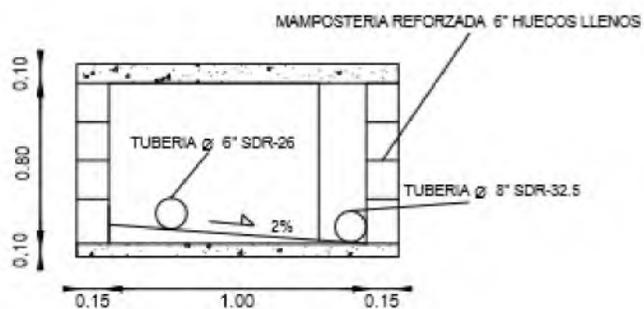
VISTA EN PLANTA CARCAMO DE BOMBEO



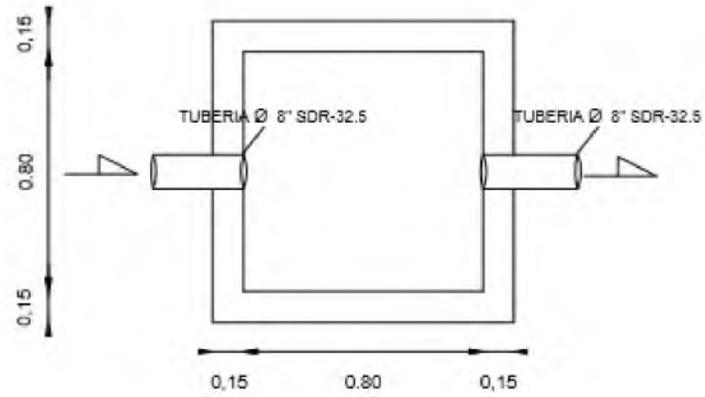
SECCION A-A' CARCAMO DE BOMBEO



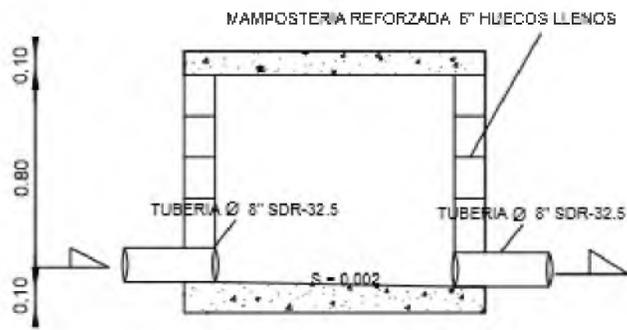
⊕ VISTA EN PLANTA DE REGISTRO DE ENTRADA



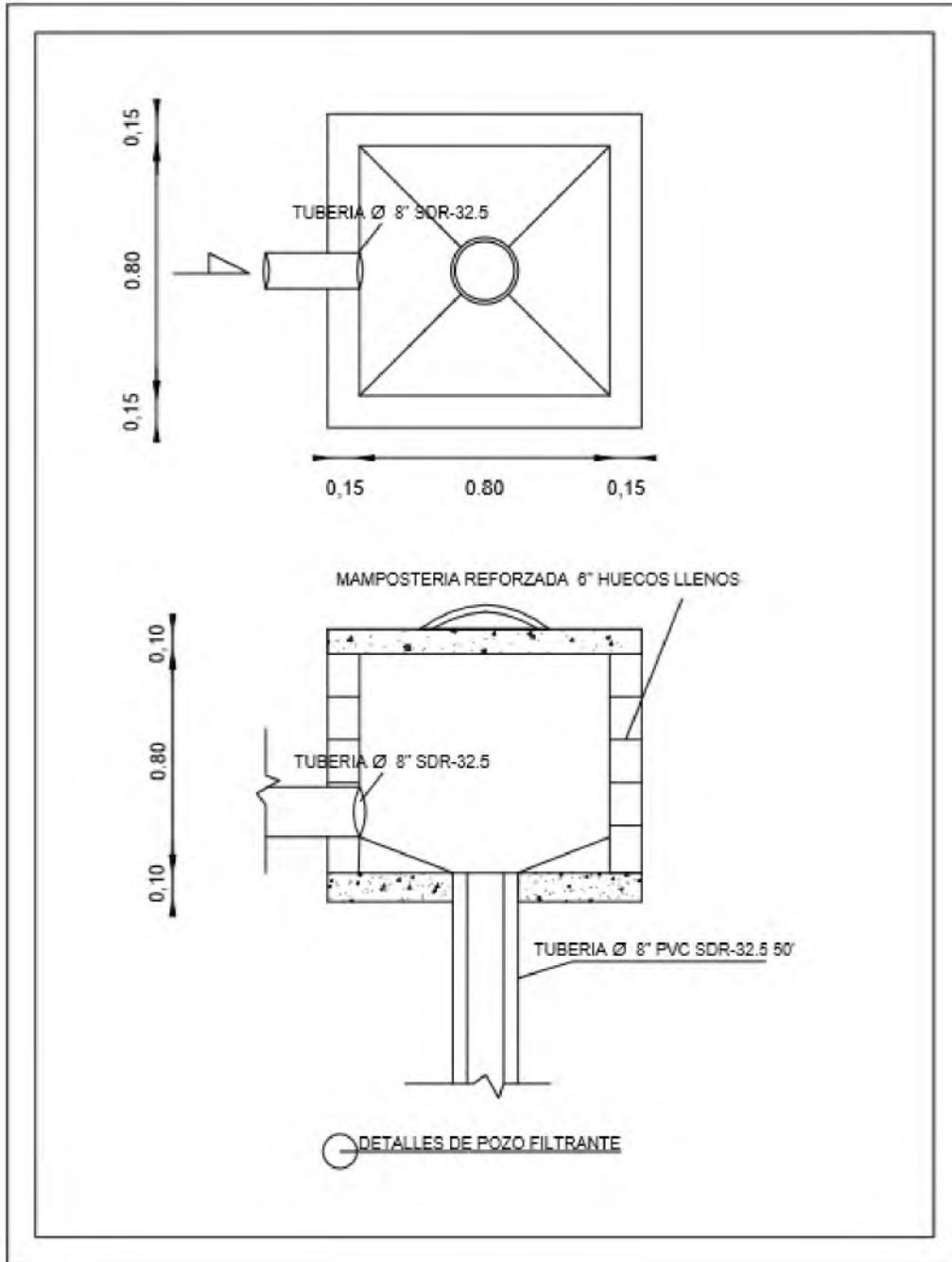
⊕ SECCION A-A DE REGISTRO DE ENTRADA

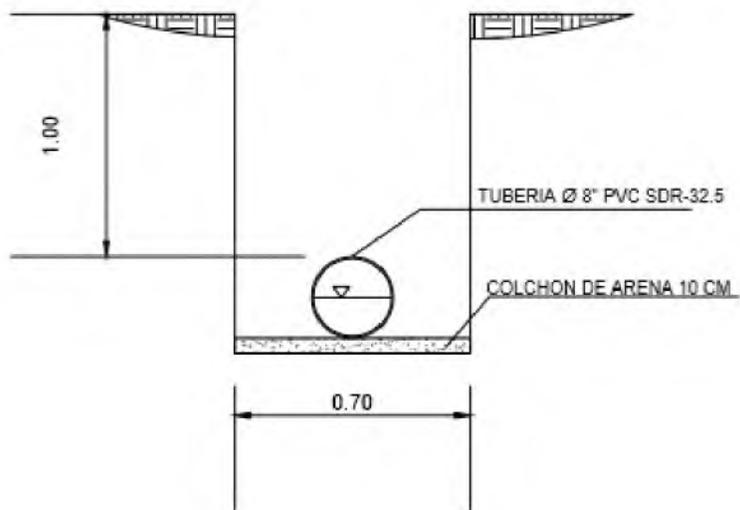


○ VISTA EN PLANTA DE REGISTRO



○ SECCION DE REGISTRO





○ DETALLE DE EXCAVACION DE TUBERIAS

Fotografías de las instalaciones de CoopMarena Beach Resort



