Propuesta de reutilización del efluente de la planta de tratamiento Tryp Península en fuentes ornamentales y espejos de agua de los hoteles ubicados en el sector Punta Hicacos.
Proposed reuse of effluent treatment plant Tryp Peninsula in ornamental fountains and ponds of the hotels located in Punta Hicacos.

Ing. Arianna Cabrera Acevedo
Ingeniera Hidráulica
Especialista Superior de Proyecto e Ingeniería
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería, EMPAI. Matanzas. Cuba
Teléfono: (45) 291802 ext.255
E-mail: Arianna-Cabrera@empai.co.cu

Recibido: 02-12-10
Aceptado: 27-01-11

Resumen

Este trabajo se desarrolla en el sector hotelero Punta Hicacos, Varadero, donde se encuentran los hoteles Tryp Península, Playa Alameda, Princesa del Mar, Barceló Marina Palace y Sirenis Salinas. Se realiza un estudio de los consumos de agua potable en dichos hoteles, así como de los consumos de agua potable que se destinan a las fuentes y espejos de agua en cada uno de ellos, para valorar la propuesta de reutilización del efluente de la planta de tratamiento Tryp Península ubicada en la zona de estudio, en el llenado y reposición diaria de los ornamentos acuáticos de los hoteles. Se realiza la caracterización físico- química y bacteriológica y la cuantificación del efluente que se produce en la planta de tratamiento, así como un análisis económico y una estudio de impacto ambiental de la propuesta. Se obtiene que el efluente de la planta de tratamiento cumple con los niveles de calidad establecidos para ser reutilizado en las fuentes y espejos de agua de los hoteles y que con valores entre un 5.7% y un 8.4% del agua que desecha en la planta por infiltración a pozos, en dependencia de la época de lluvia, se puede satisfacer los consumos de agua que se necesitan para los fines propuestos, lo cual representa un ahorro total de agua potable de 20670.10 m^3/año y un ahorro de 19636.68 cuc/año. Se obtiene además, que el resultado del estudio de impacto ambiental que provoca acometer las acciones para esta propuesta es de poca magnitud e importancia sobre los elementos que pudieran verse afectado.

Palabras claves: Hoteles, Consumo de agua potable, Ornamentos acuáticos, Impacto ambiental.

Ing. Arianna Cabrera Acevedo. Propuesta de reutilización del efluente de la planta de tratamiento Tryp Península en fuentes ornamentales y espejos de agua de los hoteles ubicados en el sector Punta Hicacos.

ABSTRACT

This work takes place in the hotel sector Punta Hicacos, Varadero, where the Hotel Tryp Peninsula, Playa Alameda Princesa Del Mar Barcelo Marina Palace and Sirenis Salinas. We performed a study of drinking water consumption in these hotels as well as the consumption of potable water that is allocated to the sources and mirrors of water each, to evaluate the proposed reuse of effluent from the plant treatment Tryp Peninsula located in the study area, the filling and replenishment Ornamental water daily from the hotels. It performs the physical-chemical and bacteriological and quantification of effluent produced in the treatment plant and an economic analysis and environmental impact assessment of the proposal. The data shows that the effluent from the treatment plant meets the quality standards set to be reused in fountains and lakes of the hotels and the values were between 5.7% and 8.4% of water wastage in the plant infiltration wells, depending on the rainy season, it can satisfy the consumption of water needed for their intended purposes, representing a total saving of drinking water and m3/year 20670.10 19636.68 cuc savings per year. You get also the result of the environmental impact study caused undertake actions for this proposal is of low magnitude and importance of the elements that could be affected.

Keywords: Hotels, consumption of drinking water, aquatic ornaments, Environmental impact.

Introducción:

El agua como recurso hídrico, cubre aproximadamente un 70 % de la superficie total de nuestro planeta. Toda ella participa, de una u otra forma, en el ciclo natural del agua, que permite su preservación tan valiosa para la vida. Pero además de ser imprescindible para asegurar la vida humana, animal y vegetal, constituye un recurso clave para el desarrollo económico, ya que cualquier actividad, sea industrial, agrícola, ganadera o de servicios, necesita de ella.

En las últimas décadas, la calidad del agua potable en el planeta, se ha visto afectada por la contaminación y uso indiscriminado, por lo que el hombre ha comenzado a preocuparse, ya que su demanda ha sido cada vez mayor. Asimismo, los ecosistemas naturales, dígase aire, suelos, ríos, lagos y mares, reciben siempre, ciertas cantidades de sustancias, principalmente producto de la actividad antropogénica, las cuales se diluyen, se filtran, o se descomponen a través de los diferentes procesos de la naturaleza.

Si la entrada de contaminantes a los ecosistemas actuales supera los límites permisibles, por falta de un control adecuado o la no existencia de los mismos ocurre que los ecosistemas no pueden alcanzar la autodepuración, por lo que se puede afirmar que se está en presencia de una contaminación ambiental cuyo grado dependerá proporcionalmente de los niveles de incumplimientos en el monitoreo y ejecución de los controles y normativas existentes.

La contaminación tiene una significación especial, pues se considera como uno de los factores que más incidencias negativas ejerce sobre los ecosistemas acuáticos además de, afectaciones al suelo, a la flora y a la salud humana al provocar en muchos casos la ruptura del equilibrio de restauración natural de los ecosistemas. (Seoánez, 2000; Rolim, 2000).

El hombre, ha sido el eslabón principal en el desarrollo de los procesos de contaminación por el vertido de residuos generados de las diferentes actividades humanas sobre los elementos naturales mencionados anteriormente y también de la explotación en exceso de estos. Es por eso que cualquier acción o medida que se tome para disminuir o evitar los efectos de la contaminación y el uso desmesurado de los recursos naturales, está a favor de mejorar la calidad de vida.

En Cuba, a pesar de las dificultades económicas que se presentan, se han tomado una serie de acciones por parte del gobierno e instituciones en aras de proteger el medio ambiente, se han editado

documentos y leyes que favorecen el cuidado del mismo, como por ejemplo: se establece en el artículo 95 de la Ley 81 del Medio Ambiente que las aguas residuales de la actividad económica y social, antes de ser vertidas, tienen que recibir el tratamiento correspondiente para que no contaminen los embalses y cuerpos de aguas terrestres y marítimos. No obstante, debe quedar claro desde un principio que la opción de vertimiento seleccionada bajo ninguna condición debe contradecir lo establecido en las normas sanitarias vigentes.

Uno de los mayores propósitos del desarrollo sostenible es el adecuado tratamiento de los residuos que produce la sociedad actual. En este sentido se buscan alternativas para disminuir los efectos que provoca la evacuación directa de vertidos de alta carga orgánica al medio, como pueden ser subproductos de destilerías vínicas (vinazas), residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora.

En los últimos años se ha incrementado con más vigor la implementación de Tecnologías de Producción más Limpias como vías para disminuir la emisión de desechos al medio ambiente e incrementar la eficiencia de los procesos, al lograr un mejor aprovechamiento de los recursos que se emplean. Así, son cada vez más reutilizadas sustancias que antes eran consideradas desechos como lo es el agua residual tratada.

Como se conoce, las características físicas, químicas y biológicas de las aguas tratadas dependen en gran medida del sistema de tratamiento empleado y de la eficiencia del mismo, de ahí su estrecha relación con su posterior aprovechamiento que hace posible su contribución con el ahorro de agua potable para determinadas actividades sociales.

En la actualidad, Cuba está estructurada sobre la base de una economía de servicios, donde el turismo ha tomado auge en los últimos años y juega un papel muy importante. Varadero es el segundo polo turístico del país después de Ciudad de la Habana, y en este lugar específicamente, existe un crecimiento acelerado en las construcciones hoteleras que trae aparejado un continuo crecimiento del turismo, por consiguiente un aumento en los volúmenes de agua consumida y además, una generación creciente de residuales líquidos en la zona que origina una problemática que debe ser gestionada adecuadamente para evitar la contaminación en los procesos de rehúso e infiltración.

En las instalaciones hoteleras, el agua potable se destina también a actividades que no son para el consumo directo del hombre, sino como complemento del ornato público en fuentes y espejos de agua. Por este concepto los consumos de agua potable crecen considerablemente cuando se observan desde un punto de vista más amplio y no a escalas individuales. El uso excesivo de este preciado recurso, también atenta contra el medio ambiente, pues las fuentes de abasto corren el riesgo de disminuir su potencial hídrico o su permanente recuperación mientras más se les explote.

La zona hotelera de Punta Hicacos, en Varadero, como área de estudio para el presente trabajo, abarca un total de ocho hoteles:

1. Tryp Península
2. Playa Alameda
3. Princesa del Mar
4. Barceló Marina Palace
5. Planta Real Cayo Libertad
6. Sirenis Salinas
7. Playa Laguna (Mangón B)
8. Playa Laguna (Mangón C)

De los cuales todos se encuentran en explotación paulatinamente desde el año 2000, excepto Mangón B que se encuentra próximo a culminar la ejecución y Mangón C en fases muy avanzadas de proyecto y construcción.

En estos hoteles se incluyen como parte del diseño decorativo, las ya mencionadas fuentes ornamentales y los espejos de agua, que incrementan considerablemente los consumos de agua potable de dichas instalaciones turísticas y que representa un consumo adicional de agua que no aparece desglosado en la NC 45-9: 1999, la que sólo considera para el diseño el agua que será empleada por el turista en las labores propias del hotel.

Estos hoteles vierten sus residuales en la Estación Depuradora de Aguas Residuales “Tryp Península” ubicada en la península de Hicacos, Varadero, Cuba; en la misma zona donde se encuentran los

hoteles ya mencionados (Anexo 1). Del agua residual que se obtiene de la planta, una parte se reutiliza en el riego de áreas verdes y jardinerías de las mismas instalaciones hoteleras y la otra es conducida a pozos donde se infiltran hasta llegar a los estratos permeables del terreno.
En este trabajo se presenta como **problema científico** el siguiente:
¿Cómo disminuir los consumos de agua potable de los hoteles, producto del llenado y reposición diaria de las fuentes ornamentales y espejos de agua?

Por lo cual se plantea como **hipótesis**:
Si se utiliza el agua procedente de la Planta de Tratamiento ¨Tryp Península¨ en las fuentes ornamentales y espejos de agua de los hoteles ubicados en la Península de Hicacos, disminuyen los consumos de agua potable en dichos hoteles.

Objetivo general

- Analizar la propuesta de reutilización del efluente de la planta de tratamiento en fuentes ornamentales y espejos de agua de los hoteles ubicados en el sector Punta Hicacos.

Objetivos específicos

1. Realizar el análisis de bibliografías.
2. Cuantificar los consumos de agua potable en los hoteles ubicados en el área de estudio.
3. Cuantificar los volúmenes de agua potable por concepto de llenado, reposición y sustitución en fuentes y espejos de agua, ornamentales.
4. Analizar de la propuesta de reutilización del efluente de la planta de tratamiento en las fuentes ornamentales y espejos de agua.
5. Realizar el estudio de impacto ambiental de la propuesta.

Desarrollo:

1.1 Necesidad de ahorro del agua potable.
El **agua potable** es aquella que puede ser consumida por personas y animales sin riesgos de contraer enfermedades; este término se aplica al agua que ha sido tratada de alguna manera para el consumo humano y que sus características como resultados de ensayos llevados a cabo, arrojan valores acordes con los que se plantean en las normas vigentes para este tipo de agua. El agua (H_2O) es la misma molécula, tanto en el agua potable como en las aguas residuales. La diferencia está, y no es poca cosa, en las sustancias orgánicas o inorgánicas disueltas y en suspensión, transportadas por ésta.
El agua puede ser en teoría, reutilizada infinitamente, y de hecho, en eso se basa justamente el "ciclo del agua". Por lo tanto, si el agua se devolviera a la naturaleza, en un estado de pureza suficiente para que los mecanismos naturales de depuración pudieran limpiarla, la disponibilidad del recurso hídrico mejoraría considerablemente y la parte que le toca al hombre en su contribución con el cuidado y protección del medio ambiente, sería satisfactoria. (Fair, Geyer y Okum, 2001; Agua potable, 2008)
El agua es un bien muy valioso; utilizarla de forma racional es obligación de todos los ciudadanos para asegurar a las próximas generaciones un mundo habitable. Ahorrar agua en todas las actividades que se realizan, significa unir esfuerzos para reservar un recurso necesario para la vida y el desarrollo económico; por lo que desde numerosas organizaciones se estudian y se toman acuerdos globales para optimizar su uso y eliminar los que se presentan de forma abusiva e indiscriminada.
La escasez de agua se debe a diferentes causas. La más evidente surge en aquellos lugares naturalmente secos con pocas e inseguras precipitaciones. En las zonas áridas del planeta (por debajo de 300 mm de lluvia al año) viven algo más de 600 millones de personas. Sin embargo, hay un conjunto de razones, muchas de ellas atribuibles exclusivamente a la mala gestión del hombre, que provocan que no siempre esté disponible el agua cuando se necesita en la cantidad y calidad

adecuadas. Entre ellas pueden mencionarse las variaciones del clima, la degradación de la tierra y la deforestación, las malas prácticas agrícolas, consumo excesivo del agua, el escaso tratamiento y reutilización de las aguas residuales domésticas, urbanas e industriales.(CITMA, 2007)

En muchos países del mundo se lanzan campañas, y se toman medidas para el ahorro y el uso racional del agua potable, se aprovechan al máximo los recursos como las aguas subterráneas, superficiales, recicladas y pluviales en actividades que no necesariamente requieran la calidad del agua potable.

Entre las cuestiones estratégicas empleadas en muchos países, incluyendo a Cuba, para el ahorro y conservación del agua, se tiene: (Tabloide de Medio Ambiente, 1999)

1. La conservación del agua tendría que convertirse en un modo de vida.
2. Promover la campaña de ahorro a partir de establecer un sistema de precios al consumo de agua, que permitan usar esta de forma adecuada mediante la instalación universal de contadores de medida, para que todos los consumidores puedan conocer sus consumos y su grado de eficiencia (tarifas).
3. El reciclaje, el control de contaminación y las tecnologías relacionadas han de ser desarrolladas para sacar un mayor provecho de la existente infraestructura de suministro de agua.
4. La instalación de los innovadores sistemas de grifería para lavabos, duchas públicas, fregaderos de cocina y mecanismos para inodoros que permiten un ahorro de hasta un 50% de agua respecto al resto de los sistemas convencionales.
5. Permitir dar otros usos alternativos al agua depurada en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, para contribuir así a una disminución del consumo de agua potable, ya que actualmente la totalidad del agua es reutilizada solo para riego y en algunos casos para fregado de carros.
6. Fomentar el uso de recursos hídricos marginales para el riego de parques, jardines y en fuentes ornamentales, tales como aguas subterráneas de calidad deteriorada, aguas regeneradas, aguas de lluvia almacenadas, entre otros.
7. Fomentar la adecuación de la calidad del agua residual tratada en función del tipo de uso.
8. Todos los parques y jardines, así como las fuentes ornamentales, indicarán en un cartel la procedencia del agua y la utilización de circuitos cerrados.
9. La instalación de depósitos de recogida de pluviales o el aprovechamiento de aguas de renovación de piscinas para otros usos
10. Inicio de estudios técnicos que desemboquen en la creación de infraestructuras y futuras redes para el aprovechamiento de recursos alternativos de aguas no potables.
11. El diseño de los sistemas de riego en las áreas verdes y jardinerías, ha de incluir sistemas efectivos de ahorro de agua, que cuenten como mínimo de:
    - Programadores de riego.
    - Aspersores de corto alcance en zonas de pradera.
    - Riego por goteo en zonas arbustivas y en árboles.
    - Detectores de humedad en suelo.

La autora coincide con lo que plantean las medidas para contribuir al ahorro de agua potable, así también Metcalf y Eddy, (1995) indican que en redes de distribución dotadas de contadores las pérdidas de agua potable y el malgasto suponen entre un 10 y un 20% en relación a las redes que no están dotadas de estos equipos, las cuales asciende a valores por encima del 30% de las pérdidas.

Uno de los requisitos que se establecen por los organismos encargados de brindar los servicios de Acueducto y Alcantarillado en las diferentes ciudades y poblados es la instalación (en viviendas, empresas, industrias, objetivos sociales) de los hidrómetros o metro contadores, como comúnmente se conocen. La implantación de este sistema en Cuba, aún no se ha generalizado por las dificultades económicas que se conocen, pero es un aspecto que se ha seguido muy de cerca y la continuidad de los trabajos en este sentido se ha fortalecido como plan de medida para el ahorro del agua. La instalación de estos equipos permite cuantificar los consumos de agua de cada objeto específico, predecir cualquier problema que pueda existir en las redes interiores de cada instalación, así como

también planificar el uso del agua para reducir los gastos económicos de acuerdo a las tarifas existentes para cada caso particular.

1.2 Consumos de Agua Potable.

Los consumos de agua potable varían en función de la escala a que se trate, de lo más general a lo más particular y del tipo de servicio que se brinde. En la Tabla 1.1, se relaciona la distribución de los consumos de agua potable en función del servicio y de la población a servir a escalas generales.

Tabla 1.1 Consumos de agua por persona en litros por día.

POBLACION MILES HAB.	**DISTRIBUCION DEMANDA** (L/persona/día)					
	Consumo doméstico	Consumo comercial	Consumo público	Consumo industrial	Propio del sist.	Consumo total
> 2	145	87	44	15	9	300
2-10	160	96	48	16	10	330
10-25	175	105	51	18	11	360
25-50	190	112	57	19	12	390
50-100	200	116	59	20	15	410
100-250	215	125	62	22	16	440
250-500	220	132	66	23	19	460
<500	225	135	68	23	19	470

Fuente: NC 53-91: 1983

Los valores que aparecen en la Tabla 1.1, se utilizan para determinar los caudales de diseño de las redes de acueducto que abastecerán de agua a los distintos tipos de consumidores, según la cantidad de habitantes a servir.

El agua potable en las instalaciones turísticas de alojamientos, se utiliza en múltiples funciones según la categoría a que sean concebidas: en habitaciones, cocinas, restaurantes, cafeterías, minilavanderías, sistemas de clima centralizado, clubes de niños, deportivos y nocturnos, centros de salud por agua (SPA), zonas de servicios para trabajadores, reposición diaria de agua en piscinas, riego de áreas verdes (en los casos que no se cuenta con disponibilidad de agua reusada), entre otros objetos de servicios que pueden o no estar incluidos en función del rango de categoría que se especifique. El agua potable que se consume de manera general en este tipo de instalación, será directamente proporcional al índice de ocupación que se tenga, mientras mayor sea la fluencia de turismo, mayor será el consumo de agua.

Los valores de consumos asignados para cada uno de los servicios mencionados, según NC 45-9:1999, se plantean en *Anexo 2*.

1.3 Agua Residual.

En el pasado, la mayoría de los efluentes tratados simplemente se descargaban al lecho de la corriente más cercana, donde creaban corrientes perennes en canales efímeros o se mezclaban con el flujo de las corrientes naturales; aunque desde la época antigua, en algunos lugares como Creta y otras ciudades se han hallado instalaciones de alcantarillado, lo que ha demostrado que desde entonces la acción de depuración por parte del hombre ha estado presente; así como también en Europa a fines de la edad media, aparecieron excavaciones subterráneas y luego letrinas, con el objetivo de enterrar los desechos humanos. Así, sucesivamente fueron apareciendo poco a poco diferentes formas de vertido de los residuos hasta que en los comienzos del siglo XX se empieza a tomar conciencia que el vertido directamente a los ríos y masas de aguas traía como consecuencia

problemas sanitarios; aparecen las fosas sépticas como forma de tratamiento de las aguas residuales domésticas, o como forma de depuración de las mismas.
En la medida en que fueron pasando los años, se fue haciendo cada vez más creciente la problemática de la disposición y tratamiento de los residuales, pues además de los domésticos, aparecieron con la industrialización los residuales industriales con características diferentes.
Como resultado de la preocupante a nivel mundial de la contaminación del medio ambiente provocadas por las diferentes actividades llevadas acabo por el hombre, es que a principios de la década de los años 70 del siglo XX, la depuración de los residuos alcanza gran importancia.
El tratamiento de residuales es de suma importancia para proteger el medio ambiente. En los últimos años se ha logrado un mayor desarrollo en las tecnologías de tratamiento de residuales líquidos a pequeña escala que conlleva a la obtención de mejor calidad en el agua residual tratada, para un aprovechamiento óptimo en sus posteriores usos y así, contribuir al ahorro del agua potable.

1.3.1 Definición de Agua Residual

El agua residual se puede definir como la mezcla de los residuos líquidos que provienen de residencias, establecimientos públicos, industriales y comerciales, a los que se les puede incorporar eventualmente aguas subterráneas, superficiales y pluviales, (Hierro, 2005). Son generalmente de color oscuro, por lo que algunos autores la denominan aguas negras. También es común encontrar otra denominación como es aguas servidas; sin embargo hay autores que establecen una diferencia entre aguas residuales y aguas servidas, esta diferencia viene dada en el primer caso a la mezcla de aguas domésticas e industriales, mientras que las aguas servidas, plantean son exclusivamente del uso doméstico (Metcalf y Eddy, 1995; Marsilli, 2005; Serrano, J. H. M., *et al*, 2006).
El origen, composición y cantidad de los desechos están relacionados con los hábitos de vida vigentes.

1.3.2 Composición y clasificación del Agua Residual.

Según la cantidad de los componentes físicos y químicos, el residual se clasifica como: fuerte, medio o débil, ó concentradas, media y diluidas. Se presenta en *Anexo 3* la composición típica del agua residual doméstica no tratada según criterios de varios autores.
Según Fair, Geyer y Okum (2001), “la composición de un agua residual se refiere a los constituyentes físicos y químicos que se encuentran en ella”. Esto dependerá tanto de la concentración como de la composición de las aguas residuales y está en función del horario del día, día de la semana y mes del año en que se encuentre; otros factores además serían las condiciones climatológicas, locales, así como los hábitos de consumo de agua de cada persona y fundamentalmente la procedencia de quien la genere.
Según criterios del autor, las aguas que quedan como residuo de la actividad humana pueden clasificarse en dependencia de su origen en: aguas residuales domésticas y/o urbanas, aguas residuales industriales y aguas residuales agropecuarias.
En el caso específico de las aguas residuales domésticas son las que se generan de las propias actividades de la vida del ser humano como la limpieza, preparación de alimentos y necesidades fisiológicas con las que el aporte de aguas residuales por este concepto, se hace muy voluminoso. Se calcula que cada persona consume por lo menos 200 litros de agua diarios para satisfacer estas necesidades; en tanto, los componentes principales suelen ser proteínas, carbohidratos, compuestos nitrogenados y sustancias grasas. No obstante, dichas aguas contienen también en cantidades más pequeñas, pero las más preocupantes que son los detergentes, ceras, insecticidas y otros compuestos, *(Soto J, 2000)*. Parte de estos residuos son materias que consumen o demandan oxígeno para su oxidación como la materia fecal, restos de alimentos, aceites y grasas; otra parte son detergentes, sales, sedimentos, material orgánico no biodegradable y también microorganismos patógenos. La materia orgánica biodegradable y algunas sales inorgánicas son nutrientes para los microorganismos.
Además, Hierro (2005) incluye una clasificación para las aguas residuales provenientes de procesos de infiltración y de eventos meteorológicos y los denomina como aguas de infiltración y pluviales, respectivamente.

Entre los parámetros más importantes a tener en cuenta en la caracterización de las aguas residuales tenemos:

- Temperatura
- Grasas y aceites
- pH
- Materia flotante
- DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
- DQO (Demanda Química de Oxígeno)
- Sólidos totales (suspendidos y sedimentables)
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Coliformes totales
- Coliformes fecales

Aunque, las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido de sólidos, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el pH. (Juárez, 2007a).
Las concentraciones medias aproximadas de los constituyentes físicos, químicos y biológicos más importantes en el agua residual sin tratar, depende del origen, según Hierro (2005).

1.3.3. Características de las Aguas Residuales Urbanas.

Las principales características que presenta el agua residual son:

- Características Físicas
- Características Químicas
- Características Biológicas

Características Físicas

La característica física más importante del agua residual es el contenido total de sólidos (materia en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta). Dentro de las características físicas se pueden encontrar, además, el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbidez (Hierro, 2005).

Características Químicas

Dentro de las características químicas del agua residual se tiene en cuenta la materia orgánica presente y la acidez.

Materia orgánica.

Hierro, 2005 y Juárez, 2007a reportan que los compuestos orgánicos están formados por proteínas (40 – 60 %), hidratos de carbono (25 – 50 %), grasas y aceites (10%), mientras que Juárez (2007a) reporta que el contenido típico en materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas. La literatura reporta que el 75% de los sólidos en suspensión y el 40% de los sólidos filtrables de un agua de concentración media son de naturaleza orgánica. (Hierro, 2005).

La medida del contenido orgánico se desarrolla en diferentes ensayos, tales como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Carbono Orgánico Total (COT). (Hierro, 2005).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un período de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20°C. De modo similar, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar completamente la materia orgánica y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO_5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. El carbono orgánico total es la cantidad de carbono que hay en una muestra procedente de sustancias orgánicas biodegradable o no (Hernández, Galán, Hernández, 1995).

La biodegradabilidad de un agua residual se determina como la relación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a la Demanda Química de Oxígeno. Así se tiene que:

- Si DBO_5/ DQO >0,4 Se recomienda el tratamiento por lodo activado o lecho bacteriano.
- Si 0.4 > DBO_5 / DQO > 0.2 biodegradable por lecho bacteriano.
- Si DBO_5 / DQO < 0,2 No biodegradable o muy lentamente biodegradable, debe recurrirse a procesos químicos. (Hernández, Galán, Hernández, 1995).

pH: es una medida de la acidez de una muestra de aguas residuales. El pH, en aguas residuales urbanas, puede variar de 6,5 a 8,0 (Juárez, 2007a)

Materia inorgánica.

Algunos de los componentes inorgánicos presentes en la aguas residuales son: cloruros, carbonatos, nitrógeno, fósforo, azufre, tóxicos inorgánicos (cobre, plomo, plata, cromo, arsénico, boro y los metales pesados). Los tóxicos inorgánicos son limitantes para los tratamientos biológicos, estos están considerados como contaminantes prioritarios, y algunos de ellos tienen relación directa con actividades industriales (cianuros, cromatos, fluoruros). (Hierro, 2005) Por regla general, salvo en el caso de determinados residuos industriales, las aguas residuales no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar los componentes inorgánicos que se incorporan a su ciclo.

Gases.

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales sin tratar son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoniaco y metano. El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios en el proceso de nutrición, presenta el inconveniente de ser ligeramente soluble en agua por lo que se necesita grandes cantidades de aire para mantener los niveles de oxígeno disuelto y su concentración en solución depende de Temperatura.

El sulfuro de hidrógeno se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, su formación se inhibe frente a grandes concentraciones de oxígeno. La presencia de este gas es fácilmente detectable por el olor característico que posee (Hierro, 2005).

Características biológicas.

Las aguas residuales se caracterizan por la presencia de microorganismos, los cuales están constituidos por grupos de bacterias, hongos, algas, protozoos y virus. Otra de las características de las aguas residuales es que cuentan con la presencia de organismos patógenos procedentes de los desechos humanos que son portadores de enfermedades (bacterias, virus y protozoos). Los coliformes se utilizan como organismo indicador y su presencia indica la existencia de los organismos patógenos (Hierro, 2005)

1.4 Tratamiento de aguas residuales

Los métodos de tratamientos en los que predominan los fenómenos físicos se conocen como operaciones unitarias y los métodos en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo en base a procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios. Actualmente, estas operaciones y procesos se agrupan entre sí y son los llamados tratamiento primario, secundario y terciario.

El tratamiento de las aguas residuales se realiza en varias etapas, diferenciadas entre sí por las características de las operaciones utilizadas y los objetivos perseguidos en cada uno de ellos, de ahí que se hable de tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario o avanzado. (Marsilli, 2008; Seoánez, 1999a; Metcalf y Eddy, 1995; Díaz, 1987).

El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente, y un residuo sólido o lodos también convenientes para los futuros propósitos o recursos.

La depuración de las aguas residuales persigue una serie de objetivos:

1. Reducir al máximo la contaminación.
2. Proteger y conservar los recursos naturales (medio ambiente).
3. Mantener la calidad de vida de los individuos.
4. Ahorrar energía.

5. Aprovechar los residuos obtenidos.

1.4.1 Tratamiento primario o preliminar.

Generalmente con el agua residual se transportan, objetos y constituyentes que pueden interferir en el funcionamiento normal de una estación depuradora, siendo el objetivo de este tratamiento previo eliminar estos residuos. En esta parte del tratamiento están comprendidas las rejillas de separación ancha, las cuales se encargan de retener la materia gruesa que pudieran dañar las tuberías o las maquinarias (Junco, J. Z; González, J. C., 2007; Theodore, 1999; Metcalf y Eddy, 1995; Barnes, 1967).

Las aguas residuales que contienen elementos insolubles son sometidas a tratamientos físicos para separarlos y evitar que contaminen o dificulten posteriores etapas del tratamiento, por lo que el tratamiento primario tiene por objetivo preparar el residual para el tratamiento secundario. (AGUAMARKET, 2006)

El término primario se refiere a los procesos físico - químicos mediante los cuales se elimina del 40 al 60 por ciento los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

Las sustancias que se pueden encontrar en las aguas residuales son:

- Materias grasas flotantes: Grasas, aceites, hidrocarburos alifáticos, alquitranes, etc.
- Sólidos en suspensión: Arenas, óxidos, hidróxidos, pigmentos, fibras etc.

Estos materiales se eliminan por medio de cámara de rejas (enrejados o barras verticales), y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente.

Dentro de los tratamientos primarios más utilizados se encuentran los siguientes:

- **Cribado o Desbaste**

Se retienen los grandes sólidos mediante rejas adecuadas, la separación entre barrotes varía según el uso y puede estar desde 100 mm a 3 mm entre barrote y barrote. Pueden poseer sistemas de limpieza automática o manual. (AGUAMARKET, 2006)

- **Dilaceración**

Tiene por objeto desintegrar o triturar los sólidos arrastrados. Los equipos clásicos son cilindros giratorios verticales con ranuras horizontales en las cuales entran peines cortantes fijos. El agua entra al tambor y los sólidos son triturados entre las ranuras y los peines. (AGUAMARKET, 2006)

- **Trampa de arena o Desarenadores**

En el pasado, se usaban tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras se diseñaban de modo permitan que las partículas inorgánicas de 0,2 mm o más se depositaran en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continuaban su recorrido. Hoy en día las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0,08 a los 0,23 m^3 por cada 3,8 millones de litros de aguas residuales. (Juárez, 2007a)

- **Desaceitado**

Se utilizan equipos que mediante rasquetas en cintas transportadoras hacen un barrido de fondo y de superficie que permite a las gotas de aceite flotar y ser separadas. (AGUAMARKET, 2006)

- **Sedimentación primaria.**

El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO_5 y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión. (Juárez, 2007a), según Díaz (2006) la sedimentación es una operación típica de la gran mayoría de los tratamientos primarios, en algunas ocasiones pueden constituir la única operación de tratamientos al residual.

La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento cuando se incorporan procesos llamados coagulación y floculación químicas al tanque de sedimentación. La coagulación es

un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan.
La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión. (Juárez, 2007a) Los lodos de la sedimentación primaria en los casos de plantas grandes con altas producciones son llevados a digestión, mezclados o no con los lodos extraídos del proceso secundario. En general esta digestión es anaerobia para la producción de biogás. (Hernández, Galán, Hernández, 1995)

- **Flotación**

En el tratamiento de algunas aguas residuales se utiliza la operación de flotación, en la que se fuerza la entrada de aire, a presiones de entre 1,75 y 3,5 kg/cm². El agua residual, supersaturada de aire, se descarga en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión. (Juárez, 2007a)

- **Desgasificación**

Consiste en separar del agua gases o materias volátiles disueltas en ella. Se efectúa mediante el flujo a contracorriente con otro gas (puede ser vapor de agua) en equipos de gran superficie de contacto (AGUAMARKET, 2006).

- **Filtración**

Es muy poco usual, solo se efectúa en caso de normas muy estrictas que la requieran. Se usan tanques con arena. (Juárez, 2007b) La autora coincide con lo expuesto anteriormente, pero es válido aclarar que como tratamiento primario no solo se utiliza tratamientos físico – químicos, puesto que en ocasiones se ha recurrido al uso de métodos biológicos. Como ejemplo de lo antes expuesto se tiene que en ocasiones se adiciona en las trampas de grasas lodos que se elaboran industrialmente con el objetivo de degradar biológicamente las grasas.

1.4.2 Tratamiento secundario o biológico.

Estos tratamientos se basan en el uso de microorganismos que descomponen y asimilan las sustancias presentes en el agua residual y reducen la cantidad de materia orgánica en la misma. (AGUAMARKET, 2006) sin embargo, Junco, J. Z.; González, J. C. (2007) plantean que en los tratamientos secundarios es posible depurar además residuales no orgánicos.
El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor. (Juárez, 2007a)
En el tratamiento biológico se emplea con diversas técnicas, la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales domésticas, como nutrientes de una población bacteriana a la cual se le proporciona oxígeno y condiciones controladas para que crezca en un lugar en el cual este crecimiento no tenga influencia en el medio ambiente. El tratamiento biológico es por tanto una oxidación de la materia orgánica biodegradable con participación de bacterias que se ejecuta para acelerar un proceso natural y evitar posteriormente la presencia de contaminantes y la ausencia de oxígeno en los cuerpos de agua. Existen diversos procesos alternativos para el tratamiento secundario, dentro de los que se encuentran el filtro de goteo o filtros percoladores, las lagunas de oxidación, los lodos activados y los biodiscos.
En el análisis de la bibliografía sobresale que algunos autores (Nodal, 2001; Seoánez, 1999a; Theodore, 1999; Metcalf y Eddy, 1995) refieren solamente la reducción del contenido de materia orgánica por aceleración de los procesos biológicos naturales. Sin embargo, en esta fase del tratamiento se produce la eliminación tanto de los sólidos en suspensión y compuestos orgánicos biodegradables del residual mediante procesos biológicos, como de la eliminación de otros

contaminantes de carácter inorgánico mediante procesos químicos, todo está en dependencia de la composición de dichos residuales.
Según datos obtenidos por Augusto y Junco (2002), de los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales existentes en la provincia de Matanzas, 74 son lagunas de oxidación, esto se justifica por las condiciones climáticas del país que favorece el funcionamiento de estos sistemas y por el factor económico, puesto que su construcción y mantenimiento es menos costoso que el de los lodos activados.
El tratamiento mediante lodos activados existentes en la provincia de Matanzas, se localizan en Varadero y operan directamente en el sector turístico. Martínez (2005), opina que los sistemas de lodos activados tienen un porcentaje de eficiencia superior al que se alcanza con las lagunas de oxidación, pero son más costosos por requerir mayor inversión y por los requerimientos energéticos para el suministro de aire u oxígeno al sistema, por lo que solo entidades que dispongan de recursos podrán enfrentar esos gastos que posteriormente se revertirán en una mayor calidad del agua tratada.

1.4.3 Tratamiento terciario o avanzado.

Si el agua que ha de recibir el vertido, requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento terciario de las aguas residuales. (Juárez, 2007a)
Según Metcalf y Eddy (1995) el tratamiento terciario se define como el nivel de tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyente de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Además de los procesos de eliminación de nutrientes, otros procesos u operaciones unitarias habitualmente empleadas en los tratamientos terciarios son la coagulación química, la floculación, la sedimentación y la filtración.
Para la eliminación de iones específicos y para la reducción de sólidos disueltos, se emplean métodos menos comunes como el intercambio iónico o la ósmosis inversa. También se emplea tratamiento terciario para diversas posibilidades de reutilización de las aguas residuales para las cuales es preciso conseguir efluentes de alta calidad como puede ser el caso del agua empleada para la refrigeración industrial, para la recarga de aguas subterráneas o para usos de recreo. En términos de calidad de efluente, algunos procesos de tratamiento natural (antes llamado tratamiento en el terreno) pueden resultar equivalentes al tratamiento terciario de las aguas residuales. (Metcalf y Eddy, 1995)
Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se han realizado y que se continúan para conservar el agua mediante su reutilización. (Juárez, 2007a) A continuación se tratan los sistemas de lodos activados, como parte del tratamiento biológico, debido a que la planta en estudio está formada por un sistema de este tipo.
En la figura 1.1 se muestra un esquema a modo de resumen de los distintos tratamientos a que puede estar sometida un agua residual.

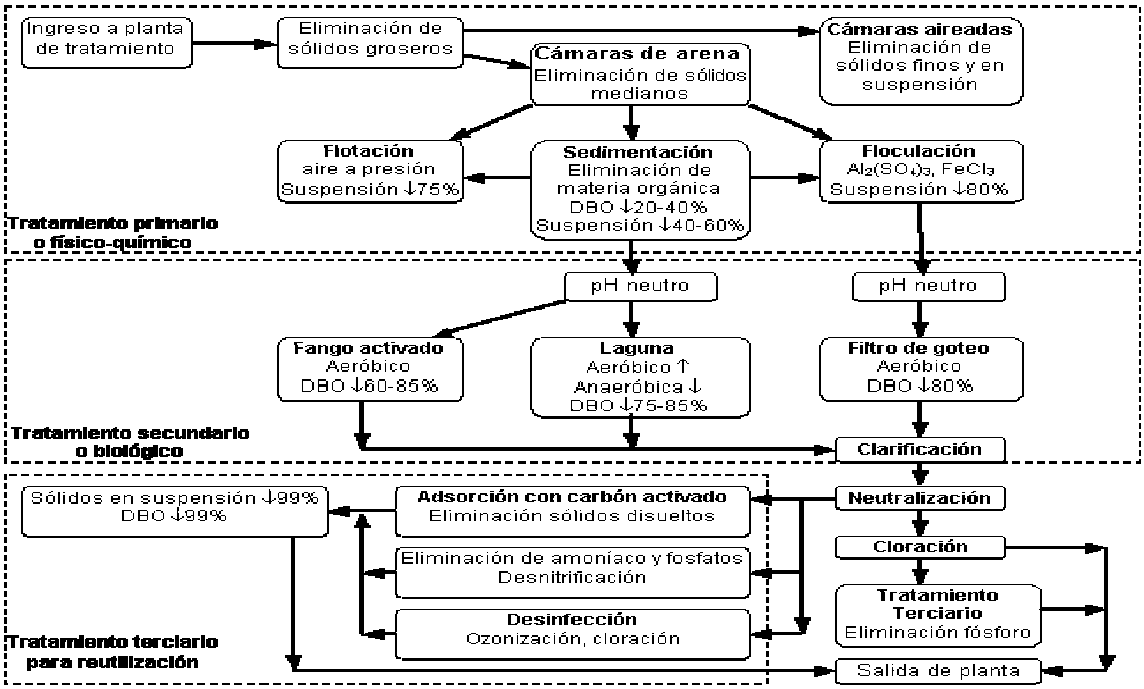


Figura 1.1: Tratamientos a que puede estar sometida un agua residual.
Fuente: Depuración de aguas residuales, 2008.

1.4.4 Principio de funcionamiento de Lodos Activados.

Un proceso de lodos activados es un tratamiento biológico en el cual se agita y airea una mezcla de agua residual y un lodo de microorganismos, y de la cual los sólidos se remueven y recirculan posteriormente al proceso de aireación (ESTRUCPLAN, 2007).

El proceso de lodos activados deriva su nombre de la producción de una masa activada de microorganismos, llamado lodo activado, capaz de estabilizar un residuo en medio aerobio. (Hierro, 2005)

En el proceso de lodos activados el agua residual se mezcla con bacterias aeróbicas (lodos) que se han desarrollado con anterioridad. La mezcla del lodo activado con el agua residual en el reactor biológico se le llama licor mezclado. En el reactor biológico del sistema es donde ocurre la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos. Estos reactores generalmente, son piscinas de hormigón armado donde se agita el licor mezclado debido a la introducción de aire al sistema por medio de bombas, para que la materia esté en suspensión y los microorganismos en constante contacto con oxígeno y entonces, llevar a cabo la degradación. Posteriormente, el flujo del licor mezclado se introduce en el sedimentador donde los sólidos se separan del efluente clarificado (agua tratada). Una porción de los sólidos concentrados (biomasa ó células sedimentadas) se devuelve parcialmente al reactor para mantener una población bacteriana adecuada, y el resto se separa como lodo y se purga del sistema (Juárez, 2007b).

Las ventajas principales de este proceso son el corto tiempo de residencia de la biomasa en el reactor biológico, lo que permite tratar grandes volúmenes en espacios reducidos y con alta eficiencia en la extracción de las materias suspendidas. Sin embargo, la eficiencia en la eliminación de bacterias patógenas es baja. El agua tratada en un proceso de lodos activados puede servir para regadío si previamente se somete a cloración para desinfectarla. La cloración es parte del tratamiento terciario o avanzado que se emplea para lograr un agua más pura incluso, potable si se desea.

Un problema sanitario importante que se deriva del tratamiento de aguas residuales es el manejo de los lodos provenientes de los tratamientos primario y secundario. Estos lodos son semisólidos que contienen de 0,5 a 5% de sólidos, por lo que no tienen valor económico y sí perjuicio ambiental. Para

convertir su materia orgánica en sólidos estables, reducir la masa y volumen de agua y destruir las bacterias dañinas, el lodo puede concentrarse por sedimentación y coagulación - floculación.
Este lodo, así concentrado, se puede tratar con cal como bactericida y exponerlo al sol para evaporar su agua, hacerlo pasar sobre filtros de arena, filtrarlo al vacío o centrifugarlo para eliminar parte importante del agua. Sin embargo, ninguna de estas técnicas es completamente satisfactoria por sus costos y problemas técnicos. El lodo deshidratado puede disponerse en vertederos o incinerarlo si su contenido de materia combustionable es superior a 25%. Uno de los empleos más deseable de estos lodos es usarlo como fertilizante y acondicionador del suelo, aunque su composición limita este empleo. (Juárez, 2007b)

1.5 Posibles alternativas para el Control Bacteriológico.

Para poder concebir y diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales, entre los aspectos a tener en cuenta, es imprescindible conocer las condiciones del vertimiento de los efluentes de la planta, así como las posibilidades de reutilización del mismo.
El agua como medio de transportación de microorganismos patógenos puede contenerlos en mayor o menor escala. Se utiliza el coliforme como organismo indicador, su presencia aporta el grado de existencia de estos en las aguas. (Hierro, 2005)
El control bacteriológico de las aguas es de gran importancia, pues permite la toma de medidas en caso necesario cuando los valores de los coliformes presentes, exceden los NMP (número más probable) que se plantean en las normas. Esto se tiene en cuenta, ya que el agua como se ha dicho, es el principal vehículo transportador de cualquiera que sea: bacterias, virus y hongos, productores de enfermedades (gastrointestinales, hepatitis, de piel y respiratorias entre otras).
Para proteger la salud pública se han realizado grandes esfuerzos que han permitido enmarcar condiciones y normas que establecen los valores, en el aspecto bacteriológico, de las aguas residuales recuperadas de forma segura; Santiago (1997) plantea que una planta de tratamiento bien operada con un residual de cloro en el efluente de 0.5 mg/L después de 1 hora en contacto, debe dar un agua libre de organismos biológicos.
No se debe pasar por alto un aspecto importante al que en los momentos actuales se ha seguido muy de cerca desde el punto de vista bacteriológico, y es la legionellosis, enfermedad producida por la bacteria ambiental llamada Legionella, capaz de sobrevivir en un amplio intervalo de condiciones físico-químicas, multiplicándose entre los 20-45 ºC, destruyéndose a 70 ºC. Forma parte de la flora bacteriana de las aguas superficiales, como lagos, ríos, estanques, etc. (Martín Bourgon, C.; Pelaz Antolin, C.1992)
De las instalaciones que con menor probabilidad se tiene para la proliferación de esta bacteria están los ornamentos acuáticos como las fuentes y espejos y de agua; no obstante se debe tener en cuenta tomar las medidas preventivas con la eliminación o reducción de zonas sucias, control de la temperatura, la desinfección continua de la misma (hipercloración) y realizar muestreos y análisis periódicos del agua de las instalaciones.
Dentro de los tratamientos terciarios o avanzados que se llevan a cabo en muchas plantas de tratamiento, se incluye la desinfección de las aguas, esto es preciso para la destrucción de organismos patógenos que no se logra a través de medios biológicos, sino físicos y químicos. La desinfección química ofrece mayores éxitos que la física, (Fair; Geyer; Okum, 2001). Sin duda, la desinfección del agua es el arma más importante que usan hoy en día las autoridades que se encargan del control bacteriológico de las aguas, pues considera de extrema garantía para la erradicación substancial de enfermedades. Existen desinfectantes capaces de destruir las gamas de organismos patógenos como bacterias, virus y quistes de amebas, sin embargo, otros desinfectantes son aceptablemente efectivos contra uno o dos de ellos.
Entre las formas de desinfección que se pueden encontrar, según Fair, Geyer, Okum (2001); Santiago (1997) y Harms, Wallis, Ratnayaka (1999) están:

- *Por el calor*: El incremento de la temperatura hasta el punto de ebullición.
- *Mediante la luz*: La luz solar es un desinfectante natural, fundamentalmente como agente desecante. La luz ultravioleta intensifica la desinfección y la convierte en un agente controlable.

- *Desinfección química por*:
  - Productos químicos oxidantes: Entre estos se encuentran los halógenos (cloro. bromo y yodo); el ozono y otros oxidantes como el permanganato de potasio y el peróxido de hidrógeno.
  - Iones metálicos: Los iones de plata no son viricidas ni quisticidas en concentraciones aceptables, pero son bactericidas.
  - Productos químicos tensoactivos: Aquí se incluyen los detergentes.

Fair, Geyer, Okum (2001) y Santiago (1997) plantean que para la desinfección rutinaria de las aguas y aguas residuales solamente un producto químico es tan eficiente como razonablemente barato, se trata del cloro, con lo que la autora está de acuerdo.

1.6 Vertimiento de aguas residuales tratadas.

A criterio de la autora el vertimiento indiscriminado de los residuales líquidos puede causar graves trastornos a la naturaleza y a la sociedad; problemas graves de contaminación ambiental, desequilibrio ecológico, epidemias, etc. Es por ello que el tratamiento de dichos residuos es un factor prácticamente imprescindible en la sociedad actual.

Las normas que rigen las exigencias para el vertimiento de aguas residuales en Cuba son la NC 27:1999. "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones" y la NC 521:2007. "Vertimiento de aguas residuales a las zonas costera y aguas marinas. Especificaciones".

Estas normas son instrumentos legales para garantizar la calidad de las aguas terrestres y marinas mediante la regulación de las descargas de residuales a éstas, lo que a su vez sirve de base para la elaboración de estrategias de saneamiento, y en opinión de la autora ayudará a la protección de las fuentes de abasto a la población, los cursos naturales de las aguas, las aguas subterráneas y las obras e instalaciones hidráulicas; así como a la protección de las áreas con usos definidos.

Las opciones para el vertimiento de los residuales en cuerpos de aguas son subdivididas en función del cuerpo receptor y en dependencia del método empleado.

Las características del vertimiento en aguas terrestres y marinas definidas por Díaz (2006), se plantean a continuación:

- **Vertimiento en aguas terrestres**.

Los ríos poseen las características de autodepurarse. Esto significa que junto con el consumo de oxígeno producto de la respiración aerobia de las formas vivientes que en el subsisten, habrá una reoxigenación debido a la disolución de oxígeno atmosférico producto de la turbulencia dada por la corriente y a la acción fotosintética de las algas presentes. Lógicamente, durante las horas de sol la reoxigenación será mayor que durante la noche. Esta es mucho más aguda cuando se trata de ríos poco caudalosos. Por otra parte en dependencia de la estación del año, la respuesta del río puede variar apreciablemente, pues en ello influirán el caudal de agua, la temperatura y el nivel de radiación entre otros factores.

- **Vertimiento en aguas marinas**.

El vertimiento de residuales líquidos en el mar se debe hacer por medio de tuberías largas (emisarios submarinos) que permitan la descarga lejos de la costa. En el caso de vertimiento en mares, el efecto de reducción del oxígeno disuelto en el área de vertimiento deja de tener importancia, debido principalmente a que la dilución lo atenúa en un grado tal, que deja de ser significativo. En este caso cobra mucha importancia la presencia de microorganismos patógenos, sólidos con posibilidad de flotar, grasas, sustancias tóxicas y coloreadas.

1.7 Reutilización del agua.

La reutilización de las aguas residuales es una práctica especialmente indicada si se trata de efluentes de origen doméstico, aplicándose igual a las aguas residuales urbanas que no contengan residuales

industriales por los contenidos de sustancias químicas tóxicas que éstos puedan contener. (Gutiérrez,J. 1998)

El reuso de aguas residuales tratadas con altos niveles de calidad que en la actualidad se vierten al medio ambiente posterior al tratamiento en las Estaciones Depuradoras, recibe una atención creciente como fuente viable de recursos hidráulicos. En muchos lugares la reutilización es un elemento importante en la planificación de los recursos. (Gutiérrez,J. 1998)

En la instrumentación y planificación de los planes de recuperación y utilización de las aguas residuales, el factor que normalmente determina el grado de tratamiento necesario y el nivel de confiabilidad deseado en los procesos y operaciones de tratamientos, suele ser, el uso al que se quiera destinar el agua residual tratada; por lo que se hace necesario evaluar la fiabilidad de las operaciones puesto que la recuperación de las aguas residuales obliga a un suministro continuo con determinada calidad. Fundamentalmente se evaluarán y analizarán las aplicaciones a las que va a ser destinada, lo cual considera de manera especial la calidad como índice para la protección del medio ambiente y mitigar los riesgos para la salud pública. (Gutiérrez, J. 1998).

En los últimos años según Birket (1999), Tabloide de medio ambiente (2008), debido a la creciente escasez de agua fresca, la necesidad de proteger el medio ambiente y aprovechar económicamente los residuales, se ha promovido internacionalmente el reuso de efluentes, que consiste en la utilización planificada de estos en actividades como:

- Riego agrícola, de áreas verdes en parques, cementerios y campos deportivos.
- Actividades industriales (sistemas de enfriamiento, alimentación de calderas y otros).
- Recarga de acuíferos, acuicultura y alimentación de lagos recreativos.
- Descarga de inodoros, sistemas contra incendios.

Para la mayoría de estos usos se han establecido requerimientos de calidad. En el análisis de la conveniencia de reusar el agua residual deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Valoración de las necesidades de tratamiento y disposición de aguas residuales, así como de los beneficios de reuso (precio del agua potable y costo del reuso).
- Análisis del mercado para el reuso.
- Análisis de alternativas y factibilidad técnico económica.

En aquellas partes del mundo que enfrentan una creciente escasez de agua, las autoridades han tenido que recurrir a la reutilización de las aguas residuales tratadas para rellenar acuíferos, riego de cultivos, procesos industriales, recreo y otros usos.

En Cuba específicamente, este tema no se encuentra aún muy definido; aunque la política del estado está dirigida al control y preservación del medio ambiente como miembro firmante de la Agenda 21, por dificultades económicas y culturales, solamente en dos actividades se notan algunos avances en cuanto a la aplicación del reuso de las aguas residuales: en el turismo para el riego de áreas verdes y jardines, y en algunos casos para el fregado de carros; otro en el riego de organopónicos a vegetales que necesitan cocción para su consumo.(Gutiérrez, 1998)

En algunos lugares, por ejemplo: California, en Estados Unidos, desde hace varios años usan el agua residual tratada además, para el llenado, reposición y mantenimiento de los lagos de recreo y lagos, fuentes y espejos de agua ornamentales; han establecido para la calidad del agua tratada valores a los parámetros: DBO (0.7 mg/L), DQO (10 mg/L), Sólidos Suspendidos (0 mg/L), Turbidez (0.3 UJ), Fósforo (0.10 mg/L), Coliformes (<2 por NMP/100 mL) (Cajigas, 1980), con el objetivo de proceder para estos fines. Se puede observar que los valores que se exigen son para una calidad de agua superior, propia de sociedades altamente desarrolladas.

También en México, de acuerdo a normas vigentes NOM-003-ECOL-1996. *Para Servicios al público*, tienen en cuenta el aprovechamiento del agua residual tratada para los objetivos mencionados anteriormente, en la cual se categoriza el uso en dependencia del tipo de servicio, en la cual se tiene en cuenta el contacto directo o indirecto con las personas, como se muestra a continuación en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Límites máximos permisibles de contaminantes en agua residual tratada

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	COLIFORMES TOTALES (NMP/100 mL)	**HUEVOS DE HELMINTOS** (h/L)	**GRASAS Y ACEITES** (mg/L)	**DBO_5** (mg/L)	**SST** (mg/L)
Con contacto indirecto u ocasional (1)	1000	≤5	15	30	30
Con contacto directo (2)	240	≤1	15	20	20

(1): Riego de jardines y camellones en autopista; camellones en avenida; fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

(2): El llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

En Cuba existen normas que por los valores máximos permisibles que se establecen en ellas para diferentes parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua, limitan el vertimiento y reuso de las aguas residuales; entre ellas podemos encontrar las ya mencionadas NC 27:1999 y la NC 521:2007, otras que limitan el reuso en labores agrícolas que no se mencionan en esta trabajo por no ser objeto de estudio.

En la recopilación de este tipo de información no se encontró normativas específicas que limiten los parámetros de calidad del agua en fuentes y espejos de agua, ornamentales; solo la NC 22: 1999. "Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores" que marca diferencia en el tipo de contacto con el agua, directo o indirecto, y a partir de ahí, los patrones a tener en cuenta, solo del tipo bacteriológico.

1.8 Estudio de impacto ambiental.

El estudio de impacto ambiental según Conesa (1997) es:

- Un estudio técnico, de carácter interdisciplinario, que incorporado en los distintos procedimientos de gestión ambiental está destinado a identificar, valorar, reducir y corregir las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones, del proyecto futuro o de de la actividad presente y funcionando, pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno.
- Un elemento de análisis que interviene de manera esencial en cuanto a dar información en el procedimiento administrativo que es la evaluación de impacto ambiental (EIA).
- Una herramienta técnico fundamental de un proceso de análisis encaminado a identificar, predecir, interpretar, valorar, prevenir, corregir y comunicar el efecto de un plan, proyecto o actividad sobre el Medio Ambiente interpretado en términos de salud y bienestar humanos.

A fin de definir el marco y los posibles aspectos centrales de la evaluación de impacto ambiental, será necesario clasificar y examinar los efectos ambientales del proyecto planificado según su naturaleza, envergadura e importancia, utilizando para ello los documentos comúnmente disponibles y el material de trabajo pertinente. Podrán utilizarse los datos sobre la configuración y el marco general del proyecto, así como la generación, difusión y deposición final de sustancias que pueden ser contaminantes, las intervenciones directas e indirectas en el ecosistema que contribuyan a modificar los ciclos de la materia y las alteraciones primarias y secundarias previsibles en la situación socioeconómica de los habitantes de la zona. Al tomar como base esta información, se formularán los correspondientes términos de referencia para la evaluación de impacto ambiental (Lago, 2003).

1.9 Conclusiones Parciales.

1. Es de gran importancia el control y regulación de los consumos de agua potable para garantizar el ahorro de la misma.
2. Las aguas residuales en dependencia de su origen se pueden clasificar en:
   - Aguas residuales urbanas.
   - Aguas residuales industriales.
   - Aguas residuales pluviales.
3. Los procesos de tratamiento de agua, atendiendo a la función que realizan, se clasifican en:
   - Tratamiento primario o físico.
   - Tratamiento secundario o biológico.
   - Tratamiento terciario o avanzado.
4. Son necesarios los controles bacteriológicos por su importancia directa con el hombre.
5. Es importante conocer y consultar las normas existentes para el vertimiento y reuso de aguas residuales tratadas para evitar la contaminación.
6. No existe una norma específica para la calidad de agua en fuentes y espejos de agua ornamentales.

El presente trabajo se realiza en los hoteles: Try Península, Playa Alameda, Princesa del Mar, Barceló Marina Palace y Sirenis Salinas, ubicados en la Península de Hicacos, los cuales tributan sus aguas residuales a la planta de tratamiento por lodos activados “Tryp Península” con el propósito de analizar la propuesta de reutilización del efluente procedente de dicha planta de tratamiento en fuentes y espejos de agua de los hoteles mencionados.
Para realizar el estudio se diseña el esquema metodológico que se presenta en la figura 2.1

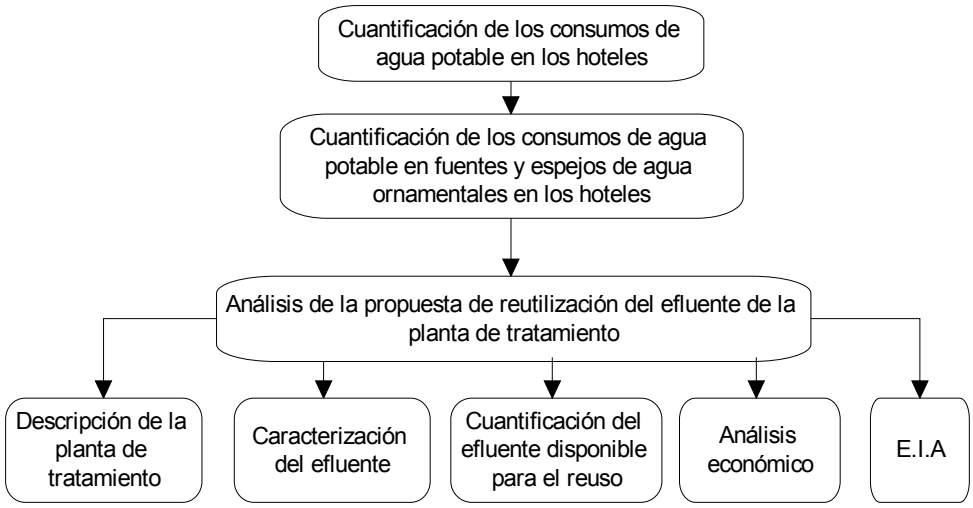


Figura 2.1 Esquema metodológico para la investigación.

En este capítulo se hace referencia a los materiales y métodos empleados en la investigación, donde se parte de la cuantificación de los consumos de agua potable en los hoteles ubicados en la zona objeto de estudio, de la cuantificación de agua potable que se utiliza en cada uno de los hoteles para los fines ornamentales, del estudio de las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua procesada en la planta de tratamiento, así como la cantidad de agua disponible que se puede utilizar para los usos ya mencionados. Finalmente se realiza una evaluación económica y ambiental de la propuesta de reutilización del agua tratada
Para el desarrollo de toda la investigación se utilizan tanto los métodos de investigación teóricos como

los empíricos. Dentro de los métodos de investigación teóricos se utilizan los siguientes:

- Métodos de análisis y de síntesis.

Estos métodos no existen de forma independiente uno del otro. El análisis se produce mediante la síntesis, ya que el análisis de los elementos de la situación problemática se realiza con la conjugación de los elementos de un complejo entre sí y se vinculan a la situación problema como un todo. A su vez la síntesis se produce sobre la base de los resultados previamente obtenidos por el análisis.
Dentro de los métodos de investigación empíricos se utilizan los siguientes:

- La observación

La observación constituye un conjunto de comprobaciones para una u otra hipótesis o teoría, y depende en gran medida, de ese fin. No se registran simplemente datos cualesquiera, sino que se escoge de manera consciente aquellos que confirman o rechazan la idea.
La observación como método científico es una percepción atenta, racional, planificada y sistemática de los fenómenos relacionados con los objetivos de la investigación, en sus condiciones naturales y habituales, es decir, sin provocarlos se utilizan medios científicos, con vistas a ofrecer una explicación científica de la naturaleza interna de estos. En la presente investigación se utiliza la observación externa y dentro de ella la observación directa porque es en la que el investigador entra en contacto inmediato con el objeto de observación.

- La entrevista

Es una conversación de carácter planificado entre el entrevistador y el (o los) entrevistado(s), en la que se establece un proceso de comunicación en el que intervienen de manera fundamental los gestos, las posturas y todas las diferentes expresiones no verbales tanto del que entrevista como del que se encuentra en el plano de entrevistado.
La entrevista es uno de los principales métodos para llevar a cabo una investigación, pues a través de ella se puede obtener información y recopilación de datos del objeto de estudio.

2.1 Cuantificación de los consumos de agua potable en los hoteles que se incluyen en el área de estudio.

Para la cuantificación de los consumos de agua potable en los hoteles, se realiza una recopilación de datos mensuales correspondientes al consumo de agua potable de los diferentes hoteles de la zona de estudio en los años 2006, 2007 y 2008, en la Dirección Comercial de la Empresa Aguas Varadero, órgano rector del suministros de agua potable en el polo turístico.
El procesamiento estadístico de los datos de consumo de agua potable de los hoteles, se realiza a través de la metodología propuesta en la figura 2.2, la cual es una adaptación de la metodología propuesta por Martínez (2005).

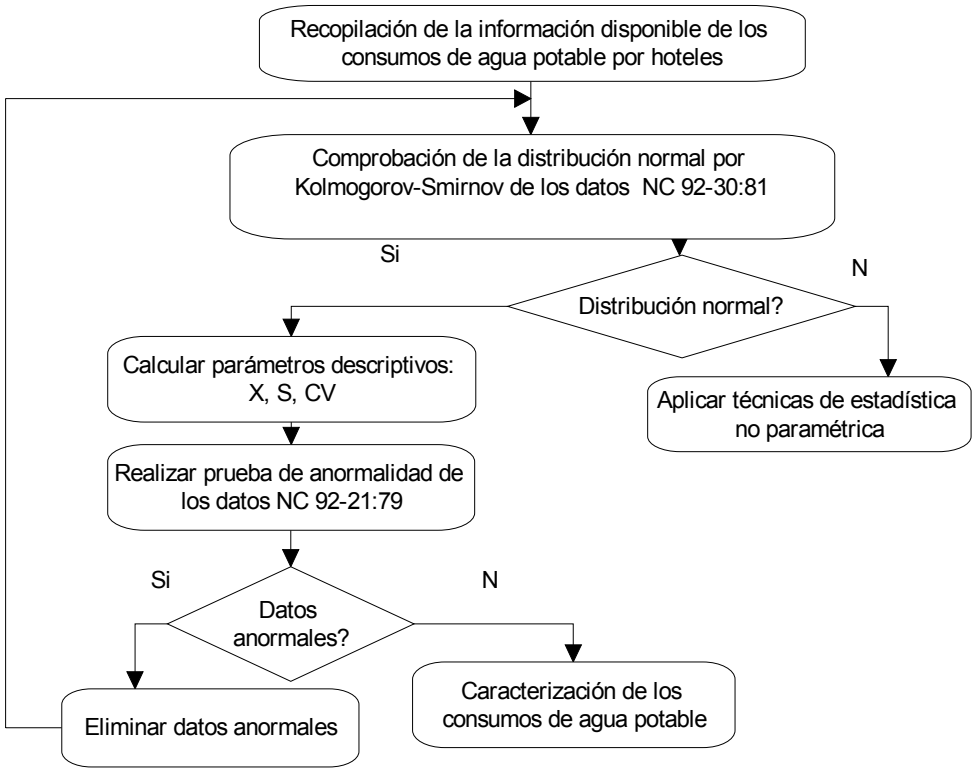


Figura 2.2. Esquema metodológico para el procesamiento estadístico de los consumos de agua potable por hoteles.

Después de la recopilación de la información debe comprobarse que los datos cumplen con la distribución normal, por lo que se realiza el análisis de normalidad de cada una de las variables.
Para ello se propone utilizar la prueba de Kolmogorov – Smirnov (NIST/SEMATECH, 2002). Esta prueba se basa en comprobar, a partir de una hipótesis nula, si existe una buena bondad de ajuste entre la distribución de los datos experimentales y la distribución teórica deseada, en este caso la distribución normal.
En la prueba se calcula la distancia vertical máxima entre la función de distribución acumulativa de los datos y la función de distribución acumulativa de la distribución teórica deseada (DN). Si la distancia es suficientemente grande, el valor de probabilidad (P-value) es pequeño. Si el valor de probabilidad es menor que un nivel de significación deseado (α), tal como 0,10 para un 90 % de confiabilidad, se rechaza la hipótesis de que la muestra de datos experimentales responda a una distribución normal.
Después de comprobar la normalidad de los datos se realiza la caracterización estadística de cada una de las variables donde se determinan los parámetros descriptivos, tales como: la media muestral ($\overline{X}$), la desviación típica muestral (S) y el coeficiente de variación (CV).
Si al realizar este análisis se observa que los coeficientes de variación son muy elevados, esto puede estar influenciado por la presencia de datos anormales (datos desviados grandemente del grupo de resultados normales de las observaciones), por lo que debe realizarse una prueba para evaluar la anormalidad de los datos de cada una de las variables, tomando como base la NC 92-21:79: Procedimiento para evaluar la anormalidad de los resultados de las observaciones. Esta norma establece las reglas para determinar los resultados anormales de un conjunto de observaciones de una variable aleatoria continua, cuya distribución probabilística sea normal.

Para evaluar si X_n ó X_1 (máximo o mínimo valor respectivamente) son datos anormales o no y tomar una decisión sobre la exclusión o inclusión de X_n (ó X_1) en la composición de la muestra, se halla el valor de los estadígrafos:

$$t_n = \frac{X_n - \bar{X}}{S} \text{ y } t_1 = \frac{\bar{X} - X_1}{S} \qquad (2.1)$$

El resultado que se obtiene se compara con un valor límite (h) que se toma de la norma en función del tamaño de la muestra (n) y el nivel de significación (α = 10 %). Los valores de h se muestran en la Tabla 2.1.

Si tn $\geq$ h ó t1 $\geq$ h se dice que el resultado de la observación que se sospecha anormal es anormal y debe ser excluido. Es decir si tn $\geq$ h se excluye el valor máximo y si t1 $\geq$ h se excluye el valor mínimo, repitiéndose este proceso tantas veces como fuese necesario. Cuando la mencionada tabla no contempla el valor n, se calcula el valor de h mediante interpolación.

Tabla 2.1 Valores límites (h) para el nivel de significación α = 10%. NC 92-21:79

Tamaño de muestra n	Valor límite de h	Tamaño de muestra n	Valor límite de h
3	1,150	16	2,440
4	1,460	17	2,480
5	1,670	18	2,500
6	1,820	19	2,530
7	1,940	20	2,560
8	2,030	25	2,870
9	2,110	30	2,928
10	2,180	40	3,015
11	2,230	50	3,082
12	2,290	100	3,285
13	2,330	250	3,534
14	2,370	500	3,703
15	2,410		

A las variables que por esta prueba se le elimina el valor máximo o mínimo por considerarse anormal se pasa a realizar nuevamente la prueba de Kolmogorov – Smirnov para asegurar que siguen cumpliendo con la distribución normal y se le determinan posteriormente los parámetros descriptivos que los caracterizan.

Después de realizar la prueba de anormalidad de los datos se obtiene la caracterización estadística de los consumos de agua potable en los hoteles ubicados en la zona de estudio.

Los resultados que se obtienen del procesamiento estadístico, se comparan con los valores de consumo de agua potable que se reportan en la NC 45-9:1999. “Bases para el diseño y construcción de inversiones turísticas”, en función de la categoría de los hoteles, del número de habitación que tenga cada uno de ellos y del índice ocupacional en cada caso.

El valor índice de ocupación hotelera que se utiliza es el valor estimado como el promedio de los años 2006 y 2007 en estudios realizados por la Oficina Nacional de Estadísticas de la República de Cuba para hoteles categoría 5 estrellas en Varadero. (Anexo 4)

Los hoteles que se analizan se incluyen en la categoría 4 y 5 estrellas y en los índices de consumo que brinda la NC 45-9: 1999 no se especifican los consumos por concepto de llenado y reposición diaria de agua para usos ornamentales, por eso se considera la cuantificación de estos en lo adelante.

2.2 Cuantificación de agua potable en fuentes y espejos de agua ornamentales en los hoteles que se incluyen en el área de estudio.

Para la cuantificación de agua potable que se utiliza en los ornamentos acuáticos en cada uno los hoteles se necesita la información sobre el volumen de agua que contienen las fuentes y los espejos de agua existentes y la frecuencia de llenado y vaciado de los mismos.
En recorridos realizados por cada uno de los hoteles y por medio de las entrevistas con personal de mantenimiento de las propias instalaciones hoteleras, se pudo comprobar que los datos de volumen de agua que contienen las fuentes y los espejos no están en su totalidad disponibles, sólo en el Hotel Tryp Península se recogió el dato exacto del volumen de agua que contienen los espejos de agua existentes en este lugar.
El volumen de agua contenida en los ornamentos acuáticos de los demás hoteles, se determina, en unos casos por medio de la observación y medición directa en el lugar, como es en el Hotel Playa Alameda mientras, en los restantes hoteles, los datos de área superficial y altura promedio de agua de los espejos y fuentes, se obtienen por medio de informaciones archivados por los especialistas de la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas que trabajan en las oficinas de proyectos en Varadero, ubicadas en la zona de estudio. En el caso del hotel Playa Alameda, en el cual se realizaron las mediciones en el lugar y los hoteles donde ha sido posible contar con los datos de área y altura de agua, se determina el volumen de agua contenida en el interior de los ornamentos acuáticos al aplicar la ecuación 2.2:

$$V_T = \sum_{i=1}^{n} A_i \times H_i \qquad (2.2)$$

donde:
A_i: Área superficial de cada fuente o espejo de agua (m^2).
H_i: Altura promedio de agua en cada fuente o espejo de agua (m).
V_t: Volumen total de agua contenida en los espejos de agua y fuentes ornamentales en cada hotel.
n: Cantidad de espejos de agua y fuentes ornamentales.

La información referente al intervalo de tiempo en que ocurre la renovación del agua de las fuentes y espejos ornamentales, se recoge de manera precisa en cada hotel en las entrevistas realizadas a los responsables de mantenimiento.
Los consumos de agua potable de cada instalación hotelera por uso en fuentes y espejos de agua vienen dados de acuerdo a la ecuación 2.3:

$$\mathbf{C_a = C_{RT} + C_{RD}} \qquad (2.3)$$

donde:
C_a: Consumo de agua potable en cada hotel por uso en los espejos de agua y fuentes ornamentales (m^3/año).
C_{RT}: Consumo de agua en cada hotel por la reposición total del volumen de agua en las fuentes y espejos de agua (m^3/año).
C_{RD}: Consumo de agua en cada hotel por la reposición diaria del volumen de agua en las fuentes y espejos de agua (m^3/año).
Los consumos de agua por reposición total y reposición diaria, se determinan a partir de las siguientes expresiones:

$$C_{RT} = V_T \times f_0 \qquad (2.4)$$

$$C_{RD} = rV_T \times f_1 \qquad (2.5)$$

donde:
V_t: Volumen total de agua contenida en los espejos de agua y fuentes ornamentales en cada hotel (m^3).
f_0: Número de veces que ocurre la reposición total de agua en el año (veces /año).
r: Porciento de agua a reponer diariamente en los espejos de agua y fuentes ornamentales.
f_1: Cantidad de días al año que ocurre la reposición diaria (veces /año)

El porciento de agua a reponer diariamente en los espejos de agua y fuentes ornamentales (r) se considera similar al valor dado en la NC 45-9: 1999 para piscinas, el cual oscila entre 2 y 5 % del volumen total, y viene dado por pérdidas de agua diaria producto de la evaporación, ya que los depósitos se encuentran en zonas exteriores en contacto directo con los rayos del sol, además por las posibles salpicaduras de agua movidas del lugar por el viento al incidir sobre los efectos decorativos presentes como son los surtidores y cascadas.
La cantidad de días al año en que ocurre la reposición diaria (f_1), se determina al excluir de los 365 días del año:

- Los días que se vacían las fuentes ornamentales y espejos de agua para la limpieza y los días que se llena nuevamente (dos días por cada operación de vaciado).
- Los días de lluvias intensas. Este dato se obtiene según estudios realizados por el Instituto de Meteorología de la provincia de Matanzas, para la zona de Varadero, el cual ofrece un valor promedio anual de 123 días de lluvias intensas para el período de estudio.

2.3 Análisis de la propuesta de reutilización del efluente de la planta de tratamiento, en fuentes y espejos de agua de los hoteles ubicados en la Península Hicacos.
Para el análisis de la propuesta de reutilización del efluente de la planta de tratamiento Tryp Península en los usos ornamentales de agua dentro de los hoteles que se incluyen en el estudio, que a su vez son los mismos que vierten sus aguas residuales en la planta para ser procesadas, es necesario conocer la descripción de la planta de tratamiento, el comportamiento de los diferentes parámetros del efluente en cuanto a su calidad y así también, poder determinar qué parte de dicho efluente podría ser utilizada en los fines señalados en sustitución del agua potable.

2.3.1 Descripción de la planta en estudio.
Para realizar la descripción del proceso de la planta en estudio se utilizan los métodos de investigación teóricos y empíricos que se han mencionado con anterioridad.
La aplicación de todos los métodos se realiza a través de un recorrido por la planta con el operador de la misma, en la cual se logra describir detalladamente cada uno de los equipos, su funcionamiento y los tipos de tratamiento que se le aplican al agua residual, tomando como referencia una breve explicación de estos elementos presentes en el manual de operación de la planta. Una vez que se logra la descripción detallada del proceso se confecciona el diagrama de flujo incluyendo todas las operaciones y corrientes que intervienen en el sistema de depuración del agua residual.

2.3.2 Caracterización del efluente de la planta.
Para la caracterización del efluente de la planta de tratamiento se realiza el análisis de diferentes parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que por su importancia brindan la información sobre la eficiencia del tratamiento de residuales.
La metodología propuesta para la caracterización estadística del efluente es una adaptación para las condiciones de la presente investigación de la metodología propuesta por Martínez (2005) para la caracterización del efluente en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales que se ubican en zonas turísticas. La misma se nutre de informaciones disponibles del muestreo que se realiza a la planta de tratamiento de residuales en cuestión a través de los meses o incluso de los años de funcionamiento de la misma y se resume en forma de organigrama en la Figura 2.3

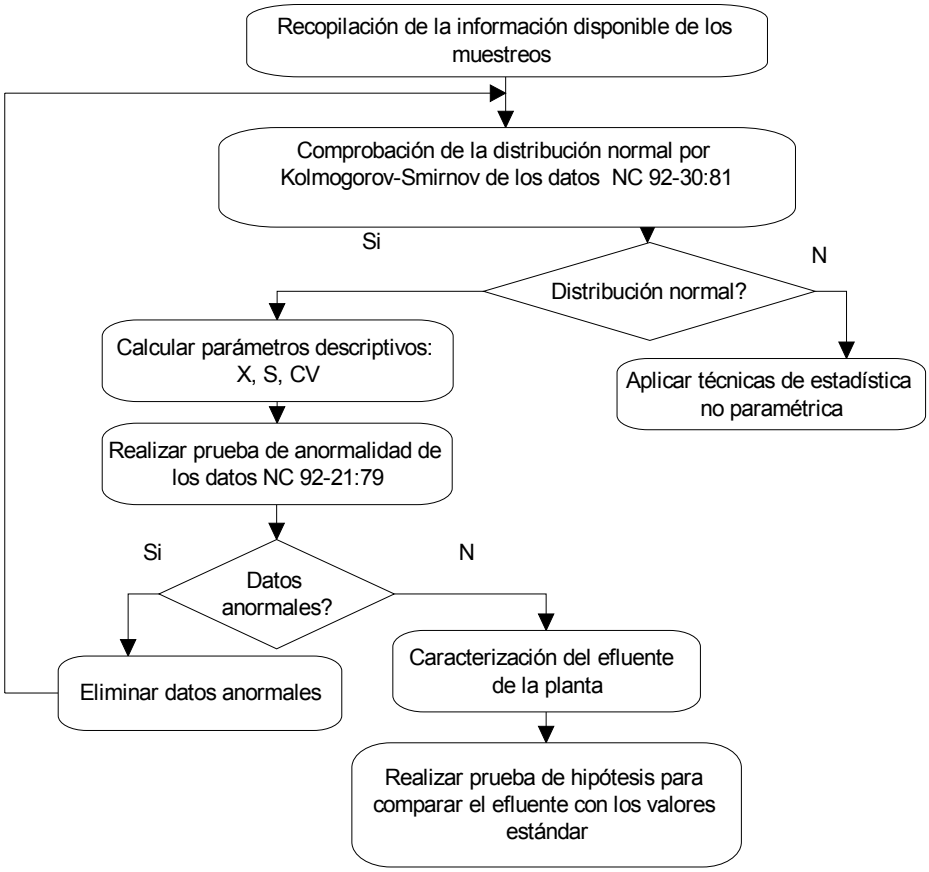


Figura 2.3 Metodología para la caracterización estadística del efluente de la planta de tratamiento

La caracterización del efluente incluye parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, los cuales se dan a continuación:

pH: Brinda información acerca del grado de acidez que presenta el residual. El control de esta variable es sumamente importante para el buen funcionamiento del proceso debido a que el mismo se lleva a cabo por microorganismos, los cuales son susceptibles a cambios de esta variable y que pueden desarrollarse óptimamente en un determinado intervalo de la misma. Se utiliza para su determinación el método potenciométrico directo (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

Conductividad: Es una medida de la capacidad de un agua de conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la concentración de las sustancias químicas cargadas eléctricamente que haya en el agua, por lo que indirectamente nos indica el contenido de las sales disueltas presentes en dicha agua. (Terry C; Gutiérrez J; Abó M, 2006).

Alcalinidad: Es una medida de la capacidad de una agua residual de neutralizar un ácido fuerte a un pH determinado como punto final de reacción. La alcalinidad se expresa en miligramos de carbonato de calcio por litro (mg/L CaCO3) y significa la alcalinidad equivalente a esa cantidad de carbonato de calcio. (Terry C; Gutiérrez J; Abó M, 2006).

Dureza: Ofrece información sobre la cantidad de iones calcio y magnesio presentes en el agua. El ácido etilendiamino tetracético y sus sales disódicas, EDTA, forman quelatos solubles pocos disociados, cuando se adiciona a una solución que contiene cationes divalentes como Ca ++ y Mg++.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Proporciona una medida de la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica presente en el residual. Da una idea rápida del grado de contaminación que puede provocar el residual. Se utiliza para su determinación el método volumétrico

redox a partir de la oxidación de la muestra con dicromato de potasio en medio ácido y valoración por retroceso con sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr) (APHA, AWWA, WPCF, 1992).
Sólidos suspendidos: Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) brindan información acerca de la cantidad de microorganismos en el sistema y los sólidos suspendidos totales (SST) sobre la posibilidad de sedimentación total en el sistema. Se utiliza para su determinación el método gravimétrico (APHA, AWWA, WPCF, 1992).
Coliformes: El contenido de coliformes presente, da la medida de la calidad bacteriológica del agua residual, el tipo de tratamiento e intensidad de desinfección a usar. Los métodos que se usan para su determinación son: como colonias de coliformes por 100 mL cuando se usa la técnica del filtro de membrana, conteos en placa por mL de muestra, número más probable (NMP) de organismos coliformes por 100 mL de muestra cuando se usa la técnica del dilución en serie, (Fair, Geyer y Okum, 2001; APHA, AWWA, WPCF, 1992). Este último método es el que se aplica en la planta de tratamientos. Como nueva Instrucción Integrada de Ensayo en el laboratorio, además, se ha comenzado a examinar por muestreo, la presencia de huevos de helmintos en el efluente, con el objetivo de obtener un criterio más amplio en la calidad del agua residual por este aspecto, que al comparar los valores que se obtienen contra los patrones permisibles planteados en las normas según uso o vertimiento, ofrece como resultado, si el uso es indicado o si se hace necesario tratamientos adicionales para atenuar o eliminar la presencia de bacterias y virus que atentan contra la salud del hombre al entrar en contacto con él. Para estos ensayos, se siguen los procedimientos establecidos en Instrucciones Integradas de Ensayos con fechas 14/08/06 y 22/10/08 para la determinación de coliformes totales y conteo de huevos de helmintos, respectivamente, aprobado por el Departamento de Calidad de la empresa Aguas Varadero, los mismos toman como base los procedimientos que se describen según APHA, AWWA, WPCF, 1992. En estos documentos se da una explicación detallada del procedimiento para ejecutar los ensayos e incluso, se indican los requisitos de seguridad para evitar que el personal que acciona con las muestras contraiga enfermedades.
La metodología que se propone para la caracterización comienza con la recopilación de la información disponible del muestreo mensual que se realiza en el laboratorio de La Empresa Aguas Varadero para lo cual se toma como referencia los años 2006, 2007 y 2008. Una vez que se recopila la información el procesamiento estadístico de los datos se lleva a cabo de manera similar a la metodología explicada para la caracterización de los consumos de agua potable en los hoteles.
Al obtener la caracterización físico – química y bacteriológica del efluente del sistema de tratamiento se decide investigar si cumple con los niveles establecidos para su posterior uso o vertimiento, por lo que se plantea como hipótesis estadística la siguiente:
Los parámetros que caracterizan el efluente de la planta cumplen con los niveles establecidos para su posterior uso o vertimiento.
Para la comprobación de esta hipótesis se realiza una prueba de hipótesis para comparar la media de la población contra un valor estándar. Para la comparación se utilizan las normas NC 22: 1999. Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénicos sanitarios, NC 27:1999. ”Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, y NC 521: 2007: Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas: Especificaciones, para garantizar la calidad requerida para su uso en fuentes y espejos de agua ornamentales.

2.3.4 Cuantificación de la cantidad de efluente disponible para el uso en fuentes y espejos de agua.

Para el estudio de la alternativa de reuso de agua residual en fuentes y espejos de agua, ornamentales, es necesario investigar qué cantidad de agua procesada que sale de la planta de tratamientos está disponible para el reuso, si se sabe que sólo una parte de esta se reutiliza en la irrigación de las áreas verdes de los hoteles de estudio, un porciento muy pequeño se utiliza en las labores propias de la planta y la otra parte se desecha totalmente y se infiltra en pozos construidos en área aledaña a la planta.
Para la determinación del agua tratada que se desecha mediante infiltración, se realiza un balance de masa en unidades volumétricas que permitirá conocer si esta agua cubre las necesidades totales del

consumo que hace falta para el llenado y reposición diaria de las fuentes y espejos de agua o de qué cantidad se dispone para cubrir estos objetivos.
La expresión del balance de masa es la siguiente:

$$C_{efluente} = C_{riego} + C_{\inf iltra} + C_{planta} \qquad (2.5)$$

donde:
$C_{efluente}$: Agua tratada que se obtiene en la planta (m^3/mes).
C_{riego}: Agua tratada que se destina al riego de áreas verdes de los hoteles (m^3/mes).
$C_{infiltra}$: Agua tratada que se infiltra a pozos (m^3/mes).
C_{planta}: Agua tratada que se destina a labores propias dentro de la planta (m^3/mes).

La cuantificación del agua tratada que se obtiene en la planta ($C_{efluente}$), se realiza a través de una estimación a partir del agua residual que procesa. Según criterio de los operarios de la planta, existe una pérdida de agua de un 5% a lo largo del sistema de tratamiento, por lo que el agua tratada puede estimarse como un 95% del agua residual que se procesa ($C_{afluente}$).
La información sobre de los valores promedios mensuales del agua residual que se procesa en la planta de tratamiento (afluente) así como el efluente que se utiliza para el riego de áreas verdes (C_{riego}), se recopila en el laboratorio de La Empresa Aguas Varadero en la misma planta de tratamiento para los años 2006, 2007 y 2008.
El agua tratada que se destina a las labores propias dentro de la planta, como son riego interno y limpieza se consideran despreciable comparada con la cantidad de agua que sale de la planta para el riego de áreas verdes de los hoteles y con la cantidad de agua que se infiltra.
El procesamiento estadístico de la cantidad de agua residual que se trata en la planta ($C_{afluente}$), se realiza a través de la misma metodología que se utiliza para la cuantificación de agua potable, descrito en epígrafe 2.1.
La cantidad de agua que se utiliza para el riego de áreas verdes depende de la época del año que sea. En Cuba se consideran dos temporadas: la "época de lluvia" y la "época de poca (o menos) lluvia", por tanto la información que se recopila sobre la cantidad de efluente que se utiliza en riego, se divide en función de estas dos temporadas y así se realiza el procesamiento estadístico a través de la misma metodología usada en la investigación para la cuantificación del resto de los consumos de agua.

2.3.5 Análisis económico de las alternativas.

El análisis económico se realiza a través del ahorro de agua potable que se obtiene a partir de los consumo de agua que se utilizan en los espejos de agua y fuentes ornamentales y por medio de la determinación de los costos de alternativas que se presentan a continuación.
Las alternativas que se consideran son las siguientes:

1. Alternativa 1: Caso Base. Consiste en la utilización de agua potable en las fuentes y espejos de agua, ornamentales, la cual considera un incremento en los consumos de agua potable en la zona de estudio.
2. Alternativa 2: Alternativa Propuesta. Consiste en la utilización de agua tratada en las fuentes y espejos de agua, ornamentales, la cual considera un ahorro de los consumos de agua potable en la zona de estudio

Para la determinación del costo del Caso Base se tiene en cuenta el consumo promedio mensual de agua potable que se tiene realmente en la zona de estudio el cual incluye los consumos para las fuentes y espejos de agua, y el precio correspondiente al m^3 de agua potable. El costo se determina a través de las expresiones 2.6 y 2.7, dadas a continuación:

$$\mathbf{C_{CBm} = Cap_T \times P} \qquad (2.6)$$

$$\mathbf{C_{CBa} = C_{CBm}} \times 12 \text{ meses} \qquad (2.7)$$

donde:
$\mathbf{C_{CBm}}$: Costo del Caso Base (cuc x m^3/mes).

C_{CBa}: Costo del Caso Base (cuc x m^3/año).
Cap_T: Consumo promedio total de agua potable entre todos los hoteles de estudio (m^3/mes).
P: Valor del m^3 de agua potable expresado en cuc.
Para determinar el costo de la Alternativa Propuesta se plantean las expresiones 2.8 y 2.9 dadas a continuación:

$$\mathbf{C_A = Cap_A \times P + Cap_F \times P_R} \qquad (2.8)$$
$$\mathbf{Cap_A = Cap_T - Cap_F} \qquad (2.9)$$

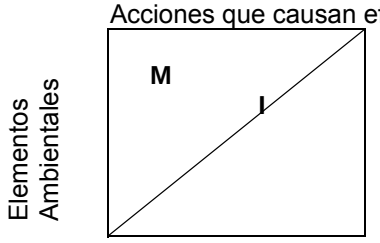
donde:
C_A: Costo de la Alternativa Propuesta (cuc x m^3/mes o cuc x m^3/año).
Cap_A: Consumo promedio de agua potable de la Alternativa Propuesta (m^3/mes o m^3/año).
P: Valor del m^3 de agua potable expresado en cuc.
Cap_F: Consumo de agua potable total para fuentes y espejos de agua en la zona de estudio (m^3/mes o m^3/año).
P_R: Valor del m^3 de agua de reuso expresado en cuc.
Cap_T: Consumo promedio total de agua potable entre todos los hoteles de estudio (m^3/mes o m^3/año).
El valor del ahorro económico se determina a partir de los costos para las alternativas planteadas anteriormente como Caso Base (Alternativa 1) y como Alternativa Propuesta (Alternativa 2) para la zona de estudio, mediante la expresión 2.10 que se plantea a continuación:

$$\mathbf{Ah = C_{CBm} - C_A} \qquad (2.10)$$

donde:
Ah: Valor del ahorro económico (cuc/mes)
C_{CBm}: Costo del Caso Base (cuc x m^3/mes)
C_A: Costo de la Alternativa Propuesta (cuc x m^3/mes).
El valor del ahorro económico anual se obtiene al multiplicar el valor que se obtiene de la expresión 2.10 por los 12 meses del año y se expresa en cuc/año.
Los valores en cuc que corresponden al m^3 de agua potable y al m^3 de agua de reuso se tienen como datos que se recopilan en la Dirección Comercial de la Empresa Aguas Varadero.
No se consideran los costos por concepto de redes para la transportación del agua de reuso ya que se aprovechan las existentes desde la planta de tratamiento hasta los distintos hoteles de estudio.

2.4 Estudio de Impacto Ambiental de la propuesta.

Para la identificación de los Impactos Ambientales se utiliza el método de la matriz interactiva desarrollado por Leopold y colaboradores en 1971. Este tipo de matriz muestra en un eje las acciones que causan efecto y en el otro los elementos ambientales. Al utilizar la matriz de Leopold se debe considerar cada acción y su potencial de impacto sobre cada elemento ambiental. (Carter, 1998).
Cuando se prevé un impacto, la matriz aparece marcada con una línea diagonal en la correspondiente casilla de esa interacción.
Luego se debe describir la interacción en términos de magnitud e importancia como se muestra a continuación:



donde:
M: representa la magnitud
I: representa la importancia

La magnitud de una interacción es su extensión o escala y se describe mediante la asignación de un valor numérico comprendido entre 1 y 10, donde 10 representa una gran magnitud y 1 una pequeña. Los valores próximos a 5 en la escala de magnitud representan impactos de extensión intermedia. La asignación de un valor numérico de la magnitud de una interacción debe basarse en una valoración objetiva de los hechos relacionados con el impacto previsto a partir del consenso del grupo de expertos o del grupo multidisciplinario que trabajan en el estudio.
La importancia de una interacción está relacionada con lo significativa que ésta sea, o con una evolución de las consecuencias probables del impacto previsto.
La escala de la importancia también varia de 1 a 10, en la que 10 representa una interacción muy importante y 1 una interacción de relativa poca importancia. La asignación de este valor numérico de la importancia se basa en el juicio subjetivo de la persona, del grupo reducido o del equipo multidisciplinar que trabaja en el estudio.
Las ventajas principales de utilizar la matriz de Leopold consisten en que es muy útil como instrumento para desarrollar una identificación de impactos y puede proporcionar un medio valioso para comunicar los impactos al proporcionar un desarrollo visual de los elementos impactados y de las principales acciones que causen impactos.
La matriz de Leopold puede emplearse para identificar impactos en varias fases temporales de proyecto, por ejemplo para las fases de construcción, explotación y abandono y para describir los impactos asociados a varios ámbitos espaciales, es decir, en el emplazamiento y en la región.
Muchos usos de la matriz de Leopold han incluido la asignación de tres niveles de magnitud e importancia:

- Las interacciones principales: Reciben las puntaciones numéricas máximas entre 7 y 10.
- Las interacciones de menor entidad: Reciben puntaciones numéricas mínimas. entre 1 y 3.
- Las interacciones de nivel intermedio: Reciben puntaciones comprendidas entre las principales y menores entre 4 y 6.

Aquí se analizan los resultados que se obtienen de los procesamientos y estudios que se han llevado a cabo en el transcurso de este trabajo.

3.1 Cuantificación de los consumos de agua potable en los hoteles que se incluyen en el área de estudio.

El agua potable que alimenta a los hoteles del sector Punta Hicacos en la Península de igual nombre, ubicados en la zona de estudio, se extrae de un conjunto de pozos ubicados en el poblado de Santa Marta, Varadero, que mediante estación de bombeo y conductora de reciente construcción, ha sido posible servir en este sentido al desarrollo hotelero de esta parte del polo turístico, el cual no contaba con la capacidad necesaria para cubrir la creciente demanda.
Se comprobó en visitas realizadas a cada una de las instalaciones turísticas, que existen instalados los metro contadores en acometidas de agua que entran a cada hotel, incluso, algunos de ellos cuentan con más de una acometida y todas están registradas. Los consumos totales de agua potable por hoteles brindados por la oficina central de comercialización de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado Aguas Varadero, se muestran en Tablas de *Anexo 5.* A estos datos de consumo de agua potable de cada hotel, se le realiza la prueba Kolmogorov-Smirnov con el objetivo de determinar si los datos se distribuyen normalmente. Los resultados de esta prueba se reflejan en Tabla 3.1 para cada caso y años de estudio.

Tabla 3.1 Resultado de la prueba Kolmogorov-Simirnov a los datos procesados de consumo de agua potable.

CONSUMO DE AGUA			
Hotel	**Año**	**P-value**	**Resultado**
Tryp Península	2006	0,8192	Distribución Normal
	2007	0,6698	Distribución Normal
	2008	0,9900	Distribución Normal

Playa Alameda	2006	0,9513	Distribución Normal
	2007	0,9973	Distribución Normal
	2008	0,9388	Distribución Normal
Princesa del Mar	2006	0,9997	Distribución Normal
	2007	0,6309	Distribución Normal
	2008	0,9625	Distribución Normal
Barceló Marina Palace	2006	0,8276	Distribución Normal
	2007	0,9938	Distribución Normal
	2008	0,9988	Distribución Normal
Sirenis Salinas	2006	-	Distribución Normal
	2007	0,8167	Distribución Normal
	2008	0,9998	Distribución Normal

Fuente: Propia

Los resultados que se muestran presentan valores de probabilidad (P- value) superiores a 0,10 para un 90 % de confianza, por lo que se acepta la hipótesis de que los datos de consumos de agua potable de cada uno de los hoteles en los años de estudio se distribuyen de forma normal. Los gráficos resultantes de la prueba de normalidad de los datos se muestran en *Anexo 6* para cada hotel.

En el *Anexo 5* se puede observar que al caracterizar estadísticamente los datos de consumo, se tienen algunos valores de coeficientes de variación (CV) superiores al 12% (valor que se establece para considerar que no existe dispersión) aunque en pequeña medida.

Los datos de consumo de agua potable correspondiente al hotel Sirenis Salinas en el año 2007 presentan valores de coeficiente de variación (CV) de 69%, lo cual es indicativo de que presentan gran inestabilidad debido a las irregularidades del comienzo de la explotación del hotel a partir del mes de abril de ese mismo año, sin embargo, no sucede lo mismo en el año siguiente donde se muestra que los consumos presentan menor dispersión, por lo que se decide excluir del análisis los valores de consumos de agua potable del año 2007 de este hotel.

En el *Anexo 7* se muestra las tablas de los resultados después de realizar la prueba de anormalidad de los datos, donde se puede observar que los coeficientes de variación han disminuido después de eliminar aquellos datos que se encuentran desviados grandemente respecto a los demás del grupo de las observaciones.

En la Tabla 3.2 se resumen los consumos promedios mensuales de agua potable por hoteles en los años de estudio.

Tabla 3.2 Resumen de los consumos promedio mensuales por hotel en 2006, 2007 y 2008

HOTEL	**Número de Habitaciones**	**Consumo promedio mensual de agua potable (**m³/mes**)**			
		2006	***2007***	***2008***	$\overline{X}$ ***(TOTAL)***
		$\overline{X}$	$\overline{X}$	$\overline{X}$	
Tryp Península	591	13973,20	13814,36	13856,00	**13881,19**
Playa Alameda	391	10560,17	11320,17	11001,09	**10960,47**
Princesa del Mar	434	7975,36	8389,00	9686,20	**8683,52**
Barceló Marina Palace	636	14612,30	14785,33	16857,18	**15418,27**
Sirenis Salinas	987	0,00	0,00	17217,73	**17217,73**

Fuente: Propia

En esta tabla de resultados se observa que los hoteles de mayor consumo promedio de agua potable coinciden con los de mayor número de habitaciones, en estos casos, Barceló Marina Palace y Sirenis Salinas, sin embargo, no sucede que el hotel de menor cantidad de habitaciones sea el de menor consumo (Playa Alameda); esto pudiera estar dado por un incremento en los consumos de agua potable en las fuentes y espejos de agua, por déficit funcional de las instalaciones interiores en dicho hotel o por despilfarros.
A continuación se presentan en Tabla 3.3 los valores dados anteriormente llevados a índice de consumos por habitación al día para establecer las comparaciones con los valores que presenta la NC 45-9:1999 y analizar el comportamiento de los consumos de agua potable en cada caso.
Tabla 3.3. Resultados comparados con valor de NC 45-9:1999.

HOTEL	**Número de Habitaciones**	**Consumo promedio** (L/día./habit.) **según NC 45-9:1999 (4 y 5*)**	**Consumo promedio diario real de agua potable por habitación (para 64%ocupación);** L/día/habitación	**Sobreconsumo diario de agua potable por habitación respecto a la NC 45-9:1999 (para 64% ocupación);** L/día/habitación
Tryp Península	591	1115,0	1223,31	108.31
Playa Alameda	391		1460,00	345.00
Princesa del Mar	434		1042,09	-72.91
Barceló Marina Palace	636		1262,63	147.63
Sirenis Salinas	987		908,57	-260.43

Fuente Propia.

Los resultados que se exponen en la Tabla 3.3, se han dado en función del consumo por habitación ocupada para un 64% de ocupación, según valor promediado para los años 2006 y 2007 que se muestran en *Anexo 4*. Al valor de la norma se le excluyó el índice de consumo para el riego de áreas verdes pues realmente para este fin no se utiliza agua potable, si no de reuso, salvo eventualidades. Se observa que los hoteles Tryp Península, Playa Alameda y Barceló Marina Palace, presentan un consumo superior al que se establece por norma para una habitación en un día, siendo el caso más crítico el hotel Playa Alameda, mientras los hoteles Princesa de Mar y Sirenis Salinas, presentan un consumo inferior que pudieran estar dados porque el índice de ocupación en la realidad sea inferior al que se selecciona para el estudio, o por presentar un eficiente sistema para el ahorro de suministro de agua potable, no obstante, en el caso específico del hotel Sirenis Salinas, puede que no se haya alcanzado el promedio ocupacional por llevar poco período de tiempo en explotación.

3.2 Cuantificación de agua potable en fuentes y espejos de agua ornamentales en los hoteles que se incluyen en el área de estudio.

Para cuantificar el agua potable que se utiliza en las fuentes y espejos de agua ornamentales, es necesario conocer el volumen de agua que se almacena en cada uno de ellos (V_t), las veces al año en que se repone el volumen total de agua (f_0), así como los días al año en que se repone el agua perdida por evaporación al considerar que los días de lluvia no se repone agua por este concepto (f_1).
En la Tabla 3.4 se muestran los valores que se obtienen de estas variables.

Tabla 3.4: Variables para calcular los consumos de agua en fuentes y espejos de agua por cada hotel.

Hoteles	V_t(m^3)	f_o (veces/año)	f_1 (veces/año)
Tryp Península	**85,0**	4,0	234,0
Playa Alameda	**253,0**	24,0	194,0
Princesa del Mar	**77,0**	6,0	230,0
Barceló Marina Palace	**105,0**	5,0	232,0
Sirenis Salinas	**465,0**	5,0	232,0

Fuente: Propia

Como se puede observar, los hoteles Playa Alameda, Barceló Marina Palace y Sirenis Salinas almacenan volúmenes de agua por encima de los 100 m^3, el último mencionado es el de mayor volumen. En todos los casos, la frecuencia de reposición del volumen total de agua (f_0) oscila entre 4 y 6 veces al año, excepto en el hotel Playa Alameda que lo hacen con una frecuencia de cada 15 días para un total de 24 veces/año; a criterio de la autora, este valor es excesivo y ocurre fundamentalmente por el desconocimiento de los operarios o por falta de una atención adecuada para la limpieza y mantención del agua en dichas fuentes. Así también, se observa que no existe una relación entre el número de habitaciones de los hoteles y los volúmenes de agua dedicados a estos fines.

A continuación se presenta en la Tabla 3.5 un resumen de los consumos generales de agua por cada hotel destinados al uso en fuentes y espejos de agua que se obtienen después de aplicar la ecuación 2.3, planteada en el epígrafe 2.2.

Tabla 3.5: Resumen de consumos de agua potable en cada hotel por uso en fuentes y espejos de agua

Hoteles	***Ca*** (m^3/mes)	***Ca*** (m^3/año)
Hotel Tryp Península	111,21	1334,50
Hotel Playa Alameda	710,51	8526,10
Hotel Princesa del Mar	112,29	1347,50
Hotel Barceló Marina Palace	145,25	1743,00
Hotel Sirenis Salinas	643,25	7719,00
TOTAL	***1722,51***	***20670,10***

Fuente: Propia

En esta tabla se puede observar que el mayor consumo de agua en fuentes y espejos de agua lo presenta el hotel Playa Alameda, esto viene influenciado por el alto valor que presenta la frecuencia con que reponen todo el volumen de agua de las fuentes y espejos que existen en él. En el caso del Hotel Sirenis Salinas también presenta un consumo elevado de agua potable en estos objetivos, debido al gran volumen de agua que almacenan sus ornamentos acuáticos.

3.3 Análisis de la propuesta de reutilización del efluente de la planta de tratamiento en fuentes y espejos de agua de los hoteles ubicados en la Península Hicacos.

3.3.1 Descripción de la planta de tratamiento de residuales en estudio.

El agua residual que se trata en la planta de tratamiento proviene de los hoteles Tryp Península, Playa Alameda, Princesa del Mar, Barceló Marina Palace, y Sirenis Salinas. De los hoteles se impulsa el agua residual generada hacia la planta, todas las estaciones presentan un sistema de arranque y parada mediante controladores de nivel con sensores que les trasmiten las señales a los equipos de bombeo para que activen o desactiven el funcionamiento. En la entrada a la planta existe un registro al

que llegan las tuberías de impulsión que vienen de las estaciones de bombeo y a partir de este se conducen las aguas residuales hacia el tratamiento primario.
En el *Anexo 8* se muestra el diagrama del proceso de depuración del agua residual de la planta de tratamiento Tryp Península.
El tratamiento primario está compuesto por dos tamices rotatorios y un desarenador – desengrasador. El agua residual se conduce primeramente a los dos tamices rotatorios para separar los sólidos de mayor tamaño que acompañan al agua. Los sólidos rechazados en estos tamices se recogen en contenedores. El agua residual filtrada pasa posteriormente al desarenador - desengrasador donde se separan las arenas y las grasas por sedimentación y flotación respectivamente. Las arenas sedimentadas se extraen del proceso mediante una bomba extractora ubicada en el fondo del equipo y las grasas se eliminan a través de un puente raspador ubicado en la superficie. Acoplados al desarenador – desengrasador se encuentra un puente viajero que posee un rastrillo que lleva las grasas flotantes al embudo extractor y mediante una bomba air-lift extrae las arenas sedimentadas en el fondo además de un soplador conectado a un sistema de distribución de aire de burbuja gruesa para garantizar la flotación de las grasas y evitar la sedimentación de la materia orgánica por disminución del flujo. Las arenas y las grasas separadas se recogen en contenedores.
El agua residual, después de pasar por el tratamiento primario, llega a un registro de distribución dividido en tres compartimentos para posteriormente enviarla al tratamiento secundario.
El tratamiento secundario instalado en la planta es un sistema por lodos activados. Actualmente se cuenta con dos líneas de tratamiento secundario y está en fase de proyecto una tercera línea, todas funcionando de manera paralela. Cada línea de tratamiento secundario consta de un tanque homogenizador, un selector de lodos, un reactor biológico y un sedimentador como equipos principales, además forman parte del tratamiento biológico una torre de lodos, un espesador de lodos, los lechos de secado y un tanque laberinto.
A continuación se explica el funcionamiento de una línea de tratamiento secundario.
El agua residual que sale del tratamiento primario llega al tanque homogenizador que posee una capacidad de 180 m^3 cuya función es suministrar un flujo constante hacia el reactor biológico y de esa manera evitar el efecto negativo de los picos de entrada de agua. En este tanque se encuentran acoplados dos aireadores flotantes que introducen el aire necesario para evitar la sedimentación y proliferación de malos olores por anoxia, además posee cuatro bombas cuyas capacidades se encuentran en el intervalo de 5 a 20 litros para enviar el agua hacia el reactor biológico.
Del tanque homogenizador los residuales llegan al selector de lodos donde se mezcla íntimamente con los lodos de recirculación procedentes del sedimentador antes de entrar al reactor biológico. El selector de lodos es un laberinto vertical de flujo ascendente – descendente y la operación de mezclado se favorece mediante la inyección de aire en forma de burbujas finas a través de un difusor en dos de las cuatro secciones que conforman el laberinto. La mezcla de agua residual y lodos activados que sale del selector de lodos entra al reactor biológico donde ocurre la degradación de la materia orgánica y el proceso de nitrificación. El reactor biológico, según el diseño, es un reactor tipo mezcla completa y está formado por cuatro cubas de aireación con tres soplantes que se encargan de suministrar el aire, y por consecuencia el oxígeno, para la formación y mantenimiento de los lodos activados. En las cubas de aireación el aire es distribuido mediante tres rejas de distribución, conformadas por difusores circulares de membrana de burbuja fina.
Los soplantes conectados al reactor poseen un sistema automático cuya variable de control es el nivel de oxígeno disuelto en el reactor y la medición se realiza mediante un sensor que conectado al motor de los soplantes determina la conexión del mismo a dos o cuatro polos, con lo cual variará la velocidad y como consecuencia el nivel de oxígeno disuelto. Además, el volumen del aire puede ser regulado por el operador de manera manual mediante válvulas de mariposa conectada a cada una de las rejas de distribución. La señal luminosa de funcionamiento de los soplantes queda reflejada en la pizarra eléctrica de la planta.
El licor mezclado que sale del reactor biológico pasa al sedimentador donde ocurre la separación del agua tratada y de los lodos. El sedimentador es circular con entrada en la torre central y el vertimiento del agua sedimentada en la periferia, con una capacidad de 500 m^3. El agua clara sale del sedimentador a través de una canaleta perimetral mientras que los lodos sedimentados fluyen hacia el

centro del sedimentador debido a la inclinación del fondo, la extracción de los mismos ocurre mediante el uso del rastrillo del puente raspador acoplado al sedimentador.
Los lodos provenientes de los sedimentadores que conforman cada línea de tratamiento biológico se unen en una torre de lodos. Parte de los lodos que llegan a esta torre se recirculan al selector de lodos de cada línea de tratamiento para mezclarse con el agua residual antes de entrar al reactor biológico y el resto de los lodos, denominados lodos en exceso, se purgan del sistema. Para el envío de los lodos de recirculación hacia el selector de lodos el sistema cuenta con dos bombas de 15 L/s y con una de 6,5 L/s para la purga de lodos. Los lodos en exceso provenientes de la torre se envían a un espesador de lodos con una capacidad de 91 m^3 donde se concentran mediante la sedimentación. El agua sobrenadante en este equipo se envía al registro de distribución donde se incorpora al proceso. Cuando los lodos han alcanzado la concentración suficiente son enviados a los lechos de secado para este mismo proceso.
La planta cuenta con 6 unidades de lechos de secado de 96 m^2 cada uno, cuyos fondos son de ladrillos y una capa de arena. En los lechos de secado parte del agua que acompaña a los lodos se evapora, la otra parte se filtra a través de la capa de arena y se reincorpora al proceso unido a las aguas del espesador de lodos. Los lodos secos se entregan a los departamentos de jardinería de los hoteles para su utilización como fertilizantes.
El agua clara proveniente de los sedimentadores que conforman cada línea de tratamiento biológico pasa a un tanque de almacenamiento y de ahí al tratamiento terciario de la planta que consiste en la filtración y cloración.
En el tratamiento terciario se cuenta con dos filtros que contienen capas de cristal Quartz, donde el agua es sometida a una filtración para eliminar los sólidos que pudiera aún arrastrar y principalmente para la eliminación de los huevos de parásitos. Los dos filtros poseen una capacidad de 55 m^3/h cada uno y su limpieza es automática controlada por un sensor de presión que determina el momento de lavado de cada uno de ellos.
El agua procedente del filtrado es desinfectada mediante la inyección de hipoclorito de sodio en la conductora hacia la cisterna de la planta donde está el tiempo de retención necesario para la acción del cloro libre sobre los microorganismos.
El agua que se almacena en la cisterna tiene tres destinos. Una parte de esta agua se bombea a la red de distribución de agua de reuso para su utilización en el riego, una parte ínfima se utiliza dentro de la planta para la limpieza de los equipos y para el riego interno y el agua no demandada se inyecta a los pozos de infiltración que descargan en la Bahía de Cárdenas.

3.3.2 Caracterización del efluente de la planta de tratamiento.

La información disponible del muestreo que se realiza en la planta de tratamiento de residuales por lodos activados del Tryp Península, por el laboratorio de la Empresa Aguas Varadero, que sirve de base para la caracterización del efluente de dicha planta, se muestra en el *Anexo 9.*
Una vez clasificados los datos primarios del efluente, se realiza la prueba de Kolmogorov – Smirnov con el objetivo de determinar si los datos experimentales se distribuyen normalmente.
Los resultados de esta prueba para el efluente de la planta de tratamiento se reflejan en las Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Resultados de la prueba Kolmogorov – Smirnov para el efluente del sistema de tratamiento

Variables	Efluente del sistema de tratamiento	
	P-value	Resultados
pH	0.9967	Distribución normal
Conductividad	0.9042	Distribución normal
Alcalinidad	0.2167	Distribución normal
Dureza	0.9795	Distribución normal
DQO	0.8950	Distribución normal
ST	0.7247	Distribución normal

STF	0.5467	Distribución normal
STV	0.9331	Distribución normal
SDT	0.8771	Distribución normal
SDF	0.6084	Distribución normal
SDV	0.5840	Distribución normal

Fuente: Propia

Los resultados de esta prueba muestran que todas las variables que se investigan presentan valores de Probabilidades (P-value) superiores a 0,1 para un 90 % de confianza, por lo que no puede rechazarse la hipótesis de que las mismas se distribuyen normalmente. Al caracterizar estadísticamente a las variables investigadas se observa que los coeficientes de variación son elevados (*Anexo 9*). Aún teniendo en cuenta que Pujol (1990) plantea que los datos provenientes de procesos biológicos tienen gran dispersión, se realiza una prueba para evaluar la anormalidad de los datos de cada una de las variables, tomando como base la NC 92-21:79: Procedimiento para evaluar la anormalidad de los resultados de las observaciones.

Las tablas de los resultados de la prueba de anormalidad se muestran en *Anexo 10*, las mismas se utilizan posteriormente para caracterizar las variables.

A continuación, en la Tabla 3.7 se muestran los resultados de la caracterización del efluente de la planta de tratamiento.

Tabla 3.7 Caracterización del efluente de la planta de tratamiento**.**

Variables	**Unidades**	**Efluente**		
		$\overline{X}$	*S*	*CV (%)*
pH	-	7.26	0.53	7.25
Conductividad	mS/cm	1849.63	737.67	39.88
Alcalinidad	mg/L	368.75	82.21	22.29
Dureza	mg/L	499.75	105.64	21.13
DQO	mg/L	29.22	9.99	34.17
ST	mg/L	955.29	325.54	34.07
STF	mg/L	326.15	122.03	37.41
STV	mg/L	373.85	128.42	34.35
SDT	mg/L	672.87	198.99	29.57
SDF	mg/L	348.54	115.42	32.1
SDV	mg/L	302.50	114.56	37.86

Fuente: Propia

Como se observa en la tabla anterior todas las variables, excepto el **pH**, poseen coeficientes de variación por encima de un 12 %, valor que se establece para considerar que no existe dispersión en los datos. Al comparar estos coeficientes de variación con los que se obtienen inicialmente para las variables antes de realizar la prueba de anormalidad de los datos (*Anexo 9*) se observa que existe una disminución de los mismos, aún así se puede decir que todas las variables poseen dispersión en sus valores y que la misma puede estar dada debido a que provienen de procesos biológicos como plantea Pujol (1990).

Para realizar los análisis comparativos de los resultados de la caracterización del efluente con las normas vigentes que pudieran limitar el uso o vertimiento de acuerdo a los patrones que establecen, se analiza primeramente con la NC 22:1999. “Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénico-sanitarios”, la cual establece solamente limitaciones desde el punto de vista bacteriológico. Posteriormente se comparan los valores del efluente con los valores planteados en las NC 27:1999. “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones” y NC 521:2007. “Vertimiento de aguas residuales a las zonas costeras y aguas marinas. Especificaciones”.

En la Tabla 3.8 dada continuación, se plantean los valores resultados promedios de las variables del efluente de la planta de tratamiento que se analizan y los valores que plantean las normas de vertimientos NC 27:1999 y NC 521:2007, con la cual se puede establecer la comparación.

Tabla 3.8 Comparación de los resultados del efluente de la planta de tratamiento con las normas vigentes.

Variables	**Unidades**	**Efluente**		
		$\overline{X}$	*NC 27:1999*	*NC 521-2007*
pH	-	7.26	6-10	5.5-9
Conductividad	mS/cm	1849.63	1400	-
Alcalinidad	mg/L	368.75	-	-
Dureza	mg/L	499.75	-	-
DQO	mg/L	29.22	70	75
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	248.42	-	30

Fuente: Propia

Al tener en cuenta que no existen parámetros físicos y químicos normados que limiten el uso de agua residual tratada en fuentes y espejos de agua, se escogen los valores de las clases más exigentes ("A") de las normas NC 27:1999 y NC 521:2007 para la comparación.

Los resultados de la Tabla 3.8 muestran que el valor promedio de conductividad es superior al que plantea la NC 27:1999, esto se debe, según criterios de los operarios de la planta, a la intrusión salina que se ha detectado producto de filtraciones que presenta actualmente una de las estaciones que bombea residuales a la planta de tratamiento, que ha provocado un incremento de este valor en relación a períodos anteriores, sin embargo este parámetro no lo tiene en cuenta la NC 521:2007.

La Tabla 3.8 muestra también que el valor promedio de sólidos suspendidos totales (SST) está muy elevado en comparación al valor máximo permisible que plantea la NC 521:2007. A criterio de la autora, este valor se puede mejorar al introducir sistemas de filtración ya sea en la propia planta o específicamente de manera puntual con pequeños filtros de arena para las fuentes y espejos de agua de los hoteles. Este parámetro, como se observa, no es contemplado en la NC 27:1999.

Los valores promedios de pH y DQO cumplen con los valores limitantes que plantean las normas seleccionadas.

Se ha de resaltar que desde el mes de febrero del año 2008 se realizan los análisis de DBO_5 en la planta de tratamiento.

A continuación, en la Tabla 3.9 se presentan los resultados que se obtienen de los análisis de DBO_5 a partir del mes de febrero hasta diciembre del año 2008 y los valores permisibles que plantean las normas escogidas NC 27:1999 y NC 521:2007 para establecer la comparación.

Tabla 3.9 Comparación de los resultados de DBO_5 del efluente de la planta de tratamiento con las normas vigentes.

Mes	Resultados de DBO_5 en efluente de la Planta de Tratamiento en el año 2008 **(mg/L)**	NC 27:1999 **(mg/L)**	NC 521:2007 **(mg/L)**
Febrero	19	30	30
Marzo	10		
Abril	12		
Mayo	19		
Junio	14		
Julio	17		
Agosto	21		
Septiembre	11		
Octubre	09		
Noviembre	13		
Diciembre	10		

Fuente: Propia

Al comparar los valores resultados de DBO_5 con los valores límites que establecen las normas NC 27:1999 y NC 521:2007, se observa que los valores resultados son inferiores a los valores normados, en este aspecto el agua residual tratada también cumple para su reutilización o vertimiento. En este caso también se escogen los valores de las clases más exigentes ("A").Tal como se explica con anterioridad, no existen parámetros físicos y químicos normados que limiten el uso de agua residual tratada en fuentes y espejos de agua.

Otra variable que se incluyó en la caracterización del efluente de la planta de tratamiento, es la presencia de coliformes totales en el agua residual dada a la importancia que presenta desde el punto de vista bacteriológico para la salud. Se excluyen del estudio bacteriológico los resultados para el año 2006 por presentar muy pocos resultados debido al déficit de reactivos en ese momento para el procesamiento de las muestras.

En la Tabla 3.10 se muestran los resultados del análisis bacteriológico que se realiza en el laboratorio de dicha planta en los años 2007 y 2008.

Tabla 3.10 Caracterización bacteriológica del efluente de la planta de tratamiento a través de coliformes totales.

Mes	**Coliformes Totales** (NMP)	
	2007	**2008**
Enero	-	20
Febrero	-	10
Marzo	-	-
Abril	36	10
Mayo	94	16
Junio	75	20
Julio	200	5
Agosto	25	10
Septiembre	16	10
Octubre	16	10
Noviembre	18	10
Diciembre	20	10

Fuente: Propia

En este caso los resultados que se tienen para los años 2007 y 2008, son valores que no se procesaron estadísticamente por la gran dispersión que presentan los resultados mostrados, debido a esto, se decide comparar puntualmente los valores reportados con los de la norma NC 22: 1999.

Se realiza a continuación el análisis comparativo de los valores de esta variable con los valores permisibles que plantean las normas antes mencionadas. Para lo cual se escoge primeramente la NC 22:1999; esta norma plantea los límites permisibles al considerar un caso donde el contacto con el agua es de forma directa y en otro donde el contacto se produce de manera indirecta u ocasional. Así se analizan también los valores de coliformes respecto a las NC 27:1999 y NC 521:2007, en las cuales se selecciona para la comparación las clases más exigentes.

A continuación, se plantean en Tabla 3.11 los valores que se comparan.

Tabla 3.11 Comparación bacteriológica del efluente de la planta de tratamiento a través de coliformes totales en los años 2007 y 2008 con la normas.

Mes	**Coliformes Totales en efluente de la planta de tratamiento** (NMP/100mL)		**NC 22:1999** (NMP/100mL)		**NC 27:1999** (NMP/100mL)	**NC 521:2007** (NMP/100mL)
	2007	**2008**	***Contacto Directo***	***Contacto Indirecto***		
Enero	-	20	>1000	≤5000	1000 Clase "A" Superficial 5000 Clase "B" Superficial	200
Febrero	-	10				
Marzo	-	-				
Abril	36	10				
Mayo	94	16				
Junio	75	20				
Julio	200	5				
Agosto	25	10				
Septiembre	16	10				
Octubre	16	10				
Noviembre	18	10				
Diciembre	20	10				

Fuente: Propia

Al comparar las resultados mensuales de las muestras con los que plantea la norma NC 22:1999 para las dos situaciones, se observa que los valores resultados son inferiores respecto a los valores de la norma, lo que indica que en este sentido la calidad del agua residual es muy buena; se señala que la norma presenta un error en el signo indicativo para el caso del contacto directo, aún así con el signo invertido, los valores ofrecen igual resultado.

Los resultados se comparan además con los valores de la norma NC 27:1999 para las clases "A y B" Superficial, las cuales suponen:

"A": *Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. La clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica.*

"B": *Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla la acuicultura y se realizan actividades recreativas en contacto con el agua, así como cuerpos de agua que se explotan para el uso industrial en procesos que necesitan de requerimientos sobre la calidad del agua. La clasificación comprende los sitios donde existan requerimientos menos severos para la conservación ecológica que los comprendidos en la Clase (A).*

Se observa que para los casos "A" y "B", los valores son similares a los que abarca la NC 22:1999, por lo que los comentarios en cuanto a las comparaciones coinciden con los planteados.

Se ha considerado pertinente verificar el comportamiento de los resultados respecto a la norma mexicana vigente NOM-003-ECOL-1996, referenciada en Tabla 1.3 donde los valores límites permisibles se encuentran de acuerdo a la consideración que supone entre 240 y 1000 NMP/100mL, el primer número se plantea para el contacto directo con las personas y el segundo para el contacto de forma indirecta u ocasional. Esta norma incluye de forma clara las fuentes ornamentales dentro de las dos situaciones.

De manera general se puede concluir que el efluente de la planta de tratamiento cumple con los parámetros bacteriológicos normados y que además se observa que a partir de diciembre del año 2007 y hasta diciembre del año 2008 se aprecian resultados más estables inclinados a una garantía superior de calidad.

Como resultado comparativo también se expone que desde el mes de octubre, como ya se ha planteado en el epígrafe 2.3.2 del capítulo 2, se llevan a cabo los ensayos para determinar la

presencia de huevos de helmintos en el efluente de la planta de tratamiento, resultados que han arrojado valores nulos, con lo cual se ratifica mejor calidad desde el punto de vista bacteriológico.
Se muestran todos los parámetros del efluente que se analizan en el laboratorio de dicha planta los cuales se encuentran muy por debajo de los límites permisibles que plantean las diferentes normas escogidas para la comparación, excepto la conductividad y los sólidos suspendidos totales, por lo que se puede decir que el agua procesada en la planta posee buena calidad para ser usada o vertida.
No obstante a los resultados planteados, se debe agregar que las fuentes y espejos de agua debieran incluir por diseño algún sistema de tratamiento pequeño para extender los períodos de limpieza o renovación del volumen de agua contenidos en ellos que en la actualidad no lo contemplan, por lo que se debe realizar un estudio puntual para analizar la necesidad de tratamientos en los mismos o recomendar a la directiva de los hoteles efectuar una valoración económica del equipamiento que se requiere para el tratamiento en estos puntos y así garantizar pueda ser alargada la permanencia del agua con la calidad requerida para contribuir al ahorro del agua potable.

3.3.3 *Cuantificación de la cantidad de efluente disponible para el uso en fuentes y espejos de agua.*

La cuantificación de los consumos de agua tratada en la planta de tratamiento se determina a partir de los datos mensuales que se recopilan, correspondientes al afluente y a los consumos del efluente que salen para el riego de áreas verdes de los hoteles, durante los años 2006, 2007 y 2008, estos datos aparecen registrados en los archivos de dicha planta y en la oficina central de comercialización de la empresa de Acueducto y Alcantarillado Aguas Varadero.
A partir de los datos primarios del afluente (*Anexo 11*), se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov con el objetivo de determinar si los datos se distribuyen normalmente. Los resultados de esta prueba se reflejan en Tabla 3.12 para cada caso y años de estudio.

Tabla 3.12 Resultado de la prueba Kolmogorov-Simirnov a los datos procesados del afluente de la planta de tratamiento

Corriente de la planta de tratamiento	Año	P-value	Resultado
Afluente	2006	0,9766	Distribución Normal
	2007	0,8297	Distribución Normal
	2008	0,9481	Distribución Normal

Fuente: Propia

Los resultados que se muestran presentan valores de probabilidad (P- value) superiores a 0,10 para un 90 % de confianza, por lo que se acepta la hipótesis de que la misma se distribuye de forma normal. Los gráficos resultantes de la prueba de normalidad de los datos se muestran en *Anexo 12*.
Al caracterizar estadísticamente los datos, se observa que los coeficientes de variación (CV) presentan buen comportamiento, pues los valores se encuentran muy próximos al establecido del 12% para considerar que no existe dispersión en los mismos.
Las tablas de los resultados de la prueba de anormalidad resultantes se muestran en el *Anexo 13*, a partir de la cual se seleccionan los valores promedios mensuales para cada año, dados a continuación en Tabla 3.13.

Tabla 3.13 Resumen de la cantidad de agua residual (afluente) procesada mensualmente en la planta de tratamiento en los años 2006, 2007 y 2008

Consumo promedio mensual de la planta (m³/mes)				
Corriente de la planta de tratamiento	***2006***	***2007***	***2008***	***X (TOTAL)***
	$\overline{X}$	$\overline{X}$	$\overline{X}$	
Afluente	35166,15	36072,25	35020,80	**35419,74**

Fuente: Propia

La Tabla 3.13 muestra que los valores promedios mensuales de agua residual que se procesa (afluente) en los tres años de análisis presentan un comportamiento similar, lo que quiere decir que la fluencia de turismo en la zona ha tenido una estabilidad en el período de estudio, lo cual coincide con los valores de ocupación turística en Varadero para los años 2006 y 2007 planteados en *Anexo 4.*
La cantidad de agua que se produce en la planta (efluente) mensualmente se estima a partir de la cantidad de agua procesada (afluente) según criterios del personal técnico de la planta, al considerar un 5% de pérdidas en el sistema.
A continuación se presentan en la Tabla 3.14 los valores promedios que se obtienen como resultados del efluente de la planta de tratamiento en los años de estudio.

Tabla 3.14 Resumen de la cantidad de agua residual (efluente) procesada mensualmente en la planta de tratamiento en los años 2006, 2007 y 2008.

Consumo promedio mensual de la planta (m³/mes)				
Corriente de la planta de tratamiento	***2006*** $\overline{X}$	***2007*** $\overline{X}$	***2008*** $\overline{X}$	***X (TOTAL)***
Efluente	33407,84	34268,64	33269,76	**33648,753**

Fuente: Propia

El efluente que se produce, se utiliza para regar las áreas verdes de los hoteles de la zona y en las labores propias dentro de la planta, la otra parte se infiltra en el terreno a través de pozo de infiltración; la cantidad de agua que se utiliza en la planta es despreciable con respecto a la que se utiliza en el riego y a la que se infiltra.
La cantidad de efluente que se destina al riego y su procesamiento estadístico se muestran en *Anexo 14*, en el cual se observa que presenta coeficientes de variación (CV) elevados; como el riego es dependiente de la época de lluvia se decide agrupar los datos de riego según temporada, en este caso para el período lluvioso y para el período poco lluvioso en la zona de estudio según información emitida por el Instituto de Meteorología de la Provincia de Matanzas. Los datos separados por temporada se muestran en *Anexo 14*. A los datos separados por temporadas se les realiza la prueba Kolmogorov-Smirnov con el objetivo de determinar si los mismos se distribuyen normalmente.
En la Tabla 3.14 se muestran los resultados que se obtienen al aplicar la prueba Kolmogorov-Smirnov a los datos de riego en los dos períodos. .

Tabla 3.14 Resultado de la prueba Kolmogorov-Simirnov a los datos procesados correspondientes al riego en períodos lluvioso y poco lluvioso.

Corriente del efluente de la planta de tratamiento	**Período**	**P-value**	**Resultado**
Riego	lluvioso	0,9979	Distribución Normal
	poco lluvioso	0,9980	Distribución Normal

Fuente: Propia

Los resultados que se muestran presentan valores de probabilidad (P- value) superiores a 0,10 para un 90 % de confianza, por lo que se acepta la hipótesis de que la misma se distribuye de forma normal. Los gráficos resultantes de la prueba de normalidad de los datos se muestran en *Anexo 15.*
En la caracterización estadística de los datos, se observa (*Anexo 16*) que los coeficientes de variación (CV) disminuyeron en el orden entre un 20 y 30%, valores que se encuentran por encima al establecido del 12% para considerar que no existe dispersión en los mismos. Se considera que estos valores de dispersión están dados a que el riego es una variable que depende en gran medida de las condiciones climatológicas que se hayan presentado en el período que se analiza. En la Tabla 3.15 se

muestran los consumos promedios mensuales del efluente de la planta para riego en períodos lluvioso y poco lluvioso.

Tabla 3.15 Resumen de los consumos promedio mensuales del efluente de la planta para riego en períodos lluvioso y poco lluvioso.

Corriente del efluente de la planta de tratamiento	**Período**	$\overline{X}$ (m^3/mes)
Riego	lluvioso	3550,88
	poco lluvioso	7102.31

Fuente: Propia

En la tabla anterior, al comparar entre sí la cantidad de efluente usado en el riego en ambos períodos, se demuestra que la demanda de efluente en el período poco lluvioso es superior a la demanda en el período lluvioso, lo cual es un resultado lógico pues al llover menos se necesita mayor cantidad de agua para regar los jardines de los hoteles.

A modo de resumen se presenta en la Tabla 3.16 el valor promedio mensual de todo el efluente de la planta de tratamiento y los resultados promedios del riego para los dos períodos analizados vistos en *Anexo 16*, así como la cantidad de efluente que se infiltra al aplicar la ecuación 2.5, se muestra además el consumo promedio mensual de agua que se necesita para las fuentes y espejos de agua (epígrafe 3.2) para establecer una comparación y comprobar si el efluente de la planta que se infiltra satisface las necesidades de agua para ser utilizado en los fines mencionados.

Tabla 3.16 Resumen de los valores promedios del efluente de la planta de tratamiento y las corrientes que lo componen en períodos lluvioso y poco lluvioso, y el consumo promedio de agua en fuentes y espejos de agua.

Efluente total de la planta *(m^3/mes)*	***Efluente de la planta para riego*** *(m^3/mes)*		***Efluente de la planta que se infiltra*** *(m^3/mes)*		***Consumo de agua en fuentes*** *(m^3/mes)*
33648.74	Período lluvioso	*3550.88*	Período lluvioso	*30097.87*	*1722.51*
	Período poco lluvioso	*7102.31*	Período poco lluvioso	*26546.44*	

Fuente: Propia

Al comparar entre sí los valores que se obtiene en el efluente que se infiltra, se observa que los valores están en correspondencia con los períodos que se analizan, donde se demuestra que el mayor valor pertenece al período lluvioso y el menor valor al período poco lluvioso, estos valores están influenciados por los consumos de agua que se utilizan para el riego de áreas verdes en iguales períodos, lo que quiere decir que en el período lluvioso se requiere de menor consumo de agua para el riego y por lo tanto la cantidad de agua que se infiltra será mayor, mientras que en el período poco lluvioso sucede lo contrario.

Al comparar los valores promedios mensuales del efluente que se infiltra con el consumo promedio mensual de agua que se requiere para las fuentes y espejos de agua, se observa que para los dos períodos que se analizan el efluente que se infiltra es capaz de satisfacer la demanda de los ornamentos acuáticos con sólo utilizar un 5.72% y 8.34% en período lluvioso y poco lluvioso respectivamente.

3.3.4 Análisis económico de las alternativas.

Como primer análisis, se determina el consumo de agua potable que se ahorra mensualmente en cada uno de los hoteles, que es precisamente los destinados a las fuentes y espejos de agua ornamentales al considerar que la parte del efluente de la planta de tratamiento que se infiltra puede reutilizarse para sustituir el agua potable en estos objetivos.

Como resultado en epígrafe 3.2 se tienen los valores de los consumos mensuales y anuales por hoteles que se muestran a continuación en Tabla 3.17 y que constituyen los consumos de agua potable que se ahorran.

Tabla 3.17: Resultados de los valores de consumos de agua potable (mensual y anual) que se ahorra en cada hotel por uso en fuentes y espejos de agua y los valores totales.

Hoteles	***Ca*** (m^3/mes)	***Ca*** (m^3/año)
Tryp Península	111,21	1334,50
Playa Alameda	710,51	8526,10
Princesa del Mar	112,29	1347,50
Barceló Marina Palace	145,25	1743,00
Sirenis Salinas	643,25	7719,00
TOTAL	***1722,51***	***20670,10***

Fuente: Propia

Se observa que el resultado del consumo promedio anual que se ahorra al sustituir el agua potable por el agua residual tratada, presenta un valor considerable que pudiera tener una repercusión ambiental favorable respecto a las fuentes de abasto y suministros de agua.

Se ha tenido en cuenta además que el consumo de agua anual destinado a las fuentes y espejos de agua (*Ca*) se verá incrementado a corto plazo ya que en la zona de estudio se encuentran emplazados dos hoteles en fase de terminación constructiva (Hotel Laguna (LBM) y Hotel Salinas (LCM)), los cuales contempla por diseños volúmenes de agua en fuentes y espejos de agua tales que en consumo anual representan valores de 6598,7 m^3/año y 6598,7 m^3/año respectivamente, por lo que valor reflejado en la Tabla 3.17 aumentaría a 36620,6 m^3/año.

El análisis económico parte de las alternativas planteadas en epígrafe 2.3.5.

Como primera alternativa se analiza el caso base donde se determinan los costos mensuales y anuales tanto para hoteles como los costos generales en la zona de estudio, esto se realiza a partir de las expresiones 2.6 y 2.7 al considerar el consumo promedio total de agua potable (Cap_T) en cada uno de los hoteles de estudio y el precio en *cuc* como tarifa establecida para el m^3 de agua potable, estos valores se reflejan a continuación en la Tabla 3.18 y con ellos los resultados que se obtienen de los costos.

Tabla 3.18 Obtención de los valores de costos mensual y anual de la alternativa 1.

Hoteles	***Cap_T*** (m^3/mes)	***P*** (cuc/ m^3)	***C_{CBm}*** (cuc x m^3/mes)	***C_{CBa}*** (cuc x m^3/año)
Tryp Península	13881,19	1.20	16657,43	199889,16
Playa Alameda	10960,47		13152,56	157830,72
Princesa del Mar	8683,52		10420,22	125042,64
Barceló Marina Palace	15418,27		18501,92	222023,04
Sirenis Salinas	17217,73		20661,28	247935,36
TOTAL	***66161,18***		***79393,42***	***952720,99***

Fuente: Propia

Se puede observar en la tabla anterior que los valores resultados de los costos están en función de la cantidad de agua que consume cada hotel, a mayor consumo mayor es el costo, en este caso los hoteles Barceló Marina Palace y Sirenis Salinas son los que presentan los costos más elevados.

Para determinar los costos mensuales y anuales de la Alternativa propuesta se aplican las expresiones 2.8 y 2.9 donde se calcula el consumo promedio de agua potable de esta alternativa (Cap_A) al tener en cuenta los consumos de agua potable mensuales (Cap_T) en los hoteles y los

consumos de agua que se destinan a las fuentes y espejos de agua en dichos hoteles de estudio (Cap_F), así como los precios diferenciados tanto para el agua potable como para el agua de reuso, al considerar la sustitución del agua potable por la de reuso de la planta de tratamiento para los fines que se plantean.
En la Tabla 3.19 se dan los resultados de los consumos promedios mensuales de la alternativa propuesta a partir de los consumos promedios totales de agua potable y los consumos promedios de agua en fuentes, en cada hotel y los resultados totales.

Tabla 3.19 Resultado de los consumos promedios mensuales de la alternativa propuesta a partir de los consumos promedios totales de agua potable y los consumos promedios de agua en fuentes, en cada hotel.

Hoteles	Cap_T (m^3/mes)	Cap_F (m^3/mes)	Cap_A (m^3/mes)
Tryp Península	13881,19	111,21	13769,98
Playa Alameda	10960,47	710,51	10249,96
Princesa del Mar	8683,52	112,29	8571,23
Barceló Marina Palace	15418,27	145,25	15273,02
Sirenis Salinas	17217,73	643,25	16574,48
TOTAL	***66161,18***	***1722,51***	***64438,67***

Fuente: Propia

Los resultados que muestra la Tabla 3.19 indican al igual que el caso visto anteriormente (Tabla 3.18) que los mismos hoteles son los de mayor consumo.
Al tener los resultados de los valores de consumos promedios mensuales de la alternativa propuesta (Cap_A), reflejados en la Tabla 3.18, se determinan los costos de dicha alternativa C_A al aplicar la expresión 2.8, con la cual se obtienen los resultados que se muestran a continuación en la Tabla 3.20.

Tabla 3.20 Resultado de los costos mensuales y anuales de la alternativa propuesta en cada hotel y los valores totales.

Hoteles	Cap_A (m^3/mes)	P (cuc/ m^3)	Cap_F (m^3/mes)	P_R (cuc/ m^3)	C_A (cuc x m^3/mes)	C_A (m^3/año)
Tryp Península	13769,98	1.20	111,21	0.25	16551,78	198621,36
Playa Alameda	10249,96		710,51		12477,58	149730,96
Princesa del Mar	8571,23		112,29		10313,55	123762,60
Barceló Marina Palace	15273,02		145,25		18363,93	220367,16
Sirenis Salinas	16574,48		643,25		20050,19	240602,28
TOTAL	***64438,67***		***1722,51***		***77757,03***	***933084,33***

Fuente: Propia

El valor del ahorro económico que representa la aplicación de la alternativa propuesta se determina a partir de la expresión 2.10 al obtener la diferencia que existe entre los costos de la alternativa 1 y los costos de la alternativa 2.
En la Tabla 3.21 que se muestra a continuación, se pueden comparar los costos de las alternativas analizadas y a su vez determinar los valores de ahorros económicos al aplicar la expresión 2.10.

Tabla 3.21 Resultado de los valores de los ahorros económicos mensuales y anuales de la alternativa propuesta en cada hotel y los valores totales.

Hoteles	**Costo Alternativa 1** C_{CBa} (cuc x m^3/año)	**Costo Alternativa 2** C_A (cuc x m^3/año)	***Ah*** (cuc /año)
Tryp Península	199889,16	198621,36	1267,8
Playa Alameda	157830,72	149730,96	8099,76
Princesa del Mar	125042,64	123762,60	213,34
Barceló Marina Palace	222023,04	220367,16	1655,88
Sirenis Salinas	247935,36	240602,28	7333,08
TOTAL	***952720,99***	***933084,33***	***19636,68***

Fuente: Propia

Al comparar los costos de las alternativas en la Tabla 3.21, se observa que en todos los hoteles se produce una disminución de los valores de la alternativa 2 respecto a la alternativa 1, esto se debe a que el agua potable que presenta un precio mayor se sustituye por agua de reuso que presenta un menor precio, en los ornamentos acuáticos de los hoteles de la zona de estudio; con estos valores de costos se obtienen los resultados de lo que se ahorra económicamente en cada caso y el valor final, el cual puede ser revertido en el propio mantenimiento y funcionamiento de los objetivos.

3.4 Resultados del Estudio de Impacto Ambiental de la propuesta.

Para poder predecir e identificar los impactos claves, su magnitud, significado e importancia, es necesario conocer previamente los elementos y factores del medio, susceptibles de recibir impactos, así como las acciones del proyecto susceptibles de provocar efectos sobre dichos elementos y factores ambientales, como tal, se plantean en Tabla 3.22 las acciones y los elementos que se consideran interaccionan entre sí.

Tabla 3.22. Acciones y Elementos Ambientales en la Matriz de Leopold para el Estudio de Impacto Ambiental que pudiera causar el efluente de la planta de tratamiento al usarlo en las fuentes y espejos de agua de los hoteles. (Fuente: Propia)

ACCIONES		**ELEMENTOS AMBIENTALES**	
CATEGORIA	**DESCRIPCION**	**CATEGORIA**	**DESCRIPCION**
1- Modificación del régimen	A- Alteración de la cubierta del suelo. B- Instalación de redes.	A- Características físico-química. 1- Tierra.	a- Suelos. b- Morfología del terreno
		2- Agua.	c- Calidad del agua de mar
		3- Procesos	a- Fuentes y espejos
2- Transformación del suelo y construcción.	A- Excavar y rellenar.	B- Condiciones biológicas. 1-Flora.	a- Césped. b- Plantas acuáticas.
		2-Fauna	a- Peces y crustáceos

3- Acumulación y tratamiento de residuos	A- Vertidos al mar. B- Vertidos de efluentes líquidos		
		C- Factores Culturales. 1- Usos del suelo.	a- Naturaleza y espacios abiertos.
		D- Estética e interés humano.	a- Vistas escénicas y panorámicas. b- Cualidades de espacios abiertos.
		E- Estatus cultural.	a- Salud y seguridad.
		F- Relaciones ecológicas	a- Eutroficación

Fuente: Propia

La matriz de Leopold para la identificación de fuentes de impacto ambiental se muestra en el *Anexo 17*, donde los mayores valores de magnitud corresponden a 37, 35 y 33 mientras que los mayores valores de importancia son 34, 36 y 40.

De forma general la autora plantea que las acciones de mayor importancia y las de mayor impacto sobre los elementos ambientales coinciden, en este caso son:

- Alteración de la cubierta del suelo.
- Excavar y rellenar.
- Vertido de efluentes líquidos.

Se muestra que los elementos más afectados son:

- Suelos.
- Vistas escénicas y panorámicas.
- Salud y seguridad.

A partir de la matriz de Leopold se llega a la conclusión que:

Los valores de magnitud e importancia de la matriz de Leopold no son significativos, se encuentran en los rangos de interacciones intermedios y de poca importancia. A criterio de la autora, los elementos más afectados pueden alcanzar una rápida recuperación en corto período de tiempo.

3.5 Conclusiones Parciales.

1. Los datos de consumo de agua en los hoteles del sector Punta Hicacos que se incluyeron en el estudio, cumplen una distribución normal con valores superiores al 10% de probabilidad.
2. El análisis del índice de consumo de agua promedio por habitación para los años del 2006 al 2008 arroja que los hoteles Tryp Península, Playa Alameda, y Barceló Marina Palace presentan un sobreconsumo de agua potable.
3. Los hoteles Playa Alameda y Sirenas Salinas son los mayores consumidores de agua potable en las fuentes y espejos de agua en la zona de estudio.
4. Las distintas variables analizadas en el efluente de la planta de tratamiento presentan una distribución normal con valores superiores al 10% de probabilidad.
5. El efluente de la planta de tratamiento cumple los niveles más exigentes establecidos para el vertimiento y reutilización, por lo que puede ser reutilizado en las fuentes y espejos de agua.
6. Los consumos de agua en las fuentes y espejos de agua que se requieren en los hoteles, se pueden satisfacer con un 5.72% y un 8.35% del efluente de la planta de tratamiento que se infiltra, en dependencia de la época del año.

7. El ahorro económico que se produce al sustituir el agua potable por agua de reuso en fuentes y espejos de agua ornamentales es de **1636,39** cuc/mes y **19636,68** cuc/año.
8. El ahorro de agua potable que trae consigo al sustituir ésta por agua de reuso en fuentes y espejos de agua ornamentales es de **20670,10** m^3/año.
9. El impacto ambiental que provoca la propuesta es mínimo, con recuperación rápida, pues los elementos en que se tienen mayor incidencia es en el suelo, vistas escénicas y panorámicas al incidir con pequeñas excavaciones para instalar las acometidas desde las redes de riego de los hoteles.

Conclusiones:

1. La utilización del agua procedente de la planta de tratamiento "Tryp Península" en fuentes y espejos de agua ornamentales de los hoteles, disminuye los consumos de agua potable en dichas instalaciones turísticas.
2. El análisis del índice de consumo de agua promedio por habitación para los años del 2006 al 2008 arroja que los hoteles Tryp Península, Playa Alameda, y Barceló Marina Palace presentan un sobreconsumo de agua potable.
3. El efluente de la planta de tratamiento cumple los niveles más exigentes establecidos para el vertimiento y reutilización, por lo que puede ser reutilizado en las fuentes y espejos de agua.
4. Los consumos de agua en las fuentes y espejos de agua que se requieren en los hoteles, se pueden satisfacer con un 5.72% y un 8.35% del efluente de la planta de tratamiento que se infiltra, en dependencia de la época del año.
5. El ahorro de agua potable al sustituir ésta por agua de reuso en fuentes y espejos de agua ornamentales representa un valor anual de **20670,10** m^3/año.
6. El ahorro económico que se produce al sustituir el agua potable por agua de reuso en fuentes y espejos de agua ornamentales es de **1636,39** cuc/mes y **19636,68** cuc/año.
7. El impacto ambiental que provoca la propuesta es mínimo con rápida recuperación, pues los elementos en que se tienen mayor incidencia es el suelo y las vistas escénicas y panorámicas al accionar con pequeñas excavaciones para instalar las acometidas desde las redes de riego de los hoteles hasta las fuentes y espejos de agua.

Recomendaciones:

1. Aunque la calidad del efluente de la planta de tratamiento "Tryp Península" cumple con las normas para uso y vertimiento y muestra valores que demuestran que es buena, se propone el estudio de otros parámetros desde el punto de vista bacteriológicos y otros como nutrientes, que ofrezcan un criterio más amplio de calidad para en caso necesario proponer tratamientos efectivos que minimicen cualquier tipo de riesgos.
2. Se recomienda que las fuentes y espejos de agua debieran incluir por diseño algún sistema de tratamiento pequeño para extender los períodos de limpieza o renovación del volumen de agua contenidos en ellos ya que en la actualidad no lo contemplan o están incompletos, por lo que se debe realizar un estudio puntual para analizar la necesidad de tratamientos en los mismos o recomendar a la directiva de los hoteles efectuar una valoración económica del equipamiento que se requiere para la instalación de tratamientos en estos puntos.
3. Se propone realizar un estudio en el que se determine un índice de consumo de agua para los ornamentos acuáticos en los hoteles para evitar el uso excesivo de agua potable.
4. Indicar en los espejos de agua y fuentes, la procedencia del agua que se utiliza.

Bibliografía:

1. AGUAMARKET. 2006. Productos y servicios para la industria del agua latinoamericana [on-line]. Disponible en *World Wide Web:* <http://www.aguamarket.com/aguas/>
2. Agua Potable [en línea] 2008. [Consulta: noviembre 2008]. Disponible en: http:// es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable.
3. ALBERTSON, O.E. 1995. Is CBOD5 test viable for raw and settled wastewater? Journal Environmental Engineering. ASCE 121 (7): 515- 520.
4. APHA, AWWA, WPCF, 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A. 1992. ISBN 84-7978-031-2
5. ARTAN, N; WILDERER, P. 2002. Model evaluation and optimisation of nutrient removal potential for sequencing batch reactors. *Water SA*. [on line]. 2002. vol. 28, no. 4. Disponible en el *World Wide Web*: http://www.wrc.org.za
6. Asamblea Nacional del Poder Popular. 1997. "Ley 81 de Medio Ambiente".
7. AUGUSTO, F.J y JUNCO, J.Z. 2002. Sistemas de tratamiento biológico. Aplicación y efectividad en la provincia de Matanzas. Cuba: Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Químico. 2002. 70 p.
8. BAETENS, D. 2000. Enhanced biological phosphorus removal: Modelling and experimental design. [on line] Belgium: Ghent University. Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Applied Biological Sciences. 2000. Disponible en el *World Wide Web*:http://biomath.rug.ac.be/publicatios/download/baetensdanielle_phd.pdf
9. BARNES, GEORGES. E. 1967. Tratamiento de aguas negras y desechos industriales. México: Rabas. 211 p.
10. BIRKET, J. 1999 World of Water 2000. Suplement to PennWell magazine. Published by Water World and Water & Wastewater Internactional. 1999, p 136-140.
11. CAJIGAS, A.1990. La reutilización de las aguas residuales como complemento de los recursos hidráulicos. Revista de obras públicas. Octubre, 1990, p 789-794.
12. CARTER L. W., 1998. Manual de Evaluación de Impacto. Técnicas para la Elaboración de los Estudios de Impacto. Segunda Edición. Editorial Mcgraw-Hill. España. Pág. 75-79
13. CERVANTES-CARRILLO, F. 2000. Avances en la Eliminación Biológica del nitrógeno de las Aguas Residuales. *Revista Latinoamericana de Microbiología.* [on line]. 2000. vol. 42. Disponible en el *World Wide Web*: http://www.medigraphic.com/ingles/i-htms/i-lamicro/i-mi2000/i-mi00-2/i1-mi002.htm.
14. CITMA (CU). 2005. Estrategia Ambiental Provincial. Matanzas, Cuba. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. 45 h. Inédito
15. CITMA (CU). 2007. Estrategia Ambiental Nacional 2007/2010. La Habana: Academia. 93 p. ISBN 978-959-270-107-6.
16. CITMA (CU). 2008. Informe de Actualización de Fuentes Contaminantes enviado por la Unidad de Medio Ambiente de la Delegación Territorial del CITMA Matanzas al CIGEA (Centro de Investigación, Gestión y Educación Ambiental) en Mayo 2008, Inédito.
17. CONESA F. V. 1997. Instrumento de la Gestión Ambiental en la Empresa. España: Mundi Prensa. 541 p.
18. DA SILVA, C.A. 1987. Polucao em Águas Continentais. Brazil: Editora Universitaria da UFMA, 1987, p: 14
19. DAVIS, M.L y CORNWELL, D.A. 1985. Introduction to environmental engineering. New York: McGraw-Hill, 1985, p: 179-413. ISBN 0-07-0159114.
20. DIAZ, B. R. 1987. Tratamiento de aguas y aguas Residuales. Editorial ISPJAE.
21. DIAZ, B. R. 2006. Tratamiento de aguas y aguas residuales. 2da ed. Ciudad de la Habana: Félix Varela. 515 p.
22. Depuración de aguas residuales http://www.ross.com.es/cwh/depurado.htm [en línea] [Consulta: julio 03 2008]

23. ESTRUCPLAN. 2007. Operación de plantas de barros activados [on-line]. Disponible en el *World Wide m Web*:http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=207.
24. FERNANDEZ A., F. 2008. Responsable del área de mantenimiento del hotel Sirenis Salinas, sector Punta Hicacos, Varadero. Cuba. Acerca del funcionamiento de las fuentes y espejos de agua. Noviembre, 2008.
25. FRANJHON, F. 2008. Responsable del área de mantenimiento del hotel Playa Alameda, sector Punta Hicacos, Varadero. Cuba. Acerca del funcionamiento de las fuentes y espejos de agua. Noviembre, 2008.
26. FRIEDRICH, W. 1988. Métodos de la Investigación Social Marxista Leninista. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales. 325 pp.
27. Golden Maskew Fair; John Charles; Daniel Alexander Okun. 2001: Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Vol.2 (t1 y t2). Ed. Limusa.
28. GALLARDO DE MARCO, A. 1992. Tratamiento avanzado para la eliminación de nutrientes en las aguas residuales. *Ingeniería Civil.*1992, vol. 86, p. 201-207.
29. GARCIA, J; ALONSO, V, CRUZ, L. 2000 Metodología y técnicas para la investigación.
30. GOMEZ, E. 1999. Tratamiento y caracterización de aguas residuales: tecnologías de bajo coste. 1era. ed. León: Escuela Superior Técnica de Ingenieros Agrarios. 1999. ISBN 84-89398-22-4.
31. GONZALEZ, R; YLL, M; CURIEL, L. 2003. Metodología de la investigación científica para las ciencias técnicas. Universidad de matanzas. 186 p.
32. GONZALEZ, C. 2008. Responsable del área de mantenimiento del hotel Tryp Península, sector Punta Hicacos, Varadero. Cuba. Acerca del funcionamiento de las fuentes y espejos de agua. Noviembre, 2008.
33. GONZALEZ, C. A. 2008. Responsable del área de mantenimiento del hotel Princesa del Mar, sector Punta Hicacos, Varadero. Cuba. Acerca del funcionamiento de las fuentes y espejos de agua. Noviembre, 2008.
34. GUTIERREZ, DIAZ, J. 1998: Generalidades sobre la reutilización de aguas residuales domésticas. CENHICA. INR.: Ciudad de La Habana.
35. GUTIERREZ, DIAZ, J. Revista Cuba No 4. Water and nutrient reuse. Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA) [en línea]. [Consultado: octubre, 2008]. Disponible en: http://www.medioambiente.cu/revistama/4_sumario.asp.
36. HARMS, L; WALLIS, C; RATNAYAKA, D. 1999. World of Water 2000. Suplement to PennWell magazine. Published by Water World and Water & Wastewater Internactional. 1999, p 152-156.
37. HERNÁNDEZ, A et al. 1995. Manual de Depuración de Uralita. Editorial Paraninfo. Madrid: España. 427 p.
38. HIERRO, G.J. 2005. Lodos de plantas depuradoras de aguas servidas.
39. JUAREZ, J.J. 2007a. Aguas residuales [on-line]. Trabajos Universitarios [consultado 2008]. Disponible en el *World Wide Web*: <http://html.rincondelvago.com/aguas-residuales_2.html>
40. JUAREZ, J.J. 2007b. Tratamiento de aguas residuales [on-line]. Trabajos Universitarios [consultado 2008]. Disponible en el *World Wide Web*: <http://htmlrincondelvago.com/tratamiento-aguas-residuales_html>
41. JUNCO, J. Z.; González, J.C. 2007. Metodología para el Monitoreo y Control de la Contaminación. Curso de Maestría de Contaminación Ambiental. Junio, 18.
42. LAGO L. Pérez, 2003. Metodología general para la evaluación de impacto ambiental de proyectos. Empresa de Ingeniería y Proyectos del Níquel [en línea] 2003. [Consulta: diciembre 18 2007]. Disponible en: http://www.monografias.com/trabajos14/elimpactoambiental/elimpactoambiental.shtml monosearch . Monografía.
43. MARTIN BOURGON, C; PELAZ ANTOLIN, C; Instituto Carlos III, Legionelosis. Implicaciones de las instalaciones de agua sanitaria, climatización y otros sistemas generadores de aerosoles como difusores de la enfermedad, Revista El Instalador, julio / agosto 1992

44. MARTINEZ, Y. 1998. Caracterización físico - química del efluente de una EDAR por lodos activados. Ciudad de La Habana: ISPJAE. Tesis de Diplomado en Evaluación de Impacto Ambiental. 1998. 58 p.
45. MARTINEZ, Y. 2002 Estudio de variantes operacionales para el mejoramiento de la calidad de efluentes de EDARs, a través de la simulación matemática. Cuba: Universidad de Matanzas. Tesis en opción al título académico de Máster en Control y Tratamiento de la Contaminación Ambiental. 2002. 130 p.
46. MARTINEZ, Y. 2005 Análisis de variantes operacionales para la inclusión de etapas de eliminación biológica de nutrientes en EDARs. Cuba: Universidad de Matanzas. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. 2005. 236 p
47. MARTINEZ, Y., BENITEZ, A. y DOMINGUEZ, F. 2002. Evaluación de una EDAR por lodos activados. En *Memorias del V Taller Internacional Ecología y Desarrollo* [CD-ROM]. Cuba: Universidad de Matanzas. 2002. ISBN 959-16-0162-X.
48. MARSILLI, A. Tratamiento de aguas residuales [en línea] diciembre 2005. [Consulta: marzo 21 2008]. Disponible en: http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm.
49. METCALF & EDDY, Inc .1995. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. 3ra. ed. Madrid: McGraw-Hill, 1995. 1485 p. ISBN 84-481-1607-0
50. METCALF & EDDY, Inc 2003. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3ra. ed. Madrid: McGraw-Hill, 2003. ISBN 84-481-1607-0
51. MINO, T. 1998. Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process. *Wat. Res.* 1998, vol. 32, no. 11, p. 3193-3207.
52. NC 92-21:79. Procedimiento para evaluar la anormalidad de los resultados de las observaciones.
53. NC 53-91:1983(CU). Determinación de la demanda de Agua Potable en Poblaciones.
54. NC 22:1999(CU). Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénicos sanitarios.
55. NC 27:1999(CU). Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.
56. NC 45-9:1999. Bases para el diseño y construcción de inversiones turísticas. Parte 9: Requisitos de hidráulica y sanitaria
57. NC TS 521:2007(CU). Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones.
58. NC XX: 2007 Proyecto de Norma. Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones.
59. NIST/SEMATECH. 2002. Engineering Statistics Handbook. [on line]. NIST Publications, 2002. [citado 21 de septiembre 2003] Disponible en el World Wide Web: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/.>
60. NODAL, 2001. Procesos biológicos aplicados al tratamiento de agua residual. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. 22, No 4, 52-56.
61. NOM-003-ECOL-1996. Para servicios al público. México
62. PNUMA. 2000. Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. GEO 2000. España: Ediciones Mundi – Prensa. 2000. 397 p. ISBN 84 – 7114 – 882 – X
63. PUJOL, R y LIENARD, A. 1990. Cualitative and quantitative characterization of waste water for small communities. *Wat Sci. Tech*. 1990, vol. 22, no. 314, p. 253 – 260.
64. RAMALHO, R.S. 1996. Tratamiento de aguas residuales. 2da ed. Barcelona: Editorial Reverté. S.A, 1996. 705 p. ISBN 84-291-7975-5.
65. RODRIGUEZ, J. 2008. Responsable del área de mantenimiento del hotel Barceló Marina Palace, sector Punta Hicacos, Varadero. Cuba. Acerca del funcionamiento de las fuentes y espejos de agua. Noviembre, 2008.
66. ROLIM, S. 2000. Sistemas de lagunas de estabilización. 1era. ed. [on line] McGraw-Hill: Bogotá. 2000. Disponible en *World Wide Web:* http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf

67. SANTIAGO, J.F.1997. Manual de potabilización de agua. Aspectos teóricos y prácticos de las operaciones y procesos unitarios en el tratamiento de aguas. Editorial Academia, 1997. Centro de Hidrología y calidad de las aguas. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
68. SANTIAGO, J. F., RODRIGUEZ, S. 1999: Diagnostico sobre el tratamiento y reuso de los residuales domésticos en el país. INRH - CENHICA.
69. SAWGER and Mc CARTY. 1970 Chemistry for environmental engineering. 3 th editions.
70. SEOANEZ, M. 1999a Ingeniería del medio ambiente aplicada al medio natural continental. 2da ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 702 p. ISBN 84-7114-796-3.
71. SEOANEZ, M. 1999b El gran diccionario del medio ambiente y de la contaminación. 2da ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1999. 702 p. ISBN 84-7114-796-3.
72. SERRANO, J. H. et al. Universidad para todos. "Protección ambiental y producción más limpia". Suplemento especial. Parte 1. Cuba. Editorial Academia. 2006. 16 p.
73. SMOLDERS, G.J.F et al. 1995. A metabolic model for the biological phosphorus removal process. *Wat. Sci. Tech*. 1995, vol. 31, no. 2, p. 79-93.
74. SOTO, J . J. 2000. Análisis de los efluentes líquidos residuales industriales y municipales en el estado de Oaxaca. Área Protección Ambiental. CIIDIR- UNIDAD OAXACA. I. P. N 01 – 9517 – 06 - 10, 7 – 04 – 00.
75. STREICHAN, M y GOLECKI, J.R. 1990. Polyphosphate-acumulating bacteria from sewage plants with different processes for biological phosphorus removal. *FEMS Microbiology Ecology.* 1990, vol. 73.
76. Tabloide de Medio Ambiente, Producción más limpia. Parte 1, 1999 [Consulta: septiembre 2008]. Disponible en http://www.medioambiente.cu/universidad_todos.asp
77. Tasa de ocupación hotelera en Cuba. [Consulta: noviembre 2008]. Disponible en http://www.one.cu
78. TERRY C; GUTIERREZ J; ABO M. 2006. Manual de Aguas Residuales en la Gestión Ambiental. La Habana: CIEGA
79. THEODORE, L, et al. 1999. Waste Management. En PERRY, R.H et al. *Perry Chemical Engineers' Handbook*. [CD-ROM]. 7ma ed. USA: MCGraw-Hill Companies, Inc, 1999. Sección 25.

Anexo 1

Esquema 1.1 Localización zona de estudio.

Anexo 2

Tabla A 2.1. Índices de consumo de agua potable para los establecimientos de alojamiento, según NC 45-9:1999

ESTABLECIMIENTO	CATEGORIA	CONSUMO SOCIAL (L/habitación/día)
● Hotel aparthotel y villa	5 y 4 estrellas	**605**
● Hoteles aparthoteles y villas	3 estrellas	**510**
● Hoteles aparthoteles y villas	1 y 2 estrellas	**280**
● Moteles	3 estrellas	**600-700**
● Moteles	1 y 2 estrellas	**500-600**

A los valores anteriores se adicionarán en caso que existan, los valores:

- Aire acondicionado central (torres de enfriamiento).
- Regadío de áreas verdes.
- Reposición diaria de agua en Piscina.
- Lavandería Tintorería.

Tabla A 2.2. Consumo de agua potable para hoteles de 4 y 5 estrellas y alternativa de reducción, según NC 45-9:1999.

CONCEPTO	CONSUMO (L/hab./día)	
	Potencial	*Reducido*
Aseo personal	220	155
Descarga de Inodoros	160	115
Servicios de:		
Restaurante	80	55
Cafetería con comida	60	40
Bares	20	15
Peluquería	5	5
Limpieza interior incluyendo baños	40	40
Limpieza de áreas exteriores	20	20
Índice de consumo general	**605**	**445**
Piscinas. Cambio del volumen total cada 90 días. Reposición diaria del 2 al 5 % del volumen total	168	67
Aire acondicionado central	150	-
Riego de áreas verdes 1-2 L/m^2 en dependencia del tipo de jardín, terreno y precipitaciones del lugar. Norma bruta 7300 m^3/ha/año ó 20 m^3/ha/d para área verde reducida a un índice de 68 m^2/habitación /d	270	135
Lavandería	100	100
Tintorería	7	7
Pérdidas en el sistema (10%)	130	76
Totales	**1430**	**830**

Anexo 3

Tabla A 3.1. *Composición típica del agua residual doméstica no tratada según criterio de varios autores*

Anexo 3

Tabla A 3.1. *Composición típica del agua residual doméstica no tratada según criterio de varios autores*

COMPONENTES	U.M.	CONCENTRACION																	
		FUERTE						MEDIA						DILUIDA O DEBIL					
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ST	mg/L	1200	1200	-	1250	-	1200	700	720	-	800	750	720	330	350	-	450	-	350
SDT	mg/L	850	850	1000	-	-	850	500	500	500	-	-	500	250	250	200	-	-	250
SDF	mg/L	-	525	-	-	-	525	-	300	-	-	-	300	-	145	-	-	-	145
SDV	mg/L	-	325	-	-	-	325	-	200	-	-	-	200	-	105	-	-	-	105
SST	mg/L	350	350	350	360	-	350	200	220	200	200	-	220	100	100	100	96	-	100
SSF	mg/L	-	75	-	-	-	75	-	55	-	-	-	55	-	20	-	-	-	20
SSV	mg/L	-	275	-	215	-	275	-	165	-	135	-	165	-	80	-	75	-	80
SS	mg/L	-	20	20	-	-	20	-	10	10	-	-	10	-	5	5	-	-	5
DBO5	mg/L	300	400	300	400	-	400	200	220	200	210	-	220	100	110	100	95	-	110
DQO	mg/L	1000	1000	1000	-	-	1000	500	500	-	-	500	500	250	250	250	-	-	250
N Total	mg/L	85	85	80	-	-	85	40	40	40	-	40	40	20	20	20	-	-	20
N Orgánico	mg/L	-	35	-	40	-	35	-	15	-	21	-	15	-	8	-	8	-	8
N-NH4	mg/L	50	50	-	21	-	50	25	25	-	12	-	25	12	12	-	5	-	12
NO2 -, NO3 -	mg/L	0	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	0	0	-	-	-	0
P Total	mg/L	20	15	20	-	-	15	10	8	10	-	8	8	6	4	5	-	-	4
P Orgánico	mg/L	-	5	-	-	-	5	-	3	-	-	-	3	-	1	-	-	-	1
P Inorgánico	mg/L	-	10	-	-	-	10	-	5	-	-	-	5	-	30	-	-	-	3
Aceites y grasas	mg/L	-	-	-	-	-	150	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	50
Alcalinidad	mg/L	200	200	200	-	-	200	100	100	100	-	100	100	50	50	50	-	-	50
C. Totales	NMP/100 mL	-	-	-	-	-	10^7 - 10^9	-	-	-	-	-	10^7 - 10^8	-	-	-	-	-	10^5 - 10^7
COV	µg/L	-	-	-	-	-	>400	-	-	-	-	-	100-400	-	-	-	-	-	<100

Anexo 3 Continuación

Tabla A 3.1. Composición típica del agua residual doméstica no tratada según criterio de varios autores.

COMPONENTES	U.M.	CONCENTRACION																	
		FUERTE						MEDIA						DILUIDA O DEBIL					
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
COT	mg/L	-	-	-	-	-	290	-	-	-	-	-	160	-	-	-	-	-	80
Cloruro	mg/L	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	30
Sulfato	mg/L	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	20

Autores: (1) Seoánez, 1999b; (2) Tchobanoglous, 1991; (3) Davis y Cornwell, 1985; (4) Da Silva, 1987; (5) Juárez, 2007a, (6) Mettcalf & Eddy, 2003

Anexo 4

Tabla A 4.1. Tasa de ocupación medio anual en hoteles en Varadero, según categoría.

ONE
OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICAS
República de Cuba

TURISMO / TOURISM

15.10 - Tasa de ocupación media anual de los establecimientos de alojamiento

Average annual occupancy rate

Por ciento

TIPO DE ESTABLECIMIENTO		2002	2003	2004	2005	2006	2007
Total (a)		**59,7**	**61,8**	**63,5**	**63,6**	**61,3**	**60,9**
Hoteles (b)		59,4	61,3	63,3	63,5	61,3	60,9
5 Estrellas		59,2	60,1	63,1	65,0	**64,0**	**64,1**
4 Estrellas		60,3	60,7	62,8	64,3	63,0	62,5
3 Estrellas		60,6	60,9	64,3	60,2	57,0	56,3
2 Estrellas		61,0	61,2	63,7	61,3	55,2	53,2
1 Estrella		66,8	66,9	77,6	68,0	49,6	48,2
No clasificados		64,0	64,3	61,1	63,3	48,7	46,7

(a) Los totales se refieren a la tasa de ocupación calculada con las cifras de las habitaciones existentes.

(b) Incluye Hoteles y Moteles.

Disponible en: http//:www.one.cu

Anexo 5

Tabla A 5.1 Información estadística de los datos originales de consumo de agua potable en Hotel Tryp Península. Fuente: Propia

Hotel Tryp Península. Varadero			
Mes	**Consumos de agua potable** (m³/mes)		
	2006	***2007***	***2008***
Enero	14450	12050	15340
Febrero	15166	15308	14002
Marzo	14942	14551	12550
Abril	17928	15447	15129
Mayo	15576	17717	16824
Junio	11426	11577	11529
Julio	15061	11606	13700
Agosto	14483	13932	14662
Septiembre	12593	12204	13444
Octubre	8509	9833	11625
Noviembre	12234	11731	13611
Diciembre	13801	15835	
X	13847,42	13482,58	13856,00
S	2399,94	2320,39	1601,71
CV (%)	17	17	12

Tabla A 5.2 Información de los datos originales de consumo de agua potable en Hotel Playa Alameda. Fuente: Propia

Hotel Playa Alameda. Varadero			
Mes	**Consumos de agua potable** (m³/mes)		
	2006	***2007***	***2008***
Enero	12015	10670	13367
Febrero	12909	12093	11888
Marzo	10488	11654	11119
Abril	12373	14130	10655
Mayo	10577	13131	12240
Junio	8853	8723	9325
Julio	8569	8777	10452
Agosto	9591	10789	9528
Septiembre	10875	10773	10528
Octubre	7597	9343	10515
Noviembre	10493	12035	11395
Diciembre	12382	13724	
X	10560,17	11320,17	11001,09
S	1677,31	1816,56	1181,05
CV (%)	15	16	11

Anexo 5. Continuación

Tabla A 5.3 Información de los datos originales de consumo de agua potable en Hotel Princesa del Mar. Fuente: Propia

Hotel Princesa del Mar. Varadero			
Mes	**Consumos de agua potable** (m³/mes)		
	2006	***2007***	***2008***
Enero	7803	7433	8397
Febrero	8081	8329	10235
Marzo	9516	8506	10171
Abril	12201	10913	10913
Mayo	10075	8413	12055
Junio	6912	7236	6314
Julio	5995	6931	13689
Agosto	6593	8150	9517
Septiembre	7238	9110	9126
Octubre	7507	6702	9698
Noviembre	8789	8060	10436
Diciembre	9220	10885	
X	8327,50	8389,00	10050,09
S	1735,42	1365,77	1901,50
CV (%)	21	16	19

Tabla A 5.4 Información de los datos originales de consumo de agua potable en Hotel Barceló Marina Palace. Fuente: Propia

Hotel Barceló Marina Palace. Varadero			
Mes	**Consumos de agua potable** (m³/mes)		
	2006	***2007***	***2008***
Enero	9421	15686	15799
Febrero	29494	17373	16808
Marzo	15221	15015	17790
Abril	21617	20416	19712
Mayo	18094	18040	19289
Junio	11868	11911	16644
Julio	10926	11646	17515
Agosto	12162	13835	14937
Septiembre	12925	13539	15187
Octubre	11890	9591	14259
Noviembre	14198	13689	17489
Diciembre	17222	16683	
X	15419,83	14785,33	16857,18
S	5612,58	3048,32	1736,68
CV (%)	36	21	10

Anexo 5. Continuación

Tabla A 5.9 Información de los datos originales de consumo de agua potable en Hotel Sirenis Salinas. Fuente: Propia

Hotel Sirenis Salinas. Varadero			
Mes	**Consumos de agua potable** (m³/mes)		
	2006	***2007***	***2008***
Enero	0	0	17912
Febrero	0	0	19116
Marzo	0	0	22164
Abril	0	4646	23621
Mayo	0	4659	24930
Junio	0	5637	15891
Julio	0	7571	13713
Agosto	0	4462	17794
Septiembre	0	24602	11467
Octubre	0	8797	7865
Noviembre	0	12996	14922
Diciembre	0	16791	
X	0,00	10017,89	17217,73
S	0,00	6915,14	5188,66
CV (%)	0,00	69	30

Anexo 6 Gráficos resultados de la prueba de normalidad de los datos de consumo de agua potable de cada uno de los hoteles.

Hotel Tryp Península

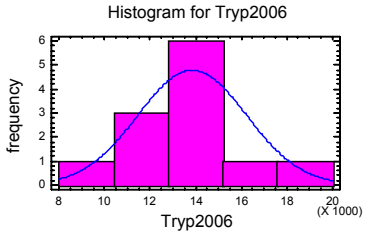


Gráfico A 6.1 Año 2006

Hotel Playa Alameda

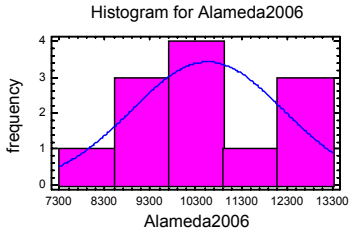


Gráfico A 6.4 Año 2006

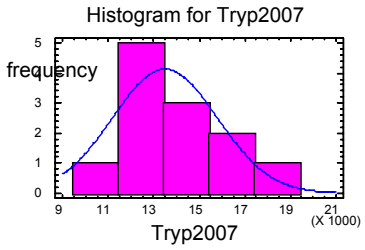


Gráfico A 6.2 Año 2007

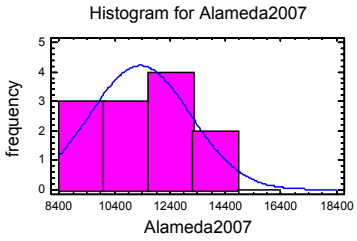


Gráfico A 6.5 Año 2007

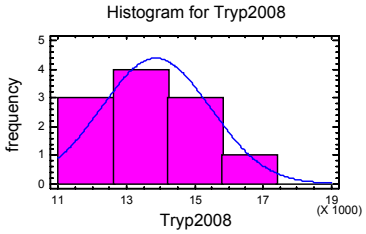


Gráfico A 6.3 Año 2008

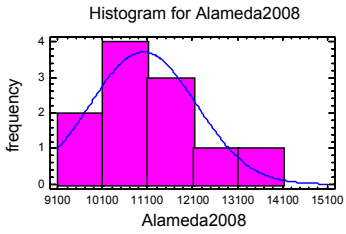


Gráfico A 6.6 Año 2008

Anexo 6. Continuación

Hotel Princesa del mar

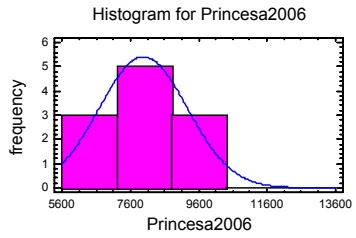


Gráfico A 6.7 Año 2006

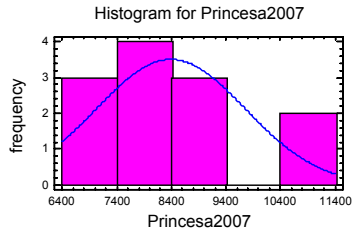


Gráfico A 6.8 Año 2007

Hotel Barceló Marina Palace

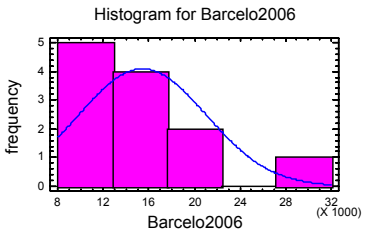


Gráfico A 6.10 Año 2006

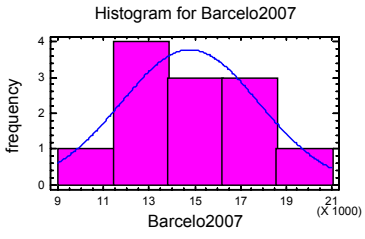


Gráfico A 6.11 Año 2007

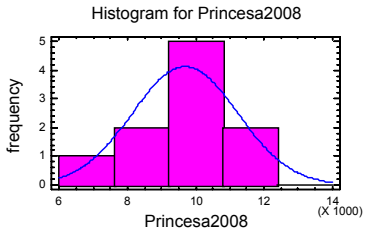


Gráfico A 6.9 Año 2008

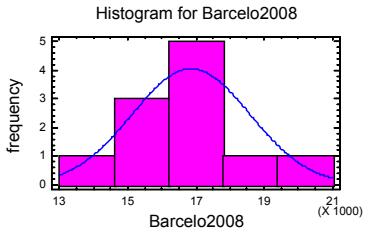


Gráfico A 6.12 Año 2008

Hotel Sirenis Salinas

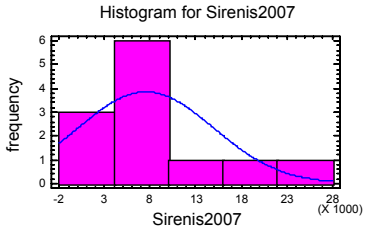


Gráfico A 6.13 Año 2007

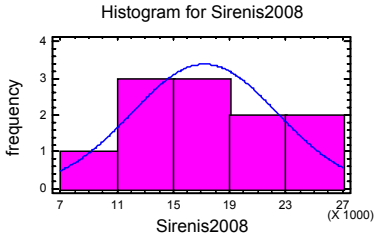


Gráfico A 6.14 Año 2008

Anexo 7

Tabla A 7.1 Resultados de la prueba de anormalidad de los consumo de agua potable en Hotel Tryp Península. Fuente: Propia

Hotel Tryp Península. Varadero			
Mes	**Consumos de agua potable** (m³/mes)		
	2006	***2007***	***2008***
Enero	14450	12050	15340
Febrero	15166	15308	14002
Marzo	14942	14551	12550
Abril	-	15447	15129
Mayo	15576	17717	16824
Junio	11426	11577	11529
Julio	15061	11606	13700
Agosto	14483	13932	14662
Septiembre	12593	12204	13444
Octubre	-	-	11625
Noviembre	12234	11731	13611
Diciembre	13801	15835	
X	13973,20	13814,36	13856,00
S	1416,12	2114,14	1601,71
CV (%)	10	15	11

Tabla A 7.2 Resultados de la prueba de anormalidad de los consumo de agua potable en Hotel Playa Alameda. Fuente: Propia

Hotel Playa Alameda. Varadero			
Mes	**Consumos de agua potable** (m³/mes)		
	2006	***2007***	***2008***
Enero	12015	10670	13367
Febrero	12909	12093	11888
Marzo	10488	11654	11119
Abril	12373	14130	10655
Mayo	10577	13131	12240
Junio	8853	8723	9325
Julio	8569	8777	10452
Agosto	9591	10789	9528
Septiembre	10875	10773	10528
Octubre	7597	9343	10515
Noviembre	10493	12035	11395
Diciembre	12382	13724	
X	10560,17	11320,17	11001,09
S	1677,31	1816,56	1181,05
CV (%)	15	16	10

Anexo 7. Continuación

Tabla A 7.3 Resultados de la prueba de anormalidad de los consumo de agua potable en Hotel Princesa del Mar. Fuente: Propia

Hotel Princesa del Mar. Varadero			
Mes	**Consumos de agua potable** (m³/mes)		
	2006	***2007***	***2008***
Enero	7803	7433	8397
Febrero	8081	8329	10235
Marzo	9516	8506	10171
Abril	-	10913	10913
Mayo	10075	8413	12055
Junio	6912	7236	6314
Julio	5995	6931	-
Agosto	6593	8150	9517
Septiembre	7238	9110	9126
Octubre	7507	6702	9698
Noviembre	8789	8060	10436
Diciembre	9220	10885	
X	7975,36	8389,00	9686,20
S	1294,63	1365,77	1548,87
CV (%)	16	16	16

Tabla A 7.4 Resultados de la prueba de anormalidad de los consumo de agua potable en Hotel Barceló Marina Palace. Fuente: Propia

Hotel Barceló Marina Palace. Varadero			
Mes	**Consumos de agua potable** (m³/mes)		
	2006	***2007***	***2008***
Enero	-	15686	15799
Febrero	-	17373	16808
Marzo	15221	15015	17790
Abril	21617	20416	19712
Mayo	18094	18040	19289
Junio	11868	11911	16644
Julio	10926	11646	17515
Agosto	12162	13835	14937
Septiembre	12925	13539	15187
Octubre	11890	9591	14259
Noviembre	14198	13689	17489
Diciembre	17222	16683	
X	14612,30	14785,33	16857,18
S	3430,62	3048,32	1736,68
CV (%)	23	21	10

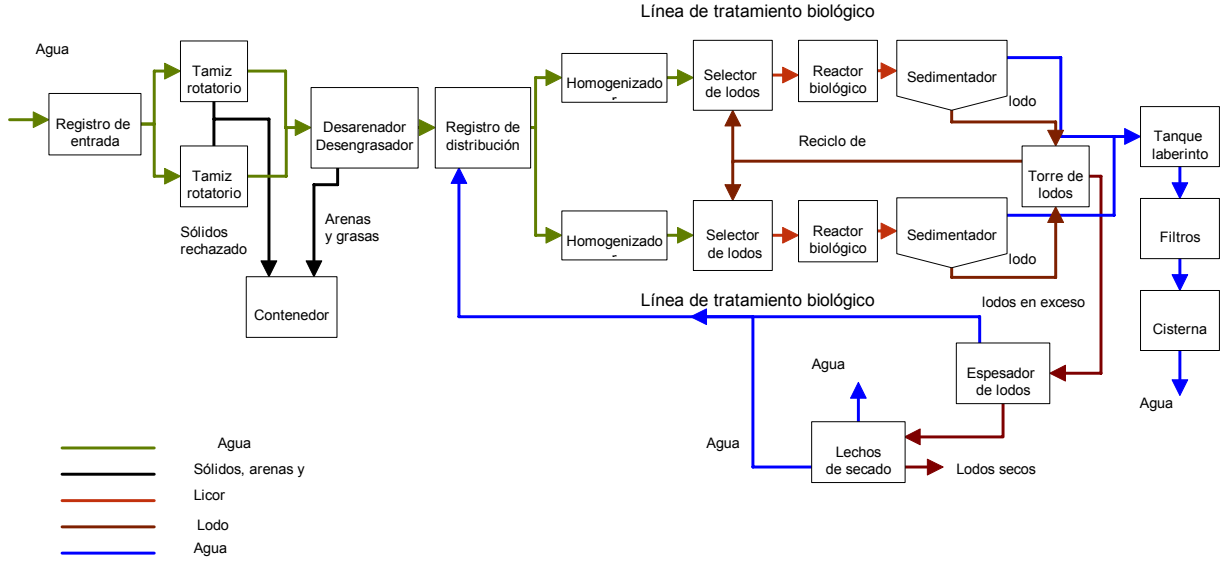
Anexo 7. Continuación

Tabla A 7.5 Resultados de la prueba de anormalidad de los consumo de agua potable en Hotel Sirenis Salinas. Fuente: Propia

Hotel Sirenis Salinas. Varadero			
Mes	**Consumos de agua potable** (m³/mes)		
	2006	***2007***	***2008***
Enero	0	0	17912
Febrero	0	0	19116
Marzo	0	0	22164
Abril	0	4646	23621
Mayo	0	4659	24930
Junio	0	5637	15891
Julio	0	7571	13713
Agosto	0	4462	17794
Septiembre	0	-	11467
Octubre	0	8797	7865
Noviembre	0	12996	14922
Diciembre	0	16791	
X	0,00	8194,88	17217,73
S	0,00	4524,06	5188,66
CV (%)	0,00	55	30

Anexo 8

Esquema A 8.1 Diagrama de los procesos de depuración de la planta de tratamiento Tryp Península.



Anexo 9

Tabla A 9.1 Información del muestreo que se realiza en la planta de tratamiento Tryp Península. Caracterización del efluente del sistema de tratamiento.

Corridas	pH	Cond	Alc	Dureza	DQO	ST	STF	STV	SDT	SDF	SDV
1	0	810	500	619	83	760	440	320	460	440	20
2	0	1669	360	641	30	840	840	0	840	440	0
3	0	1026	400	392	184	560	400	160	560	400	160
4	6.2	779	340	360	129	400	280	120	400	280	200
5	6.5	1080	320	568	36	1240	1000	240	540	1000	240
6	6.5	1080	320	570	46	1480	900	580	478	899.5	278
7	7.18	1500	330	570	22	920	1020	900	518	1020	298
8	7.46	1070	290	590	22	1520	360	760	516	460	356
9	7.44	1640	310	600	38	840	1000	840	438	1000	234
10	7.77	3550	350	784	68	2040	440	1200	2038	340	1198
11	7.61	3341	400	560	42	2080	380	1200	2078	380	1198
12	7.48	1245	450	512	30	720	160	560	480	460	320
13	8.44	1190	460	440	25	600	240	360	600	240	360
14	7.41	879	340	380	26	680	240	440	678	240	338
15	6.82	1035	430	384	34	640	240	400	639	240	399
16	6.74	1019	400	368	17	600	200	400	599	200	399
17	7.08	1113	350	384	47	680	480	200	680	480	200
18	6.96	1515	350	424	29	920	480	440	920	480	240
19	7.28	1587	310	500	29	1000	360	240	500	360	240
20	7.1	1830	290	436	26	440	240	200	440	240	200
21	7.25	1795	310	464	13	1000	240	160	500	340	160
22	7.85	0	270	480	2	1480	240	640	480	340	340
23	7.62	0	330	480	14	1280	520	760	273	413	360

24	7.77	1158	640	488	86	800	320	480	797	318	279
X	6.35	1329.63	368.75	499.75	44.92	980.00	459.17	483.33	685.50	458.77	334.04
S	2.50	798.54	82.21	105.64	40.68	460.02	277.41	325.32	446.76	252.87	285.30
CV (%)	39.38	60.06	22.30	21.14	90.56	46.94	60.42	67.31	65.17	55.12	85.41

Fuente: Propia

Anexo 10

Tabla A 10.1 Resultados de la prueba de anormalidad de los datos
Caracterización del efluente del sistema de tratamiento.

Corridas	pH	Cond	Alc	Dureza	DQO	ST	STF	STV	SDT	SDF	SDV
1		810	500	434		760	440	320	460	440	
2		1669	360	577	30	840	440		840	440	
3		1026	400	360		560	400	160	560	400	160
4	6.2	779	340	384		400	280	120	400	280	200
5	6.5	1080	320	500	36	1240		240	540		240
6	6.5	1080	320	605	46	480		580	478		278
7	7.18	1500	330	630	22	920		900	518		298
8	7.46	1070	290	490	22	1520	360	760	516	760	356
9	7.44	1340	310	500	38	840		840	438		234
10	7.77		350	520			440			340	
11	7.61		400	512	42		380			380	
12	7.48	1245	450	512	30	720	160	560	480	460	320
13	8.44	1190	460	516	25	600	240	360	600	240	360
14	7.41	879	340	396	26	680	240	440	678	240	338
15	6.82	1035	430	380	34	640	240	400	639	240	399
16	6.74	1019	400	360	17	600	200	400	599	200	399
17	7.08	1113	350	400	47	680	480	200	680	480	200
18	6.96	1515	350	408	29	920	480	440	920	480	240
19	7.28	1587	310	436	29	1000	360	240	500	360	240
20	7.1	1830	290	448	26	440	240	200	440	240	200
21	7.25	1795	310	540	13	1000	240	160	500	340	160
22	7.85		270	552		1480	240	640	480	340	340
23	7.62		330	520	14	1280	520	760	273	4.13	360
24	7.77	1158	640	448		800	320	480	797	318	279
X	7.26	1236.00	368.75	476.17	29.22	836.36	335.00	438.10	560.73	349.11	280.05
S	0.53	314.84	82.21	76.94	9.99	314.70	108.36	237.73	151.17	150.51	76.33
CV (%)	7.25	39.88	22.29	21.13	34.17	34.07	37.41	34.35	29.57	32.1	37.86

Fuente: Propia

Anexo 11

Tabla A 11.1: Información de los datos originales de consumo promedio mensual del afluente de la planta de tratamiento en los años 2006, 2007 y 2008

MES	Consumos afluente de la planta m³/mes		
	2006	2007	2008
Enero	41547	45597	32962
Febrero	40272	34135	48671
Marzo	37241	34672	32158
Abril	36938	40613	32455
Mayo	32711	36720	34840
Junio	28664	32505	28800
Julio	30550	26620	41616
Agosto	36641	32983	37307
Septiembre	34660	30718	33259
Octubre	30001	29311	37885
Noviembre	33509	43468	35300
Diciembre	39260	49158	38647
X	35166,15	36375,04	36158,32
S	4182,88	6930,23	5238,04
CV (%)	11,89	19,05	14,49

Fuente: Propia

Anexo 12 Gráficos resultados de la prueba de normalidad de los datos de consumo del afluente de la planta de tratamiento en los años 2006, 2007 y 2008.

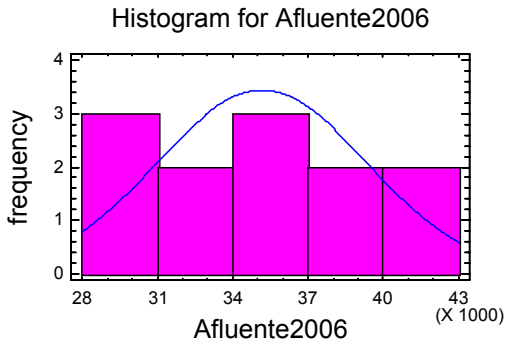


Gráfico A 12.1 Año 2006

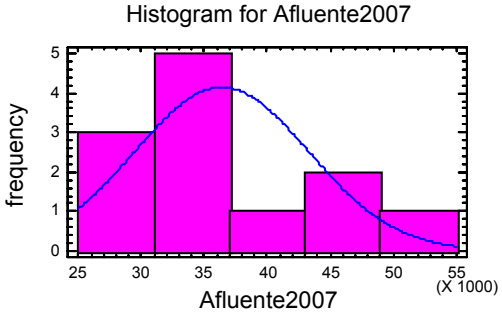


Gráfico A 12.2 Año 2007

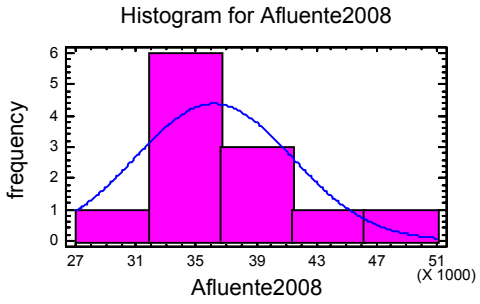


Gráfico A 12.3 Año 2008

Anexo 13

Tabla A 13.1 Resultados de la prueba de anormalidad de los consumo promedio mensuales del afluente de la planta de tratamiento.

MES	Consumos afluente de la planta m³/mes		
	2006	**2007**	**2008**
Enero	41547	45597	32962
Febrero	40272	34135	
Marzo	37241	34672	32158
Abril	36938	40613	32455
Mayo	32711	36720	34840
Junio	28664	32505	28800
Julio	30550		41616
Agosto	36641	32983	37307
Septiembre	34660	30718	33259
Octubre	30001	29311	37885
Noviembre	33509	43468	35300
Diciembre	39260		38647
X	35166,15	36072,25	35020,80
S	4182,88	5465,32	3619,50
CV (%)	11,89	15,15	10,34

Fuente: Propia

Anexo 14

Tabla A 14.1 Datos primarios de consumos de agua de reuso para riego agrupados y desglosados en períodos lluvioso y poco lluvioso

Año	Consumo de Riego m³/mes	
	Período lluvioso (mayo-oct)	**Período poco lluvioso** (nov-abril)
2006	6536	6345
	1192	7676
	2418	4499
	5469	7275
	4698	5886
	3186	6574
2007	7161	4560
	8258	5577
	4690	7249
	7235	9459
	2793	2329
	1628	4445
2008	2396	8397
	3637	9076
	4844	2862
	4443	2602
	1169	5413
	585	8904
X	4018,78	6062,67
S	2295,23	2224,58
CV (%)	50	53

Fuente: Propia

Anexo 15. Gráficos resultados de la prueba de normalidad de los datos de consumo del efluente de la planta de tratamiento para riego de áreas verdes.

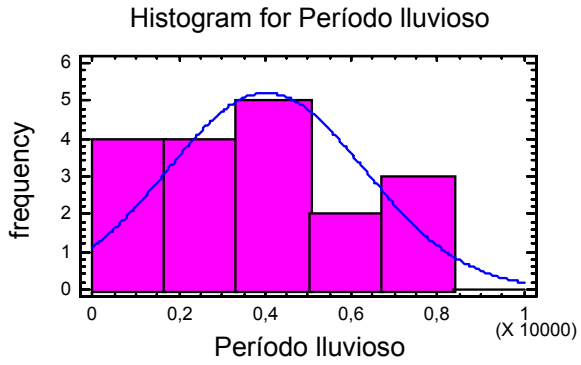


Gráfico A 15.1 Riego en período lluvioso

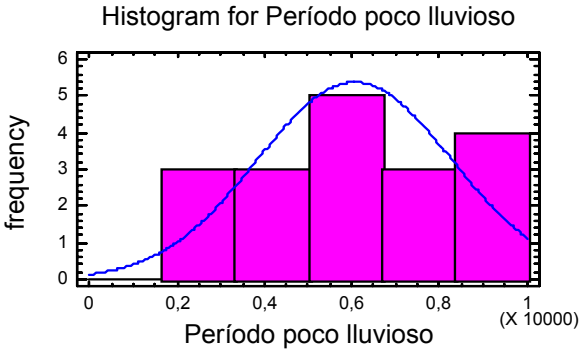


Gráfico A 15.1 Riego en período lluvioso

Anexo 16

Tabla A 16.1 Resultados de la prueba de anormalidad de los consumo promedio mensuales del afluente de la planta de tratamiento.

Año	**Consumo de Riego m³/mes**	
	Período lluvioso (mayo-oct)	**Período poco lluvioso** (nov-abril)
2006		6345
		7676
	2418	4499
		7275
		5886
	3186	6574

2007		
		5577
	4690	7249
		9459
	2793	
2008	2396	8397
	3637	9076
	4844	
	4443	
		5413
		8904
X	3550,88	7102,31
S	1006,96	1555,68
CV (%)	28	22

Fuente: Propia

Anexo 17. Matriz de Leopold para el Estudio de Impacto Ambiental que pudiera causar el uso del efluente de la planta de tratamiento "Tryp Península" en las fuentes y espejos de agua de los hoteles ubicados en la península de Hicacos, en el medio ambiente.

Acciones que Causan Efectos Ambientales

Elementos Ambientales		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	
	A	5 / 4	4 / 4	5 / 5	1 / 1	1 / 1	**16** / **15**
	B	4 / 4	3 / 3	5 / 5	1 / 1	1 / 1	14 / 14
	C	1 / 1	1 / 1	1 / 1	4 / 5	4 / 5	11 / 13
	D	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	5 / 6	9 / 10
	E	5 / 5	2 / 2	5 / 5	1 / 1	1 / 1	14 / 14
	F	1 / 1	1 / 1	1 / 1	4 / 5	4 / 5	11 / 13
	G	1 / 1	1 / 1	1 / 1	4 / 5	4 / 5	11 / 13
	H	4 / 4	3 / 3	5 / 5	1 / 1	1 / 1	14 / 14
	I	5 / 8	2 / 2	4 / 4	2 / 2	3 / 4	**16** / **17**
	J	3 / 3	1 / 1	3 / 3	1 / 1	1 / 1	9 / 9
	K	4 / 5	1 / 1	3 / 4	2 / 2	4 / 5	**14** / **16**
	L	1 / 1	1 / 1	1 / 1	2 / 2	3 / 4	8 / 9
		37 / **34**	21 / 21	**35** / **36**	24 / 27	**33** / **40**	

Fuente: Propia

Leyenda

Tabla A 17.1. Acciones que causan efectos ambientales.

ACCIONES QUE CAUSAN EFECTOS AMBIENTALES	
1	Alteración de la cubierta del suelo
2	Redes soterradas.
3	Excavar y rellenar.
4	Vertidos al mar
5	Vertido de efluentes líquidos

Fuente: Propia.

Anexo 17. Continuación.

Tabla A 17.2. Elementos Ambientales.

ELEMENTOS AMBIENTALES	
A	Suelos.
B	Morfología del terreno
C	Calidad del Agua de mar.
D	Fuentes y espejos.
E	Césped
F	Plantas acuáticas
G	Peces y crustáceos
H	Naturaleza de los espacios abiertos
I	Vistas escénicas y panorámicas
J	Cualidades de los espacios abiertos
K	Salud y seguridad.
L	Eutrofización

Fuente: Propia.