

Universidad de Matanzas  
"Camilo Cienfuegos"  
Facultad de Ingenierías  
Departamento de Química e Ingeniería Química



## *Trabajo de Diploma*

*Título: Análisis del funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".*

*Autor:* Yailenys Barrachina Álvarez

*Tutores:* Dr.C Josefina del C .González Hernández

Dr.C Juana Zoila Junco Horta

Matanzas, 2014

*Nota de aceptación.*

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Tribunal

---

Tribunal

---

Tribunal

---

Ciudad

---

Fecha

---

Calificación

## *Declaración de autoridad.*

Declaro que soy la única autora de este trabajo de Tesis de Diploma y autorizo a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, a que haga uso parcial o total del mismo.

---

Yailenys Barrachina Álvarez

## *Pensamiento.*

*“La naturaleza no tiene celos, como los hombres. No tiene odios, ni miedo como los hombres, no cierra el paso a nadie, porque no teme a nadie. Los hombres siempre necesitarán los productos de la naturaleza”.*

*José Martí*

## *Dedicatoria.*

A mis padres por su entrega de cada día y por su ejemplo en todo momento.

A mi esposo por su paciencia y amor durante tanto tiempo y por compartir mis sueños.

A mi hermana por su ayuda incondicional.

A mis tíos por su apoyo y dedicación.

A mis amigos que siempre me dan ánimos.

## *Agradecimientos.*

A mi tutora, Josefina del C. González Hernández, ya que sin su ayuda y apoyo no hubiera sido posible la realización de esta tesis.

A mis padres por apoyarme siempre sin límites.

A mi esposo por su cariño, paciencia, dedicación y apoyo incondicional.

A mi hermana y tíos por su ayuda y dedicación.

A mis compañeros de aula Lidielis, Alexis, Yisser por su apoyo.

A todas las personas y profesores que de una forma u otra han contribuido a la realización de este trabajo y a mi desarrollo profesional.

Muchas gracias.

## **Resumen.**

El presente trabajo de diploma tiene como objetivo analizar el funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, por lo que se hace necesario realizar un diagnóstico de la red de evacuación de residuales. Se estimó el flujo de agua residual generado por la comunidad universitaria de 1520.07 m<sup>3</sup>/día. Se realizaron análisis físico-químicos y microbiológicos al agua residual, la cual contiene gran cantidad de materia orgánica. Se rediseñó la laguna de oxidación con la utilización del método de Ostwald y Gotaas y el Factor de Dispersión, obteniendo por ambos métodos una laguna facultativa. Para mejorar el tratamiento primario se proponen trampas de grasas y de fango, para las cuales se determinó un costo de inversión de \$ 8 092, lo que corrobora la aceptación de la propuesta.

## **Summary.**

The goal of the present diploma work is to analyze the working of the residual water treatment system of the University "Camilo Cienfuegos" in Matanzas, reason why it becomes necessary to make a diagnosis of the residual water evacuation network. The flow of residual water generated by the university community was estimated in 1 520.07 cubics metters per day. A physical-chemical microbiological analysis were made to the residual water, which contains great amount of organic matter .The oxidation lagoon was redesigned with the use of the Ostwald and Gotaas method and the dispersion's Factor, obtaining by both methods a facultative lagoon .To improve the primary treatment, fat and mud traps were proposed for which a cost of investment was determined of 8 092 cuban pesos, what corroborates the acceptance of the proposal.

## **Índice.**

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Introducción.....	1
Capítulo 1: Análisis bibliográfico.....	4
1.1 Clasificación de las aguas residuales. ....	4
1.2 Composición de las aguas residuales.....	5
1.3 Indicadores de contaminación en las aguas residuales.....	6
1.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). ....	6
1.3.2 Demanda Teórica de Oxígeno (DTO) Y Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	7
1.4 Las aguas residuales y su impacto en el medio ambiente.....	8
1.5 Tratamientos de las aguas residuales. ....	9
1.5.1 Pretratamiento.....	9
1.5.2 Tratamiento primario. ....	10
1.5.3 Tratamiento secundario.....	11
1.5.4 Tratamiento terciario. ....	11
1.6 Tipos de tratamientos que se realizan en las aguas residuales.....	12
1.6.1 Clasificación de los diferentes tratamientos biológicos. ....	13
1.6.2 Tratamientos biológicos. ....	13
1.6.2.1 Lodos activados.....	13
1.6.2.2 Filtros Percoladores.....	14
1.6.2.3 Lagunas de Oxidación. ....	15
1.7 Diseño de lagunas de oxidación. ....	18
1.7.1 Método de Oswald y Gotaas. ....	18
1.7.2 Método del Factor de Dispersión.....	18
1.7.3 Método del Central Public Health Research Institute de la India (CPHRI). .....	19
1.7.4 Método de Marais y Shaw.....	19
1.7.5 Método de las Cargas. ....	19
1.8 Gestión ambiental en Cuba. ....	20
Conclusiones parciales del capítulo.....	22

Capítulo 2: Metodología de la investigación.....	23
2.1 Análisis de la red exterior de evacuación de residuales de la Universidad “Camilo Cienfuegos”.....	24
2.1.1 Diagnóstico de la red exterior de evacuación residual.....	24
2.1.2 Entrevista.....	25
2.2 Determinación del flujo residual generado por la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.....	25
2.3 Muestreo de las aguas residuales.....	26
2.3.1 Método de Aforo.....	27
2.4 Características del agua residual a la entrada del sistema de tratamiento de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.....	27
2.4.1 Determinaciones analíticas.....	27
2.5 Análisis estadístico.....	29
2.6 Propuesta de sistema de tratamiento para las aguas residuales.....	29
2.6.1 Metodología para el diseño de lagunas de oxidación.....	29
2.6.2 Diseño de las trampas de fango y de grasa.....	31
2.7 Consideraciones económicas.....	32
Capítulo 3: Análisis de los resultados.....	33
3.1 Diagnóstico de la red exterior de evacuación residual.....	33
3.1.2 Entrevistas realizadas a los especialistas y estudiantes de la UMCC....	33
3.2 Análisis del Decreto Ley del INRH del 20 de noviembre de 1991.....	34
3.3 Método volumétrico para la determinación de caudal.....	36
3.4 Determinaciones analíticas.....	36
3.5 Análisis estadístico.....	38
3.6 Análisis de la Propuesta del sistema de tratamiento para las aguas residuales generada por la Universidad de Matanzas.....	39
3.6.1 Diseño de la Laguna según el método de Ostwald y Gotaas.....	39
3.6.1.1 Diseño de la Laguna según el método del factor de dispersión. ....	40
3.6.2 Diseño de tratamientos primarios.....	41
3.7 Análisis económico.....	44
Conclusiones parciales del capítulo.....	46

Conclusiones.....	47
Recomendaciones.....	48
Bibliografía. ....	49
Anexos. ....	53

## **Introducción.**

El agua ha sido, desde la creación del mundo, imprescindible para todos los seres vivos, necesario para su mantenimiento, para formar parte de su composición o como medio ambiente de múltiples especies.

Para la especie humana, a medida que se ha desarrollado la civilización y ha crecido la población en casi todas las áreas habitadas de la superficie terrestre, las necesidades de agua y energía, han sido siempre en orden creciente.

Al mismo tiempo y casi desde el inicio de la actividad humana, el desarrollo ha obstaculizado cada vez más el uso y disfrute del agua a causa del vertido desordenado de residuos líquidos a los cursos de agua y a las zonas costeras próximas a las áreas habitadas.(Iturralde, 2011)

Como consecuencia de todo ello, el ingenio humano ha ideado a lo largo de la historia diferentes sistemas de aprovechamiento y tratamiento de las aguas tanto en su aspecto energético como desde el punto de vista de su uso en alimentación y en aplicaciones agrarias.

En las zonas urbanas, el consumo de agua se ha orientado fundamentalmente hacia su uso en alimentación, lavado y aplicaciones industriales. (Berovidez, 2007)

Desde el siglo pasado, el problema de las aguas residuales comenzó a plantearse de forma generalizada al aumentar el tamaño de los núcleos de población y a ello se añadió el inicio de los conocimientos sanitarios suficientes como para pensar en el peligro potencial que suponía el uso defectuoso de esos residuos, hasta el punto que según la organización mundial de la salud actualmente un 80% de las enfermedades que afectan a la población están directamente asociadas con el agua.

Durante los últimos 100 años el uso del agua ha aumentado a un ritmo que es dos veces superior a la tasa de crecimiento de la población. Según las estadísticas del consejo mundial del agua se estima que para el 2015 el número de habitantes afectados por esta grave situación se eleve a 3 500 millones de personas.

En Cuba, a favor de la protección del medio ambiente, se han producido cambios entre los que se encuentra la elaboración e implementación de la Estrategia Ambiental Nacional y el desarrollo a partir de estrategias territoriales y sectoriales,

que contribuyen a atender los principales problemas ambientales existentes.(CITMA)

Las aguas residuales reclaman necesariamente un tratamiento para evitar la contaminación de los cuerpos receptores; estas contaminaciones no se manifiestan tan pronto aparece el residual, sino cuando sus componentes nocivos alcanzan por acumulación un nivel tal que hace imposible un desarrollo normal de la flora y la fauna. Es por ello que se establece el control estricto sobre el vertimiento de las aguas residuales previamente tratadas, y es precisamente la protección del medio ambiente uno de los lineamientos que rigen el desarrollo sostenible.

Las aguas residuales, contaminadas son las que han perdido su calidad como resultado de su uso en diversas actividades. Se trata de aguas con alto contenido en elementos contaminantes, que a su vez van a contaminar aquellos sistemas en los que son evacuados. (Cuenca ,2008).

La adecuada recolección, conducción, tratamiento y disposición final de los residuales líquidos generados en los asentamientos humanos y entidades productivas, evitan o disminuyen la contaminación de las aguas, el suelo, el aire y mitigan los impactos negativos que produce este fenómeno sobre otros factores del medio natural y socioeconómico. Sin embargo, cuando estas acciones se ejecutan de forma inapropiada o se ignoran los problemas que de ella se derivan, lejos de beneficiar al medio ambiente, ocasionan daños significativos sobre él, lo que contribuye en muchos casos a generar focos contaminantes de considerable importancia. (Introducción de la Producción más Limpia en la Gestión Ambiental, 2002)

Las aguas residuales generadas por la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” van a las lagunas de oxidación, las cuales vierten al río Buey Vaca donde se hace necesario conocer la calidad del agua tratada para evitar la contaminación del cuerpo receptor, además existen dificultades con el funcionamiento de las lagunas de oxidación por no llegar las cantidades de agua estimadas para lograr el óptimo de su funcionamiento, por lo que se plantea el siguiente problema.

**Problema científico**

¿Cómo mejorar el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”?

**Hipótesis**

Si se diagnostica el estado de la red hidrosanitaria y se realizan los análisis físico-químicos y microbiológicos del afluente se plantearán soluciones que mejoren el funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

**Objetivo General**

Analizar el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

**Objetivos Específicos**

- Realizar el análisis físicoquímico y microbiológico de las aguas residuales en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.
- Analizar la calidad del agua residual en función de las normas cubanas NC27\_1999 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones y la NC521\_2007 Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones.
- Proponer soluciones a los problemas detectados en el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

## **Capítulo 1: Análisis bibliográfico.**

A través de la historia, el hombre ha podido enriquecer su conocimiento de la naturaleza, comprenderla mejor y preservarla. En las últimas décadas se ha alcanzado una mayor conciencia sobre el tratamiento de aguas residuales para contribuir al cuidado y la protección del medio ambiente.

En este capítulo se abordan aspectos relacionados con el tratamiento de las aguas residuales, ya que resulta de gran importancia que el lector conozca la actualización de temas referentes a la clasificación y composición de las aguas residuales y tipos de tratamientos que se emplean para proteger el medio ambiente.

### **1.1 Clasificación de las aguas residuales.**

La clasificación más general de las aguas residuales se realiza a partir de la fuente generadora:

Domésticas: aguas residuales generadas en asentamientos poblacionales, escuelas, instalaciones turísticas, edificios públicos, centros comerciales e instalaciones sanitarias de las industrias, que se componen fundamentalmente de desperdicios humanos.

Industriales: aguas residuales resultantes de la actividad manufacturera, la industria extractiva y el procesamiento de los productos de la actividad agropecuaria. (Metcalf & Eddy, 1995).

Agropecuarias: aguas residuales generadas en las instalaciones agropecuarias (centros porcinos, vaquerías, granjas avícolas, producciones agrícolas).

Municipales: combinación de aguas residuales provenientes de residencias, edificios públicos, establecimientos comerciales, sistemas de drenaje pluvial y algunas industrias. (Fernández, 2002)

Hierro (2005) brinda una nueva clasificación para las aguas residuales según su origen y considera que son las provenientes de procesos de infiltración y de eventos meteorológicos y las denomina como aguas de infiltración y pluviales.

Rodríguez (2006) clasifica las aguas residuales de la siguiente forma:

Aguas residuales domésticas: aquellas procedentes de zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

Aguas residuales industriales: todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas, ni aguas de escorrentía pluvial.

Aguas urbanas: las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Habitualmente todas se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). Las industrias que realicen el vertido de sus aguas residuales en esta red colectora, habrán de acondicionarlas previamente.

La autora considera que los criterios expuestos anteriormente resultan de gran utilidad porque se complementan entre sí y detallan con mayor precisión la definición de agua residual, así como la importancia de su clasificación para el desarrollo de la sociedad y sobre todo para su influencia en el medio ambiente.

## **1.2 Composición de las aguas residuales.**

Los principales componentes disueltos en el agua residual son sulfatos, cloruros, bicarbonatos de sodio y potasio, y óxidos de calcio y magnesio. Las aguas de la superficie suelen contener también residuos domésticos e industriales. Las aguas subterráneas poco profundas pueden contener grandes cantidades de compuestos de nitrógeno y de cloruros, derivados de los desechos humanos y animales. Generalmente, las aguas de los pozos profundos sólo contienen minerales en disolución. Casi todos los suministros de agua potable natural contienen fluoruros en cantidades variables. Las aguas residuales están constituidas por materia orgánica en forma suspendida, coloidal y disuelta. (Tchobanoglous, 2007)

La composición de las aguas residuales es muy variable en razón de los diversos factores que lo afectan. Entre estos se tiene en cuenta el consumo promedio de agua por habitante y por día, que afecta su concentración (cantidad) y los hábitos alimenticios de la población que caracteriza su composición química (calidad).

En general, las aguas residuales contienen aproximadamente un 99.9% de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas. Las proteínas constituyen del 40 al 50% de la materia orgánica y están representadas por los complejos de aminoácidos y proporcionan la mayor parte de los nutrientes bacterianos. Aproximadamente un 50-60% de las proteínas se encuentran disueltas en las aguas residuales y un 20-30% en la fracción sedimentable. La materia carbonácea está representada por los hidratos de carbono, los que a su vez están constituidos por los almidones, los azúcares y la celulosa, de esta materia carbonácea, los dos primeros son fácilmente degradables. Los porcentajes de hidratos de carbono que se encuentran en forma disuelta y sedimentable son semejantes a las proteínas. Las grasas incluidas en los ácidos grasos no suelen ser solubles y se degradan lentamente. (Rojas, 2002)

### **1.3 Indicadores de contaminación en las aguas residuales.**

La contaminación del agua no es más que la presencia de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que perjudiquen o resulten nocivos para uno o varios de los factores o componentes del medio en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o encontrarse por encima de sus concentraciones normales en cualquier elemento del medio ambiente, altera su composición y condición natural. (Urbieta, 2005; Serrano 2006).

La variedad de contaminantes orgánicos es amplísima y no es suficiente el empleo de un único indicador para evaluar la contaminación orgánica del agua, para ello se necesitan indicadores como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Teórica de Oxígeno (DTO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

#### **1.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).**

La DBO es uno de los parámetros más utilizados en la caracterización de los contaminantes orgánicos. Esta determinación brinda un estimado del oxígeno

disuelto requerido por los microorganismos en la degradación de los compuestos biodegradables.

El mecanismo presente durante la prueba de laboratorio de la DBO es esencialmente biológico y no depende únicamente del oxígeno presente y utilizado en un momento dado, sino también de la velocidad a la que este se consume, y por tanto, del tiempo. Por lo que es necesario fijar un tiempo y temperatura de incubación estándar, que normalmente es de cinco días, y 20<sup>0</sup>C como temperatura de referencia.

En muchos casos se necesita conocer la demanda bioquímica de oxígeno total de un agua residual (DBO última). En tal sentido se requiere determinar previamente la velocidad a la cual ocurre la reacción en toda su extensión.

La determinación de la DBO implica conocer el oxígeno consumido por las bacterias en un intervalo de tiempo, ya que existe una relación cuantitativa entre el oxígeno consumido y la concentración del material orgánico que se transforma en dióxido de carbono y amoníaco. (Méndez, 2007)

Para medir la concentración de contaminantes orgánicos en las aguas que resultan del uso doméstico, el parámetro más utilizado es la demanda biológica de oxígeno (DBO), esta se define como la concentración de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos, presentes en el agua. (Marsilli, 2005)

### **1.3.2 Demanda Teórica de Oxígeno (DTO) Y Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

Cualquier compuesto orgánico puede ser oxidado hasta la obtención final de productos estables como el agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>) y anión sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>). La cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación se denomina demanda teórica de oxígeno (DTO).

Demanda química de oxígeno: Estima el oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica y otras sustancias inorgánicas oxidables contenidas en el agua, lo que aventaja a la DBO<sub>5</sub> en la rapidez del ensayo (dos horas en lugar de cinco días) y la mayor fiabilidad y reproducibilidad del ensayo. Puesto que por medios químicos la oxidación de la materia orgánica es más completa y puede incluir a otras sustancias inorgánicas, el valor de la DQO es

mayor que el de la DBO<sub>5</sub>, lo que puede considerarse el doble para aguas residuales urbanas no tratadas. (Seoáñez, 1999 y Benítez, 2005).

En concordancia con los autores antes consultados, la autora considera que para el desarrollo satisfactorio de toda investigación, se debe profundizar y comprender la importancia del empleo de indicadores. En este caso, estos indicadores tendrán la finalidad de evaluar la calidad del agua residual, con lo cual se logra seleccionar posteriormente el análisis y el método más adecuado para la correcta gestión de las mismas.

#### **1.4 Las aguas residuales y su impacto en el medio ambiente.**

El impacto ambiental de los principales constituyentes de los residuales líquidos se resume en los siguientes aspectos:

- Los altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno en las aguas naturales, como resultado de las descargas de residuales ricos en materia orgánica, llevan al decrecimiento del oxígeno disuelto y al desarrollo de condiciones sépticas, lo que frecuentemente causa la muerte de la biota acuática. (Domínguez, 2007)
- Las grasas y aceites causan problemas en el funcionamiento de las redes de alcantarillado y plantas de tratamiento. Cuando éstas flotan en la superficie de las aguas receptoras interfieren en la aireación natural, pueden ser tóxicas a ciertas especies de peces y de vida acuática, crean peligro de fuego cuando están en suficiente cantidad en el agua, destruyen la vegetación a lo largo de las orillas de los cuerpos receptores y reducen los usos recreativos. (Metcalf & Eddy, 1998)
- La temperatura tiene gran influencia en los procesos químicos y biológicos en las aguas superficiales, especialmente en los niveles de oxígeno, fotosíntesis y producción de algas, así como en la biota acuática, particularmente en los peces.
- La acidez del agua, medida como pH, afecta el balance químico y ecológico de los cuerpos receptores y es un factor limitante para ciertos usos del agua.

- Las descargas de residuales líquidos provenientes de asentamientos humanos e instalaciones pecuarias transportan una variedad de organismos patógenos como: bacterias, virus, helmintos y protozoos, que son causa de numerosas enfermedades y muertes en los países en desarrollo. (Díaz, 2006)
- Los efluentes con altas concentraciones de sólidos disueltos crean problemas de incrustación y corrosión en los sistemas de conducción y causan importantes afectaciones si se descargan al alcantarillado público o se reutilizan.
- Los sólidos suspendidos pueden afectar significativamente el uso del agua, estos limitan la penetración de la luz y la vida útil del reservorio, dañan el hábitat al generar condiciones anaerobias en el fondo de los lagos, ríos y mares y afectan la vida acuática, desde el fitoplancton hasta los peces.
- Los compuestos orgánicos volátiles liberados a la atmósfera pueden implicar riesgos para la salud pública, conducen a la formación de oxidantes fotoquímicos y pueden afectar la salud de los trabajadores de los sistemas de alcantarillado y de las plantas de tratamiento de residuales líquidos.

### **1.5 Tratamientos de las aguas residuales.**

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales radican en un conjunto de operaciones donde predominan los fenómenos físicos y procesos basados en reacciones químicas y bioquímicas que se agrupan en pretratamiento y tratamientos primarios, secundarios y terciarios. (Díaz ,2006)

#### **1.5.1 Pretratamiento.**

El pretratamiento implica la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga, a los cuerpos receptores o para un tratamiento secundario.

El pretratamiento consta de las siguientes operaciones: (Díaz ,2006)

- Desbaste; elimina objetos de gran tamaño.
- Desarenado; elimina arena y sustancias en suspensión con una densidad mayor que la del agua.
- Desengrasado; elimina grasas y aceites.

- Desmenuzadores.
- Tamices.
- Cámaras de rejas o cribas.

### **1.5.2 Tratamiento primario.**

El tratamiento primario posee como principal finalidad la adecuación del agua residual para las siguientes etapas de tratamiento y contempla el uso de operaciones físicas tales como: la ecualización, las rejas para retener sólidos grandes, las trampas para grasa y los separadores de arena, entre otros.

Dentro de los tratamientos primarios más utilizados se encuentran los siguientes: (Díaz ,2006)

- Desbaste
- Dilaceración
- Coagulación
- Cámara de arena
- Desaceitado
- Flotación
- Desgasificación
- Filtración

En el tratamiento primario pueden realizarse las siguientes operaciones o procesos:

- Decantación primaria; es la sedimentación de los sólidos en suspensión con densidad superior a la del agua.
- Flotación; elimina los sólidos en suspensión con una densidad inferior a la del agua.
- Coagulación-floculación; es un tratamiento químico-físico utilizado para favorecer la sedimentación de los sólidos coloidales en suspensión. Remueven metales de las corrientes de aguas residuales. Los compuestos volátiles son eliminados mediante arrastres con aire y procesos biológicos aireados.

Generalmente con el agua residual se transportan, objetos y constituyentes que pueden interferir en el funcionamiento normal de una estación depuradora, y el

objetivo de este tratamiento es eliminar estos residuos. 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, 2010).

### **1.5.3 Tratamiento secundario.**

El tratamiento secundario consiste en la reducción o eliminación de los principales contaminantes presentes en el agua (materia orgánica y nutriente) mediante procesos químicos y biológicos, aunque al tratar residuos de origen urbano generalmente el tratamiento se limita a los procesos biológicos.

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. (Díaz ,2006) (Juárez, 2007).

Terry. (2006), refiere que el tratamiento biológico puede realizarse por diferentes tecnologías como son los lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, sistemas de lagunas facultativas y aerobias y sedimentación secundaria. Suele incluir la desinfección.

Esta etapa adquiere gran importancia en la actualidad debido a la necesidad de una mayor eficiencia en el tratamiento y gestión de las aguas residuales con vistas a lograr la calidad necesaria para su disposición final. (Aguamarket, 2010)

### **1.5.4 Tratamiento terciario.**

El tratamiento terciario se lleva a cabo cuando es necesario mejorar la calidad de las aguas para su vertido al cauce o por exigencias del uso posterior. Se define como el nivel de tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos, los

excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión y disueltos y los microorganismos patógenos.(Díaz ,2006)

Ramálho (1996) plantea que en el tratamiento terciario se realizan las operaciones siguientes:

- Microfiltración.
- Filtración (lecho de arena).
- Precipitación y coagulación.
- Adsorción (carbón activado).
- Intercambio iónico.
- Ósmosis inversa.
- Electrodialisis.
- Cloración y ozonización.
- Procesos de reducción de nutrientes.

En resumen, el tratamiento físico se utiliza en todos los niveles, sin embargo algunas de las operaciones son propias de la fase de pretratamiento, el tratamiento químico consiste en la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual y el tratamiento biológico se basa en fenómenos naturales de degradación, metabolismo y utilización de los productos contenidos en el agua residual.

### **1.6 Tipos de tratamientos que se realizan en las aguas residuales.**

El tratamiento biológico del agua residual tiene como objetivo la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica que se encuentra suspendida y disuelta en la misma, mediante la acción de microorganismos. En este proceso se produce una serie de reacciones bioquímicas mediante las cuales los microorganismos utilizan la materia presente en el agua, la sintetizan y aprovechan la energía.

Los procesos de tratamiento biológico generalmente se utilizan como tratamientos secundarios, los cuales son precedidos por operaciones de filtración, sedimentación y/o separaciones mecánicas.

Los tratamientos biológicos se pueden clasificar según la presencia o ausencia de oxígeno disuelto en los mismos, en aerobios y anaerobios, según la intervención

de éstos. En los casos en que intervienen microorganismos facultativos, estos se adaptan a las condiciones existentes.

En el caso de residuales orgánicos, el tipo de tratamiento más empleado en este nivel es el biológico, donde se produce la estabilización de la materia orgánica biodegradable mediante la acción de los microorganismos.

Esta etapa adquiere gran importancia en la actualidad debido a la necesidad de una mayor eficiencia en el tratamiento y gestión de las aguas residuales con vistas a lograr la calidad necesaria para su disposición final.

#### **1.6.1 Clasificación de los diferentes tratamientos biológicos.**

- Proceso aerobio de cultivo suspendido: El medio posee aireación natural o artificial y los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica se mantienen en suspensión dentro del seno del líquido, como ocurre en los lodos activados y lagunas de oxidación.
- Proceso aerobio de cultivo fijo: El medio posee aireación natural o artificial y los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica están fijados a un medio sólido (piedras o materiales cerámicos y plásticos). Por ejemplo filtros percoladores y discos biológicos rotatorios.
- Proceso anaerobio: El medio se encuentra en condiciones de anaerobiosis de forma natural o artificial. Por ejemplo: digestores anaerobios, lagunas profundas y humedales artificiales.

#### **1.6.2 Tratamientos biológicos.**

##### **1.6.2.1 Lodos activados.**

Los lodos activados son sistemas de tratamiento biológico en los que se mezclan las aguas residuales que han de ser tratadas con el caldo de cultivo de los microorganismos, donde las sustancias contaminantes son degradadas en medio aerobio, de forma que los lodos activados se depositan en el fondo del tanque y en la parte superior quedan las aguas ya tratadas. Es un sistema de tratamiento basado en el contacto del residual crudo con una parte del volumen de lodo químico bacteriológicamente activo, en un tanque de aireación con suficiente oxígeno disuelto para estabilizar la materia orgánica y mantener condiciones

aerobias en todo el proceso, seguido por una separación líquido – sólido en un sedimentador secundario.

Para asegurar una aireación uniforme, se emplean métodos mecánicos que a la vez que airean también homogenizan la mezcla de aguas y lodos, con lo que mejora el rendimiento del proceso. En este proceso se forma una masa activa de flóculos microbianos llamado lodo activado que tiene lugar producto del crecimiento de microorganismos y la aireación del mismo. Estos flóculos adquieren propiedades adsorbentes, es por ello que reciben el nombre de activados. (Díaz, 2006) (Junco, 2002).

El tratamiento por lodos activados es uno de los métodos más empleados actualmente para la depuración de las aguas residuales domésticas (Martínez, 2002).

Un lodo activado sano puede desarrollarse y mantenerse bajo condiciones estacionarias, sin cambios bruscos en las condiciones del medio o en la carga de sustrato. (González, 2007)

Las condiciones ambientales que favorecen la presencia de un lodo activado sano son: pH neutro, una temperatura cálida de alrededor de 20°C y suficiente oxígeno disuelto para mantener niveles entre 1 y 2 mg/L. (Estrucplan, 2007)

#### **1.6.2.2 Filtros Percoladores.**

Los filtros percoladores o lechos bacterianos, son sistemas de depuración biológica de aguas residuales, en los que la oxidación de la materia orgánica se produce al hacer pasar, a través de un medio poroso cubierto de una película biológica, aire y agua residual. El agua residual fluye sobre la superficie del medio poroso o empaque en una delgada capa que está en contacto con la película biológica por un lado y con el aire en los espacios intersticiales del empaque por el otro. El fundamento del proceso está basado en las acciones producidas en todo el espesor de la película biológica. (Gallego, 2008)

Como sucede con todos los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales, los tipos y proporciones de las diferentes especies de microorganismos presentes en la población microbiana dependen de las condiciones de operación del sistema, especialmente la carga y la composición del agua residual.

Las condiciones aerobias se mantienen por el flujo de aire a través del empaque o empaquetadura del lecho. La circulación del aire se realiza de forma natural o forzada, a contra corriente o en el mismo sentido del flujo de agua. Este flujo de aire es inducido por la diferencia entre el peso específico del aire atmosférico dentro y fuera de la empaquetadura. (Méndez, 2007)

### **1.6.2.3 Lagunas de Oxidación.**

El empleo de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales que contengan compuestos orgánicos biodegradables está muy difundido.

Las lagunas son estructuras simples de fácil operación y mantenimiento que se basan en el proceso de autopurificación. Generalmente están constituidas por embalses naturales o artificiales, en tierra, expuestos al aire y al sol, por lo que las condiciones climáticas influyen significativamente en el funcionamiento de este dispositivo de tratamiento. Por esta razón el diseño de las lagunas es posiblemente, de todos los procesos de tratamiento biológico, el menos definido. De acuerdo a la naturaleza de la actividad biológica que tiene lugar en la misma, y por tanto al metabolismo que prevalece durante su funcionamiento, las lagunas de estabilización se clasifican en: (Méndez, 2007)

Aerobias.

Anaerobias.

Facultativas.

- Lagunas aerobias

Las lagunas aerobias son aquellas en las que los compuestos biodegradables, sean estos suspendidos o disueltos, son estabilizados por la acción de microorganismos aerobios. El oxígeno es suministrado por la acción fotosintética de las algas y por el que se difunde del aire. Debido a que la luz solar es esencial para la producción de oxígeno mediante algas, la profundidad de estas lagunas está limitada de acuerdo con la penetración de la luz, y normalmente es menor de 50 cm. En el caso de aguas residuales domésticas típicas y algunos residuales industriales, se producen aproximadamente entre 0,5 y 0,6 kg de biomasa por kilogramo de DBO removido.

Aunque estas lagunas admiten cargas de DBO relativamente altas, su poca profundidad hace que se requieran grandes áreas para su construcción y hoy día tienen uso limitado.

Según Díaz (2006) las lagunas aerobias pueden subclasificarse en tres tipos.

1. Alta velocidad

2. Baja velocidad

3. De moderación o terciarias

- Las de alta velocidad se caracterizan por emplear profundidades muy pequeñas (0.30-0.45 m) y pueden producir concentraciones de algas que oxiden entre 0.1-0.3 kg. m<sup>-3</sup>, e incluso mayores.
- Las de baja velocidad se diseñan con una profundidad que oscila entre 1-1.5 m y su remoción está entre 80-90 %.
- Las de moderación o terciarias son similares a las anteriores con la diferencia de que operan con cargas muy bajas (inferiores a  $0.15 \cdot 10^4$  DBO\*km.<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>). Su remoción está entre 60-80 %.

Las lagunas aerobias referenciadas por Seoáñez (1999) se utilizan estanques menos profundos de 0,5m a 1m. La materia orgánica es degradada por bacterias aerobias, la actividad de estas bacterias necesitan gran aporte de oxígeno disuelto que inicialmente es suministrado por la atmósfera, muy pronto éste no es suficiente y aparecen más oxígeno suministrado por las algas fotosintéticas, frecuentemente se suministra aire mediante aireadores superficiales o mediante turboagitadores.

Las lagunas aerobias son poco profundas por lo general de 0,3m a 0,5 m, su principal aplicación es la producción y cosecha de algas, se diseñan para el tratamiento de aguas residuales decantadas. (Rolim, 2000).

- **Lagunas anaerobias**

Las lagunas anaerobias se construyen preferentemente para reducir la carga orgánica sedimentable. En las lagunas de este tipo, la materia orgánica es estabilizada mediante un mecanismo similar al que existe en los tanques de digestión anaerobios (formación de ácidos orgánicos y de metano).

La profundidad está limitada por elementos prácticos: nivel freático, tipo de suelo y facilidades para la limpieza eventual de los lodos o fangos que se depositan en el fondo con el transcurso del tiempo. (Méndez, 2007)

Según Díaz (2006) las lagunas anaerobias tienen una profundidad que oscila entre 2.5-5 m, además tienen una remoción entre el 50-85 % y se diseñan de manera similar a un digestor anaerobio.

Seoáñez (1999) refiere que en las lagunas anaerobias se utilizan estanques profundos de 1,8 m a 3m. El afluente deposita la materia en suspensión y las materias sólidas en el fondo y la orgánica sirve de nutrientes de los organismos presentes. Se producen bacterias que a su vez son consumidas por otros organismos y los residuos decantan en el fondo. Aparecen fermentaciones en los lodos y se desprende metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) que arrastrarán materia sólida hacia la superficie que dispondrá así de una provisión continua de bacterias anaerobias.

Rolim (2000) afirma que en las lagunas anaerobias el equilibrio depende de las poblaciones bacterianas (las formadoras de ácido orgánico y las formadoras de metano). Para lograrlo la temperatura debe ser superior a  $15\text{ }^\circ\text{C}$  y el pH debe variar apenas entre 6,8 y 7,4.

Debido a la elevada carga orgánica, a la profundidad de las aguas que deberá ser superior a 2 m y al corto período de retención del agua residual que será de 2 a 5 días, el contenido en oxígeno disuelto se mantiene bajo o nulo en toda la laguna.

- Lagunas facultativas

En las lagunas facultativas se distinguen dos zonas de trabajo bien diferenciadas: una región aerobia en la superficie y cercana a esta y una región anaerobia en el fondo. Entre ambas existe una zona, no muy bien delimitada, facultativa. (Méndez, 2007)

Según Díaz (2006) las lagunas facultativas tienen una profundidad que oscila entre 1-2 m y de ellas se pueden esperar remociones que estén entre 80 -95%.

Las lagunas facultativas referidas por Seoáñez (1999) disponen de aerobiosis en superficie y anaerobiosis en el fondo y por lo tanto se propone en ellas los dos

procesos, las cuales aumentan su superficie mediante reciclados de los efluentes y mediante las instalaciones de cadenas de lagunas.

Las lagunas facultativas se distinguen por una zona aerobia próxima a la superficie, una zona anaerobia en el fondo, donde se dan procesos de fermentación y una zona intermedia que contiene bacterias facultativas y es esa la que da el nombre a la laguna. (Rolim, 2000)

La variación de la temperatura en las diferentes estaciones del año, puede obligar a hacer más profundos los estanques. Esta profundidad puede variar entre 1m y 2m. (Rolim, 2000)

### **1.7 Diseño de lagunas de oxidación.**

Existe una gran disparidad de criterios con respecto a las lagunas de oxidación. Hay muchos autores que plantean que ninguno de los métodos de diseño disponible son totalmente confiables, pues las condiciones climáticas y ambientales pueden dar al traste con cualquier diseño.

Por lo anterior, estos autores plantean que el diseño de lagunas debe realizarse sobre la base de la experimentación piloto para cada caso y que no es posible generalizar. Otros, no muy alejados del criterio de los primeros, han propuesto modelos empíricos para el diseño, basados en el estudio del comportamiento de las lagunas en una región determinada. (Díaz, 2006)

#### **1.7.1 Método de Oswald y Gotaas.**

Se conoce también con el nombre de Método de Diseño de Laguna. Su racionalidad tiene como base que toma en consideración la radiación solar y la temperatura en el diseño, además de considerar la actividad fotosintética de las algas.

Este método se emplea para el diseño de lagunas aerobias, presupone que no ocurre sedimentación y se mantiene homogéneo. (Díaz, 2006)

#### **1.7.2 Método del Factor de Dispersión.**

Este método fue desarrollado por Thirumurthi, basado en las condiciones de alejamiento de la idealidad de los reactores ideales. El método de diseño se basa en tomar para lagunas aerobias un factor de dispersión de alrededor de 1, mientras que para lagunas facultativas se selecciona entre 0.3-1.

Este método de diseño plantea adicionalmente calcular la laguna para las condiciones de invierno y de verano, y además chequear las cargas orgánicas obtenidas (mediante el cálculo) con las recomendadas para el tipo de laguna diseñada. (Metcalf-Eddy, 1994)

### **1.7.3 Método del Central Public Health Research Institute de la India (CPHRI).**

Este método se utiliza para el diseño de lagunas aerobias; se trata de un método empírico basado en el estudio del comportamiento de este tipo de lagunas en diferentes regiones de la India. Posee la ventaja de que los criterios de diseño recomendados son extraídos de la práctica y responden más a la realidad; no obstante, deben ser tomados con cautela, pues se basan en la experiencia del comportamiento de las lagunas en una determinada región; sin embargo, su aplicación para regiones tropicales y subtropicales tiene cierta validez. (Díaz, 2006)

### **1.7.4 Método de Marais y Shaw.**

Es también conocido como método surafricano; es un método empírico que se basa en el estudio del comportamiento de las lagunas de oxidación en centro y suráfrica.

Las lagunas calculadas por este método tienden a estar sobre diseñadas para las condiciones cubanas, ya que el mismo se basa en condiciones climáticas menos favorables. (Díaz, 2006)

### **1.7.5 Método de las Cargas.**

Este método es quizás el más sencillo para el cálculo de lagunas; el mismo radica en calcular el área tomando como base la carga orgánica admitida por la laguna. Si el valor de la carga orgánica seleccionada es correcto, el diseño será aceptable; no obstante, es necesario recalcar que no es recomendable trabajar con valores de cargas orgánicas extraídos de literatura, sino que éstos deben establecerse para las condiciones imperantes con experimentación a escala piloto, o al menos a escala de banco. (Díaz, 2006)

Según los métodos de diseño antes planteados, la autora considera para la realización de este trabajo investigativo la utilización del método de Oswald y

Gotaas y Factor de Dispersión para el diseño de la laguna de oxidación, ya que los mismos cumplen con las condiciones climáticas de nuestro país.

### **1.8 Gestión ambiental en Cuba.**

En Cuba la protección del medio ambiente tiene gran importancia. El Estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras. (Iturralde, 2011)

Desde el triunfo de la Revolución el país ha tenido importantes avances y logros en la esfera ambiental como es la elaboración del Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo en 1993, que sin lugar a dudas, constituyó el antecedente de otros hechos y momentos relevantes. Entre estos últimos destacan la creación en 1994 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), que establece, entre otros aspectos, el deber del Estado, los ciudadanos y la sociedad en general de proteger el medio ambiente mediante su conservación y uso racional.

Para combatir los problemas asociados a la contaminación ambiental se plantearon en aquel entonces una serie de directrices y acciones que incluían la necesidad de inversiones en acueductos, alcantarillados, sistemas de tratamiento de aguas residuales y disposición de residuales; la mejora de la recolección y disposición de residuos sólidos; el aprovechamiento económico de residuales; la autorregulación y la toma de medidas para minimizar, monitorear y controlar los efectos ambientales de las principales instituciones del país. (Berovidez, 2007)

Los problemas ambientales recogidos en las diferentes estrategias ambientales nacionales y provinciales constituyen una herramienta clave del quehacer ambiental, que ha contribuido a introducir la dimensión ambiental en todos los ámbitos y profundizar así en la interrelación economía-sociedad-medio ambiente. (Mondeja, 2007).

En la provincia de Matanzas se realizan tratamientos para las aguas residuales, dentro de éstos se encuentran las lagunas de oxidación de la Universidad “Camilo Cienfuegos”, las cuales fueron objeto de análisis en años anteriores, sin embargo

sus resultados no se pudieron llevar a la práctica. Los datos del dimensionamiento realizado fueron obtenidos de acuerdo a los trabajos topográficos ejecutados, los cuales proyectaron las siguientes dimensiones. (Empresa de proyectos e Investigaciones Matanzas, 2012).

#### Laguna 1

- Datos topográficos

Ancho superficie del fango = 74 m

Longitud superficie del fango = 94 m

- Datos calculados

Altura del agua = 1,8 m

Q promedio = 16.20 L/s

Ancho del fondo = 63 m

Longitud del fondo = 83 m

Volumen de almacenamiento: 10 940 m<sup>3</sup>

#### Laguna 2

- Datos topográficos

Ancho superficie del fango = 74 m

Longitud superficie del fango = 98 m

- Datos calculados

Altura del agua = 1,8 m

Ancho del fondo = 57 m

Longitud del fondo = 87 m

Volumen de almacenamiento: 10 378 m<sup>3</sup>

La autora considera que es una necesidad no sólo definir cada uno de los problemas ambientales, sino concientizar a la población de la necesidad de conocer sus causas y consecuencias inmediatas o a largo plazo, puesto que afectan la cantidad y calidad de los recursos naturales en su vínculo con el desarrollo social y medio ambiental.

**Conclusiones parciales del capítulo.**

1. El agua residual se clasifica a partir de la fuente generadora y su origen.
2. Se determina la composición del agua residual y los indicadores de la contaminación.
3. Se define el impacto de las aguas residuales en el medio ambiente.
4. Los diferentes tipos de tratamiento que se realizan a las aguas residuales son: tratamiento primario, secundario y terciario.
5. Existen diferentes métodos de diseño para las lagunas de oxidación, dentro de ellos los que más se utilizan para las condiciones climáticas de nuestro país son: el método de Ostwald y Gotaas y Factor de Dispersión.
6. La provincia de Matanzas posee una gestión ambiental y entre sus acciones incluye los tratamientos para las aguas residuales, dentro de los que se encuentran las lagunas de oxidación de la Universidad “Camilo Cienfuegos”.

## **Capítulo 2: Metodología de la investigación.**

### **Ubicación y características de la zona objeto de estudio.**

La Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", se encuentra ubicada en el km 3½ de la autopista Varadero. Está constituida por cinco Facultades docentes: Ingenierías, Ciencia Sociales y Humanidades, Ciencias Económicas e Informáticas, Agronomía y Cultura Física.

Como parte de su estructura la integran dos centros de estudios que desarrollan sus investigaciones en las temáticas de: biotecnología y anticorrosivos y tenso activos. Además posee dos plantas piloto, una para la producción de anticorrosivos y tenso activos y una para la producción de alcoholes.

Existen otras áreas de apoyo a la docencia y áreas de servicios, tales como: cafeterías, cocinas, comedores, residencia estudiantil, hotel universitario y hospital. La Universidad está dentro del único jardín botánico existente en la provincia de Matanzas.

La matrícula total de estudiantes en el campus es de 6021, de los cuales 4178 pertenecen al curso diurno y 1 843 al curso por encuentros. La masa estudiantil la integran jóvenes de diferentes países. La plantilla de trabajadores en la sede central asciende a 1 882.

La infraestructura constructiva está compuesta por 4 edificios de aulas (3 niveles), 2 edificios de laboratorios (3 niveles), 5 edificios de residencia estudiantil (3 niveles); además de edificaciones dedicadas a labores administrativas, cocina, comedor, pequeño hospital, residencia de alojamiento académico, entre las más significativas.

El sistema de tratamiento de la Universidad consiste en dos lagunas de oxidación dispuestas en serie. Este sistema de tratamiento recibe el agua residual de todas las áreas docentes y no docentes sin previo tratamiento, por lo que la composición del agua residual incluye además el residual albañal, otros elementos químicos producto de las actividades propias del centro tales como residuales de laboratorio, aceite, petróleo y al no funcionar adecuadamente los tratamientos preliminares y primarios conllevan a que actualmente las lagunas se encuentren en mal estado constructivo.

El sistema de conducto del agua residual hasta las lagunas, de forma general se encuentra en mal estado lo que imposibilita la llegada de todo el residual a las lagunas con la consiguiente infiltración al manto freático.

El efluente del sistema de tratamiento es vertido a un río de pequeño caudal que desemboca a pocos metros del punto de vertimiento en la playa Buey Vaca que es usada con fines recreativos tanto por la comunidad universitaria como por los habitantes de la ciudad en sentido general.

### **Etapas de la Investigación:**

1. Analizar y diagnosticar la Red Exterior de Evacuación de Residuales de la Universidad “Camilo Cienfuegos”.
2. Determinar el flujo de agua residual generado por la comunidad universitaria.
3. Analizar el agua residual de la Universidad de Matanzas.
4. Rediseñar las Lagunas de oxidación de la Universidad “Camilo Cienfuegos”.
5. Diseño de las trampas de grasas y de fango.
6. Determinaciones económicas.

### **2.1 Análisis de la red exterior de evacuación de residuales de la Universidad “Camilo Cienfuegos”.**

Para la obtención de información en esta investigación se utiliza el método de observación directa y la entrevista a estudiantes y trabajadores.

#### **2.1.1 Diagnóstico de la red exterior de evacuación residual.**

Se utiliza como método científico para la obtención de información primaria en la investigación la observación directa. Esta permite la comprobación empírica de la hipótesis.

La técnica de observación se realiza en dos momentos; en un primer momento el recorrido por toda la comunidad universitaria y en un segundo momento para diagnosticar el estado de la red exterior de evacuación residual.

El diagnóstico del estado de la red sanitaria y de la laguna de oxidación se encuentra en el capítulo 3 epígrafe 3.1, en el anexo 1 se presenta un registro fotográfico donde se evidencian dichas afectaciones y en el anexo 2 se muestra la guía de observación.

### **2.1.2 Entrevista.**

La entrevista puede clasificarse según diferentes criterios en: (García, 2005)

Por su estructura en: Entrevista centrada o directa y en no directa.

Por el número de entrevistados en: Entrevista individual y grupal.

Por el objetivo en: Entrevista informativa y orientada.

Por la función que cumplimentan en: Entrevista exploratoria, informal o introductoria y de control.

En este trabajo se utiliza la entrevista centrada en la cual el investigador tiene como objetivo conocer las opiniones de diferentes personas con respecto a la situación de la red exterior de residuales.

Las personas escogidas para la aplicación de la entrevista fueron:

- Especialistas y trabajadores de las áreas de mantenimiento e inversión de la UMCC.
- Estudiantes de diferentes facultades.

La guía utilizada fue confeccionada por la autora. Para tener conocimiento de la misma refiérase al anexo 3.

La relación de especialistas y estudiantes entrevistados aparece reflejada en el anexo 4.

Los resultados de las entrevistas realizadas aparecen en el capítulo 3 en el epígrafe 3.1.2.

## **2.2 Determinación del flujo residual generado por la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.**

El cálculo del flujo residual depende fundamentalmente de la demanda de agua que es requerida por una población para satisfacer sus necesidades, la cual se fundamenta en el Decreto Ley del INRH del 20 de noviembre de 1991, necesaria para el cálculo del flujo de residuales.

Para determinar el flujo de residuales que aporta la urbanización a la laguna de oxidación, se usaron las ecuaciones planteadas en (NC XX: 2007). Este valor es el que se utiliza para su diseño y para calcular el volumen que tendrá la misma de acuerdo a un tiempo de retención.

Cálculo de flujo de residuales.

1.  $Q \text{ medio} = \text{población} \times \text{dotación}$  Ec. (2.1)

Donde:

$Q \text{ medio} = \text{consumo medio (L/s)}$  Ec. (2.2)

dotación = volumen medio probable de consumo de agua por una población (L/hab.d)

2.  $Q \text{ máx. d} = Q \text{ medio} \times k_1$  Ec.( 2.3)

Donde:

$Q \text{ máx. d} = \text{consumo máximo diario (L/s)}$ . Corresponde al consumo que se produce en el día de mayor consumo del año.

$k_1 = 1.5$  coeficiente irregularidad diaria. (NC XX: 2007).

3.  $Q \text{ máx.H} = Q \text{ máx.d} \times k_2$  Ec. (2.4)

Donde:

$Q \text{ máx. H} = \text{consumo máximo horario (L/s)}$ . Es el consumo máximo que se presenta en la hora de mayor consumo dentro del día de máxima demanda.

$k_2 = 1.8$  coeficiente irregularidad diaria. (NC XX: 2007).

4.  $Q \text{ residuales} = 90\% \times Q \text{ máx. H}$  Ec. (2.5)

Donde:

$Q \text{ residuales} = \text{gasto de residuales (L/s)}$ .

Los valores de los coeficientes de irregularidad diaria y horaria se refieren en el anexo 5.

### **2.3 Muestreo de las aguas residuales.**

La toma de las muestras de aguas residuales para este trabajo investigativo, se realiza con el objetivo de conocer la composición y concentración de dichas aguas al ser vertidas al suelo como cuerpo receptor.

Para realizar el estudio se toman muestras del registro que se encuentra a la entrada de la laguna, estas muestras se recogen en frascos de vidrio de color ámbar y se tienen en cuenta análisis de años anteriores.

En el caso de la laguna de oxidación, el método a emplear es el establecido en las normas ISO 5667-1:1991 y 5667-2:1993 "Guía sobre las técnicas de muestreo", las cuales se corresponden con la metodología propuesta por Metcalf Eddy (1998).

### **2.3.1 Método de Aforo.**

La medición del caudal afluente se efectúa mediante un método volumétrico directo que se recomienda para caudales pequeños. El muestreo se realiza con un frasco de 300 mL en un período de 8:00am a 8:00pm de forma continua con intervalos de mediciones de 1 hora, teniendo en cuenta las fluctuaciones de flujo para un total de 13 mediciones. Las mediciones y el muestreo se realizan de forma independiente y en horario diurno.

## **2.4 Características del agua residual a la entrada del sistema de tratamiento de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.**

### **2.4.1 Determinaciones analíticas.**

Las determinaciones analíticas realizadas responden con los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Estas determinaciones fueron las siguientes.

- pH: método potenciométrico directo, utiliza un pHmetro digital MV 870 con electrodo de vidrio combinado. Representa una medida del grado de acidez o alcalinidad de un agua residual.
- Conductividad eléctrica: método conductimétrico directo, utiliza un conductímetro marca HANNA modelo EC 251 español. La conductividad es una medida de la capacidad de un agua de conducir la corriente eléctrica, esta propiedad depende de la concentración de la sustancia química cargada eléctricamente que se encuentra en el agua.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): método volumétrico redox, Oxidación de la muestra con dicromato de potasio en medio ácido, valoración por retroceso con sal de Mohr.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>): método de incubación directa a 20<sup>0</sup>C de temperatura, con frasco Winkler, que se basa en la determinación de la diferencia de oxígeno disuelto entre el día cero y el quinto. Esta diferencia es proporcional a la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en la muestra.
- Sólidos totales: método gravimétrico, que consiste en evaporar un volumen apropiado de la muestra en una estufa a temperatura entre 103 y 105 °C. El

aumento de masa sobre el de la cápsula vacía representa la cantidad de sólidos totales.

- Sólidos sedimentables totales: método gravimétrico. Los sólidos se secan en un filtro procedente de un volumen conocido de la muestra en una estufa a temperatura de 103 - 105 °C. El aumento de peso sobre el del crisol vacío representa la cantidad de sólidos suspendidos totales, estos se llevan a 550<sup>o</sup> y mediante diferencias de masas se obtienen los fijos.
- Sólidos suspendidos volátiles: se determina por diferencia de masa entre los sólidos totales y los sedimentables totales.
- Dureza total: método volumétrico por complexometría, utiliza la complexona EDTA como agente valorante, eriocromo negro T como indicador y disolución buffer amoniacal para ajustar el pH.
- Dureza de calcio: método volumétrico por complexometría, utiliza la complexona EDTA como agente valorante, murexida como indicador y se adiciona hidróxido de sodio para ajustar el pH.
- Dureza de magnesio: fue determinada por la diferencia entre la dureza total y la dureza de calcio.
- Análisis microbiológico de las muestras de agua: método de fermentación en tubos múltiples, empleándose series de tres tubos. Para la prueba presuntiva y confirmatoria de coliformes totales se utilizó el caldo lactosado y el caldo bilis verde brillante, respectivamente, se incuban a 37°C durante 24 a 48 horas.
- Los coliformes fecales: se confirman con caldo EC, mediante la incubación de los tubos a 44.5 °C durante 24 horas (NC: 93-01-128:1988). Los resultados se expresan mediante el número más probable (NMP) por 100mL (NC: 93-01-128: 1988; APHA 2004), el cual se calcula al valorar el número de tubos positivos en la prueba confirmativa para tres diluciones consecutivas.

El análisis físico-químico y microbiológico de la composición del agua residual y los resultados de la determinación analítica se muestran en el capítulo 3 epígrafe 3.4.

## 2.5 Análisis estadístico.

Se utilizó el programa *Start Graph* 5.0 para procesar estadísticamente los resultados obtenidos por el análisis físico- químico y microbiológico, con el objetivo de estudiar el comportamiento de los mismos, que facilitan hacer las propias valoraciones, análisis y finalmente proponer recomendaciones.

## 2.6 Propuesta de sistema de tratamiento para las aguas residuales.

- Rediseñar la laguna de oxidación de la Universidad de Matanzas.
- Ubicar trampas de grasa y de fango en aquellos locales donde se elaboran alimentos y se manipulen las viandas, lo que garantiza así el buen funcionamiento del tratamiento primario.

### 2.6.1 Metodología para el diseño de lagunas de oxidación.

- **Método de Ostwald y Gotaas.**

1. Cálculo de la DBO<sub>5</sub> total del afluente.

Se asume que la laguna trabaja a 20 °C, entonces la constante de desoxigenación es  $k=0.1 \text{ d}^{-1}$ .

$$\text{DBO}_{5 \text{ total del afluente}} = \text{DBO}_{5 \text{ afluente}} / (1-10^{-k \cdot t}) \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Donde t (tiempo de determinación de la DBO<sub>5</sub>) igual a 5 días.

2. Cálculo de la DBO<sub>5</sub> total del efluente.

$$\text{DBO}_{5 \text{ total del efluente}} = \text{DBO}_{5 \text{ efluente}} / (1-10^{-k \cdot t}). \quad \text{Ec. (2.7)}$$

3. Cálculo de la DBO<sub>5</sub> removida total.

$$\text{DBO}_{5 \text{ removida total}} = \text{DBO}_{5 \text{ total del afluente}} - \text{DBO}_{5 \text{ total del efluente}}. \quad \text{Ec: (2.8)}$$

4. Cálculo de la concentración de algas necesarias para garantizar la producción de oxígeno requerido.

Se asume que las algas presentes pueden producir 1.6 veces su biomasa de dióxígeno:

$$X_{\text{algas}} = \text{DBO}_{5 \text{ removida total}} / 1.6 \quad \text{Ec. (2.9)}$$

5. Cálculo de la masa neta de algas producidas por segundo.

$$F_{wa} = X_{\text{algas}} * Q \quad \text{Ec. (2.10)}$$

Donde Q es el flujo de agua a tratar, igual a 1 520.07 m<sup>3</sup>/día.

6. Cálculo de la radiación

$$R = R_{\text{min}} + r * (R_{\text{máx}} - R_{\text{min}}) \quad \text{Ec. (2.11)}$$

Donde:

r: Total de horas de sol/total de horas posibles de sol.

$R_{\min}$ : Radiación mínima.

$R_{\max}$ : Radiación máxima.

Según la tabla 14.3 página 419 (Díaz, 2006)

$R_{\min}=86 \text{ w/m}^2$ .

$R_{\max}=132 \text{ w/m}^2$ .

7. Cálculo del valor corregido de la radiación

$$R_c=R*(1+0.003*e) \quad \text{Ec. (2.12)}$$

Donde:

e: Elevación igual a 172 m.

$R_c$ : Radiación corregida.

8. Cálculo del área superficial

$$A=(h*F_{WA})/(E*R_c) \quad \text{Ec. (2.13)}$$

Donde:

H: Calor de combustión específico igual a  $2.5*10^7 \text{ kJ/kg}$ .(Díaz, 2006)

E: Eficiencia que para lagunas de oxidación es de 0.02-0.09 y se utiliza un valor de 0.04.(Díaz,2006)

9. Cálculo del tiempo de retención

$$t=-\log (1-(\text{DBO}_{\text{total removida}}/\text{DBO}_{\text{total del afluente}}))/ (k*t) \quad \text{Ec. (2.14)}$$

10. Cálculo de la profundidad

$$H=(Q*t)/A \quad \text{Ec. (2.15)}$$

Donde:

H: Profundidad (m)

- **Método del Factor de Dispersión.**

1. Determinación del valor de kt.

A partir de la figura 5.12 Pág. 187 para factor de dispersión de 0.5 y una eficiencia global de eliminación de  $\text{DBO}_5$  de 80 %.

Donde:

k: Constante de reacción de primer orden.

t: Tiempo espacial (igual al tiempo de residencia).

1. Determinación del coeficiente de temperaturas para condiciones estivales e invernales:

a) Invierno :  $k_{15}=k*(Ct^{(Ti-Tm)}).(días^{-1})$  Ec. (2.16)

b) Verano:  $k_{25}=k*(Ct^{(Tv-Tm)}).(días^{-1})$  Ec.(2.17)

2. Determinación del tiempo de retención para condiciones estivales e invernales:

a) Invierno:  $t=kt/k_{15}$  (días) Ec. (2.18)

b) Verano:  $t=kt/k_{25}$  (días) Ec. (2.19)

4. Determinación del volumen.

a) Invierno:  $V=Q*t$  Ec. (2.20)

b) Verano:  $v=Q*t$  Ec. (2.21)

Donde:

Q: Flujo de agua a tratar.

5. Determinación del área superficial.

$A=V/H$  Ec. (2.22)

### 2.6.2 Diseño de las trampas de fango y de grasa.

La autora opina que el método adecuado para este tipo de instalación es considerar el cálculo a partir del número de muebles sanitarios que tributan a cada una de las trampas, se obtiene así el total de unidades de consumo, y se calcula el gasto probable, si se considera que:

$Q_{residual}= 90\% \text{ del } Q \text{ probable}$  Ec. (2.23)

$Q=V/t$  Ec. (2.24)

Donde:

Q=Gasto de residual ( $m^3/s$ )

t=Tiempo de retención (s)

Al despejar el volumen de la trampa queda:

$V=Q/t$  Ec. (2.25)

Para estos cálculos se utiliza la Norma Cubana NC 176:2002 Sistema de abasto de agua en edificios sociales. Requisitos de proyecto por su facilidad operativa y la economía de tiempo que brindan.

En el anexo 6 se presentan los valores que sirven de base para estos métodos.

## 2.7 Consideraciones económicas.

Se realiza el análisis económico para la instalación de trampas de grasas y de fango en los locales donde se manipulen viandas y grasa, para ello se estima el costo de inversión. (Portuondo, 2006)

1.  $\text{Costo}_{2013} = \text{costo}_{2008} \cdot \text{IC}_{2013} / \text{IC}_{2008}$  Ec. 2.26  
Costo de las trampas. (CT)
2. Costo de instalación y montaje.(CIM)  
CIM= (10% del CT) Ec. 2.27
3. Costo instrumentación del proceso tecnológico. (CIPT)  
Costo de adquisición (CAI) = (15% del CT) Ec. 2.28  
Costo de instalación y montaje (CIM) = (50% del CAI) Ec. 2.29  
CIPT= CAI +CIM Ec. 2.30
4. Costo de adquisición y montaje de tuberías.(CAMT)  
Materiales = (35% del CT) Ec. 2.31  
Mano de obra = (26% del CT) Ec. 2.32  
CAMT = Materiales + Mano de obra Ec. 2.33
5. Costo de instalaciones eléctricas. (CIE)  
CIE = (10% del CT) Ec. 2.34
6. Costo del proyecto. (CP)  
Ingeniero (\$ 287)  
Dibujante (\$171)  
Materiales (\$150)  
Ganancia económica y organización del proyecto (\$150)  
CP = Ingeniero + Dibujante + Materiales + Gastos Generales + Ganancia económica y Organización del proyecto Ec. 2.35
7. Costo de inversión. (CI)  
CI= CT + CIM + CIPT + CAMT + CIE + CP Ec. 2.36

## **Capítulo 3: Análisis de los resultados.**

### **3.1 Diagnóstico de la red exterior de evacuación residual.**

En el recorrido efectuado por la autora en las diferentes áreas de la UMCC se verifica el funcionamiento de cada área y se califican sus aguas residuales a partir de su origen y composición en un residual mixto, porque está compuesto por más de un tipo de agua residual, como residual doméstico originado por las diferentes actividades como son: cocinar, fregar, limpiar, lavar, la higiene personal y el uso de los muebles sanitarios, residual proveniente de talleres y planta de combustibles, donde predominan los hidrocarburos, como resultado las operaciones que en estos se realizan y de laboratorios donde se hacen prácticas que utilizan reactivos químicos. También se comprueba la inexistencia de tratamientos primarios a los residuales que lo necesitan antes de ser vertidos a la red de conducción.

En el recorrido por el área de las lagunas de oxidación se detectaron problemas como son:

- La red exterior de evacuación sanitaria existente de forma general tiene problemas en su sistema de tuberías y registros sanitarios.
- Presencia de malos olores en aquellos lugares que se encuentran afectados.
- Ausencia de tratamientos primarios de las aguas residuales.
- El camino de acceso a la laguna tiene presencia de malas hierbas a una altura considerable, lo que da la sensación de cierre en la parte superior cuando se transita por él.
- No se visualiza el espejo de agua.
- Deslizamientos de terrenos.
- Ausencia en la entrada de la laguna del dispositivo para la medida del caudal.
- Existencia de combustible en los conductos.

#### **3.1.2 Entrevistas realizadas a los especialistas y estudiantes de la UMCC.**

De los intercambios con la comunidad universitaria se tiene una noción general sobre el estado deplorable en que se encuentra la red hidrosanitaria, las molestias

que causan las roturas, salideros y obstrucciones de la misma; interrumpen o retardan la salida de los residuos líquidos de algunos edificios de residencia.

En consenso con los entrevistados y como criterio general de todos los involucrados con la investigación, la red exterior de evacuación de residuales y las lagunas de oxidación existentes en la UMCC, no cumplen con las condiciones técnico-sanitarias que necesitan para su correcto funcionamiento por lo que en el presente trabajo se proponen acciones encaminadas a la solución efectiva de este problema.

Como resultado de la entrevista realizada a los especialistas y estudiantes la autora sugiere la valoración del rediseño de las lagunas de oxidación y el diseño de trampas de grasa y de fango para el tratamiento primario.

### **3.2 Análisis del Decreto Ley del INRH del 20 de noviembre de 1991.**

El análisis del cálculo estimado de la demanda de agua mensual por actividad fundamentado en la Resolución 58/95 del INRH se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1: Cálculo estimado de la demanda de agua mensual/actividad.

Dependencia y actividades	U/M	Cantidad	Índice de consumo diario (m <sup>3</sup> )	Días/mes	Consumo mensual estimado (m <sup>3</sup> )
Escuela	Internos	1 279	0,13	26	4 323,02
	Seminternos	4 742	0,06	24	6 828,48
Centro de trabajo	Trabajador	1 882	0,05	24	3 387,60
Comedor	Comensal	3 162	0,012	26	986,23
Caldera de vapor	Hp-h	1 860	0,016	26	774,00
Hospital	Camas	4	0,34	24	34
Clínica estomatológica	Sillón	1	2	24	48

Posta médica	Usuario	40	0,015	24	14
Motel	Habitación	20	0,6	30	360
Cafeterías(2)	Usuario	900	0,006	26	140
Fregado de equipos rodantes	Unidades	5	1	24	120
Limpieza de pisos	m <sup>3</sup>	48 651	0,0015	24	1 751
Total					18 766,33

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las expresiones planteadas en el capítulo 2 epígrafe 2. Se procede al cálculo del flujo de residuales, cuyo valor es el que se utiliza para analizar si el sistema de tratamiento tiene capacidad para tratar este flujo de residuales y recalcularlo el mismo.

Cálculo para determinar el flujo de residuales.

$$1. Q \text{ medio} = \text{población} \times \text{dotación} \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$Q \text{ medio} = 625.54 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$2. Q \text{ máx.d} = Q \text{ medio} \times k_1 \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$Q \text{ máx. d} = 938.32 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$3. Q \text{ máx.H} = Q \text{ máx.d} \times k_2 \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$Q \text{ máx.H} = 1688.97 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$4. Q \text{ residuales} = 90\% \times Q \text{ máx.} \quad \text{Ec.3.4}$$

$$Q \text{ residuales} = 1\ 520.07 \text{ m}^3/\text{día}$$

El flujo de agua residual que corresponde a la comunidad universitaria es de 1 520.07 m<sup>3</sup>/día.

### 3.3 Método volumétrico para la determinación de caudal.

Tabla 2: Datos del flujo de agua residual existente en la laguna.

Horarios de muestreos	Tiempo de llenado (S)	Flujo (L/h)
8 am	12	90
9 am	10	108
10 am	9	120
11 am	11	98
12 m	15	72
1 pm	12	90
2 pm	10	108
3 pm	13	83
4 pm	18	60
5 pm	16	67.5
6 pm	10	108
7 pm	8	135
8 pm	6	180

Fuente: Elaboración propia.

El flujo de agua residual que llega actualmente al registro que se encuentra a la entrada de la laguna de oxidación es de 2.44 m<sup>3</sup>/día de un total de 1 520.07 m<sup>3</sup>/día, donde se demuestran pérdidas de 1 517.63 m<sup>3</sup>/día de agua residual que se producen a través de la trayectoria de la red sanitaria.

### 3.4 Determinaciones analíticas.

Tabla 3: Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos.

Años	pH	k	ST	STF	STV	DQO	DBO <sub>5</sub>	DC	DT	DM	CFT	CFF
2001	7.7	927	-	-	-	4667.5	2333.7	250	601.9	351.9	11000	11000
2002	7.6	459	274	177	97	101.7	50.8	151.7	192.5	40.8	-	-
23/4/ 2003	6.4	905	836	324	512	291.24	145.6	224.4	307.6	83.2	-	-
28/4/ 2003	7.2	700	496	332	164	76.1	38.1	279	310	31	11000	11000
2004	7.4	640	403	-	-	673.2	336.6	280			2400	2400

2005	6.5	818	-	-	-	49.0	24.5	168	336	168	11000	4600
2007	7.2	700	992	664	328	176	88	279	310	37	1000	11000
2008	7.8	927	570	320	250	4668	2334	252	601	349	1750	1140
2014	7.4	880	1286	493	793	4000	2000	216	250	34	$5.4 \cdot 10^6$	$5.4 \cdot 10^6$

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se ilustran los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos de las aguas residuales generadas por la comunidad universitaria en el presente año y en años anteriores. Los datos de la tabla 3 comparados con la NC: 27- 1999 tabla 12 anexos 7 y con la NC 521- 2007 tabla 13 anexo 8 se puede decir que:

- Se clasifica según el cuerpo receptor en “Clase B”.
- El pH oscila entre 6.4 y 7.8, intervalo propicio para el desarrollo de la biota microbiana.
- La conductividad eléctrica en todas las muestras se encuentra por debajo del valor normado (2000 uS/cm) aspecto que evidencia el contenido de sales disueltas en el agua y que es compatible con el contenido de cloruro (menor que 150 mg/L) y otras sales presentes en las mismas.
- Los valores de  $DBO_5$  están por encima de 40mg/L que es lo estipulado por las normas, excepto en los años 2003 y 2005 que son de 38.095 mg/L y 24.528 mg/L.
- Los valores de DQO son superiores de 90 mg/L que es lo estipulado por las normas, excepto en los años 2003 y 2005 que son de 76.19 mg/L y 49.056 mg/L que están por debajo de lo establecido.
- El contenido de sólidos totales es inferior a 1000mg/L por lo que cumple con la norma. De igual forma se comportan los sólidos sedimentables cuyo contenido en todos los casos está por debajo 3 ml/L.
- El análisis microbiológico refleja que el contenido de coliformes totales y fecales es excesivo en algunos años ya que se obtienen resultados de 11 000 y 5 400 000 superiores a los normados ,5000 NMP/100mL y 1000 NMP/100mL respectivamente, el último valor corresponde al presente año

lo que demuestra que el agua residual tratada no posee la calidad higiénico sanitaria requerida.

Urbano (2002) plantea que los tratamientos secundarios deben eliminar de 90-95% de los microorganismos, por lo tanto una vez más se comprueba que el funcionamiento de la laguna de oxidación de la Universidad “Camilo Cienfuegos” es ineficiente.

### **3.5 Análisis estadístico.**

El análisis de normalidad refleja que algunas de las variables presentan una distribución normal como son pH, conductividad, sólidos totales, fijos, volátiles, dureza de calcio, dureza de magnesio, dureza total, DQO y DBO, ya que en estos casos las variables de asimetría *skewness* estandarizado (*Stnd. skewness*) y *kurtosis* estandarizado (*Stnd. kurtosis*) están dentro del rango esperado (entre -2 y 2). Estos resultados indican que el tamaño de la muestra tomada resulta suficiente para asegurar el comportamiento anual de cada variable en la cuantificación.

En el caso de los valores de coliformes totales y fecales no se aprecia una distribución normal ya que las variables estandarizadas *skewness* y *kurtosis* están fuera del rango esperado (entre -2 y 2).

Los rangos establecidos para los coeficientes de variación son:

- < 4 excelente
- 4 - 8 buena
- 8 - 12 aceptable
- > 12 grande

En el caso objeto de estudio se permite apreciar que todas las fracciones se comportan inestables, y por tanto presentan dispersión con respecto a su media. Casi todas las muestras presentan elevados coeficientes de variación a no ser el pH que cumple con el intervalo de 4 – 8 lo que demuestra que la muestra es buena. Los componentes más representativos con los mayores valores son DQO, DBO, coliformes fecales y coliformes totales debido al mal funcionamiento de la laguna de oxidación.

La tabla con los resultados del análisis estadístico se encuentra en el Anexo 9.

### 3.6 Análisis de la Propuesta del sistema de tratamiento para las aguas residuales generada por la Universidad de Matanzas.

#### 3.6.1 Diseño de la Laguna según el método de Ostwald y Gotaas.

1. Cálculo de la DBO<sub>5</sub> total del afluente.

$$DBO_{5 \text{ total del afluente}} = DBO_{5 \text{ afluente}} / (1 - 10^{-k \cdot t}) \quad \text{Ec. 3.5}$$

$$DBO_{5 \text{ total del afluente}} = 1\,257 \text{ mg/dm}^3$$

2. Cálculo de la DBO<sub>5</sub> total del efluente.

$$DBO_{5 \text{ total del efluente}} = DBO_{5 \text{ afluente}} / (1 - 10^{-k \cdot t}) \quad \text{Ec. 3.6}$$

$$DBO_{5 \text{ total del efluente}} = 58.8 \text{ mg/dm}^3$$

3. Cálculo de la DBO<sub>5</sub> removida total.

$$DBO_{5 \text{ removida total}} = DBO_{5 \text{ total del afluente}} - DBO_{5 \text{ total del efluente}} \quad \text{Ec. 3.7}$$

$$DBO_{5 \text{ removida total}} = 1\,198.18 \text{ mg/dm}^3$$

4. Cálculo de la concentración de algas necesarias para garantizar la producción de dióxígeno requerido.

$$X_{\text{algas}} = DBO_{5 \text{ removida total}} / 1.6 \quad \text{Ec. 3.8}$$

$$X_{\text{algas}} = 748.86 \text{ mg/dm}^3$$

5. Cálculo de la masa neta de algas producida por segundo.

$$F_{wa} = X_{\text{algas}} \cdot Q \quad \text{Ec. 3.9}$$

$$F_{wa} = 2.95 \cdot 10^7 \text{ g/día}$$

6. Cálculo de la radiación.

$$R = R_{\text{min}} + r \cdot (R_{\text{máx}} - R_{\text{mín}}) \quad \text{Ec. 3.10}$$

$$R = 132 \text{ w/m}^2$$

7. Cálculo del valor corregido de la radiación.

$$R_c = R \cdot (1 + 0.003 \cdot e) \quad \text{Ec. 3.11}$$

$$R_c = 157.325 \text{ w/m}^2$$

8. Cálculo del área superficial.

$$A = (h \cdot F_{WA}) / (E \cdot R_c) \quad \text{Ec. 3.12}$$

$$A = 0.04 \text{ km}^2$$

9. Cálculo del tiempo de retención.

$$t = -\log(1 - (DBO_{5 \text{ total removida}} / DBO_{5 \text{ total del afluente}})) / (k \cdot t) \quad \text{Ec. 3.13}$$

t=14 día

10. Cálculo de la profundidad.

$$H = (Q \cdot t) / A \quad \text{Ec. 3.14}$$

$$H = 0.52 \text{ m}$$

### 3.6.1.1 Diseño de la Laguna según el método del factor de dispersión.

1.  $kt = 2.4$

2. a) Invierno:  $k_{15} = k \cdot (Ct^{(T_i - T_m)}).(\text{días}^{-1})$  Ec. 3.15

$$k_{15} = 0.187 \text{ días}^{-1}$$

b) Verano:  $k_{25} = k \cdot (Ct^{(T_v - T_m)}).(\text{días}^{-1})$  Ec. 3.16

$$k_{25} = 0.187 \text{ días}^{-1}$$

3. a) Invierno:  $t = kt / k_{15}$  Ec. 3.17

$$t = 13 \text{ días}$$

b) Verano:  $t = kt / k_{25}$  Ec. 3.18

$$t = 7.2 \text{ días}$$

4. a) Invierno:  $V = Q \cdot t$  Ec. 3.19

$$V = 19456.9 \text{ m}^3$$

b) Verano:  $V = Q \cdot t$  Ec. 3.20

$$V = 10944.504 \text{ m}^3$$

5. a) Invierno:  $A = V / H$  Ec. 3.21

$$A = 10808.93 \text{ m}^2$$

b) Verano:  $A = V / H$  Ec. 3.22

$$A = 6080.28 \text{ m}^2$$

El método Ostwald y Gotaas refleja como resultado un tiempo de retención de 14 días, una profundidad de 0,52 m y un área de 0.04 km<sup>2</sup>.

El método Factor de Dispersión trae implícito cada parámetro para verano e invierno. En el presente diseño se toman los valores para el invierno porque bajo estas condiciones climáticas se demora más en biodegradarse la materia orgánica por la ausencia del sol y por lo tanto se necesitará una mayor área; es por ello que la laguna necesita un tiempo de retención de 13 días, con una profundidad de 1,8 m, un volumen de 19 456.9 m<sup>3</sup> y un área de 0.0108 km<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta los índices de diseños típicos de las lagunas reflejados en las tablas 14.1 y 14.2 del libro Díaz. (2006); se puede concluir que el modelo de laguna que se debe utilizar para ambos métodos es el de una Laguna Facultativa.

### **3.6.2 Diseño de tratamientos primarios.**

- **Trampas de grasas, fango e hidrocarburos.**

Una trampa de grasa, fango o hidrocarburos es el receptáculo ubicado entre las líneas de desagüe de las cocinas, plantas de fregado, talleres de mecánica, planta de combustible y la red exterior de evacuación residual. Su función es retener, por la acción de la densidad de los cuerpos, tanto los sólidos que se depositan en el fondo (tierra, arena, etc.), como las grasas, aceites, petróleo gasolina, que al ser menos denso que el agua flotan en ella, para evitar así que estos materiales ingresen en la red de evacuación y a la disposición final.

La configuración geométrica de estas trampas puede adoptar cualquier forma, pero las más usuales son las circulares y rectangulares, su volumen depende de la cantidad de desechos que se les incorpora. Las mismas serán de bloques de 150 mm, con terminación en repello fino; sus accesorios de PVC (policloruro de vinilio) de 110 mm de diámetro y tapas de PVC con cerco de 550 x 550 mm.

Para cada edificación de la UMCC se determina el número de unidades de consumo, a partir de lo cual, se utiliza el gráfico de Hunter (anexo 6), y se obtiene la demanda máxima probable que deben conducir los ramales hidráulicos. (Fair y Geyer, 2001)

El caudal de las aguas residuales (Q) será el que resulte del análisis de la simultaneidad de descarga y de las regularidades horarias de consumo, en la práctica este valor (Q) se puede considerar el 90% del Q probable obtenido del gráfico de Hunter. Se tiene en cuenta que del agua que se consume entre el 80-90% se desecha.

Tabla 4: Unidades de consumo y aporte residual de cada edificación de la UMCC.

Edificio	Unidad de Consumo	Q= Q probable x 90% (L/s)
Edificio administrativo	230	5.31
Docente 1	260	4.32

Docente 2	260	4.32
Docente 3	260	4.32
Docente 4	260	4.32
Docente 5	57	1.71
Residencia A	708.5	9.72
Residencia B	708.5	9.72
Residencia C	708.5	9.72
Residencia D	708.5	9.72
Residencia E	708.5	9.72
Rectorado	88.5	2.25
CICT	48	1.62
Centro de Cálculo	62.5	1.8
Laboratorios de física y química	260	4.32
Casa de cultura	14	0.58
Cocina –Comedor	105	2.0
Casa de Calderas	3	0.27
Cocina –Comedor Protocolo	25	0.9
Oficina de alimentación	9	0.4
Mantenimiento Constructivo	42.5	1.3
Mantenimiento Especializado	10.5	0.4
Transporte	400*	6.6
Gasolinera	225*	4.0
ATM	48	1.62
Imprenta	27	0.92
Hospital	29	1.09
Laboratorio de Mecánica	73	2.03
Planta Piloto	260	4.32
Hotel	111.5	2.62

Total	6 109.5	37
-------	---------	----

Fuente:(Quintana, 2008)

1 UC = 25 L/minita

\* Unidad de consumo futura.

En la tabla que se muestra a continuación se exponen los resultados para el área de estudio en cuanto a ubicación, volumen y tipo de trampa.

Tabla 5: Parámetros de diseño y volumen de tratamiento primario por locales.

Local de Tipo de Interceptor	UC	Aporte residual(L/s)	Tiempo de Retención (minuto)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cocina estudiante Trampa de grasa	74	2.05	12	1.5
Cocina protocolo Trampa de grasa	38	1.50	15	1.5
Cocina estudiante Trampa de fango	12	0.6	15	0.6
Cocina protocolo Trampa de fango	12	0.6	15	0.6
Taller Automotriz Trampa de grasa	340	5.8	10	3.5
Pista de combustibles Trampa de grasa	195	4.0	15	3.5

Fuente: (Quintana, 2008)

El mantenimiento de cada tratamiento primario se efectuará de acuerdo al tipo de interceptor. Cada área donde estén ubicados será responsable de la remoción adecuada y eliminación de sus desechos.

El plano con los detalles constructivos de los tratamientos primarios, se encuentra en el Anexo 10.

### 3.7 Análisis económico.

1. El costo de las trampas de grasas y de fango.

Tabla 6: Índices de costos.

Años	Índices de costo
2008	575.4
2013	583.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Costo de las trampas.

Tipo de trampa	Cantidad	Costo (2008)	Costo (2013)	Costo total
Trampa de grasa	2	\$1110	\$1115	\$2230
Trampa de fango	1	\$1110	\$1115	\$1115
				\$3345

Fuente: Elaboración propia.

1. Costo de instalación y montaje.(CIM)
  - CIM= (10% del CT) Ec. 3.23
  - CIM=\$ 334.5
2. Costo de instrumentación del proceso tecnológico. (CIPT)
  - Costo de adquisición (CAI) = (15% del CT) Ec. 3.24
  - CAI =\$501.75
  - Costo de instalación y montaje(CIM) = (50% del CAI) Ec. 3.25
  - CIM = \$ 250.86
  - CIPT= CAI +CIM Ec. 3.26
  - CIPT= \$752.61
3. Costo de adquisición y montaje de tuberías.(CAMT)

$$\text{Materiales} = (35\% \text{ del CT}) \quad \text{Ec. 3.27}$$

$$\text{Materiales} = \$ 1170.75$$

$$\text{Mano de obra} = (26\% \text{ del CT}) \quad \text{Ec. 3.28}$$

$$\text{Mano de obra} = \$ 869.7$$

$$\text{CAMT} = \text{Materiales} + \text{Mano de obra} \quad \text{Ec. 3.29}$$

$$\text{CAMT} = \$ 2040.45$$

4. Costo instalaciones eléctricas. (CIE)

$$\text{CIE} = (10\% \text{ del CT}) \quad \text{Ec. 3.30}$$

$$\text{CIE} = \$ 334.5$$

5. Costo del proyecto. (CP)

$$\text{CP} = \text{Ingeniero} + \text{Dibujante} + \text{Materiales} + \text{Gastos Generales} + \text{Ganancia económica y Organización del proyecto} \quad \text{Ec. 3.31}$$

$$\text{CP} = \$783$$

6. Costo de inversión. (CI)

$$\text{CI} = \text{CT} + \text{CIM} + \text{CIPT} + \text{CAMT} + \text{CIE} + \text{CP} \quad \text{Ec. 3.32}$$

$$\text{CI} = \$ 8092$$

Existen otros métodos más rápidos para la evaluación de los costos de inversión de las plantas industriales entre ellas está el método de Lang, que es el más aceptado en este caso y plantea el cálculo a partir del costo de equipamiento principal.

$$\text{CI} = 4.50 * \text{E} \quad \text{Ec. 3.33}$$

$$\text{CI} = \$ 15\,052.5$$

Donde E es el costo de equipamiento tecnológico principal.

$$\text{CETP} = \text{trampa de grasa} + \text{trampa de fango.} \quad \text{Ec.3.34}$$

$$\text{CETP} = \$ 3345$$

Como puede apreciarse la variación del costo de inversión no es significativo, corroborándose la confiabilidad del resultado.

**Conclusiones parciales del capítulo.**

1. El diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” permitió comprobar que su funcionamiento es inadecuado.
2. El flujo de agua residual que llega actualmente al registro que se encuentra a la entrada de la laguna de oxidación es de 2.44 m<sup>3</sup>/día de un total de 1 520.07 m<sup>3</sup>/día. Por lo que se demuestra la existencia de pérdidas de 1 517.63 m<sup>3</sup>/día de agua residual que se producen a través de la trayectoria de la red sanitaria.
3. El análisis físico – químico y microbiológico del afluyente de la laguna de oxidación demuestra el carácter biodegradable del residual y su naturaleza contaminante.
4. En el rediseño de la laguna de oxidación se demostró que por ambos métodos se debe utilizar una Laguna Facultativa.
5. El tratamiento primario propuesto para mejorar el funcionamiento del sistema de las lagunas de oxidación de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” considera una trampa de grasa rectangular de 1 000 mm de ancho y 700 mm del nivel de agua, con respecto al fondo, que se ubicará en el comedor; una trampa de fango rectangular de 600 mm de ancho, 1 200 mm de largo y 750 mm del nivel de agua, con respecto al fondo, que se ubicaría en el comedor y otra trampa de grasa con las mismas características a la entrada de la laguna.
6. El costo de la inversión para la propuesta del tratamiento primario representa \$ 8092.

## **Conclusiones.**

El diagnóstico de la red hidrosanitaria demuestra su estado de deterioro, lo que provoca la ausencia de agua residual en las lagunas de oxidación. Los análisis físico – químicos y microbiológicos del afluente muestran el alto contenido de materia orgánica en el agua residual, según las normas cubanas NC27 1999 y NC 521 2007.

Los resultados del diagnóstico indican la necesidad de una propuesta de soluciones para el mejoramiento del funcionamiento del sistema de tratamiento del agua residual en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

Las propuestas de solución a los problemas detectados se enmarcan en el rediseño de las lagunas de oxidación y el diseño de trampas de grasa y de fango.

### **Recomendaciones.**

- Elaborar el manual de operaciones para la laguna de oxidación.
- Evaluar la red hidrosanitaria de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.
- Elevar los resultados obtenidos al departamento de inversiones y a la dirección de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

## **Bibliografía.**

1. Aguamarket. (2006). Productos y servicios para la industria del agua latinoamericana [on-line]. Disponible en World Wide.
2. Awwa APHA, WPCP. (2004). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
3. Benítez. Agustín. (2005). Optimización de Parámetros de Estabilidad Dinámica en el Proceso de Lodos Activados mediante un Modelo de Dinámica de Sistema. Tesis en la opción al Título Académico de Doctor.
4. Berovidez. Manuel. (2007). Diversidad de la vida y su conservación. Instituto cubano del libro. Editorial Científico – Técnica. La Habana. Cuba.
5. Domínguez. J. F, Martínez. Y, Benítez. A. Junco. J. Z. (2007). Revista de Ingeniería Química N<sub>o</sub> 448. Metodología de caracterización de aguas residuales domésticas. páginas 170-181.
6. CITMA (Ciencia Tecnología y Medio Ambiente). (2007). Estrategia Ambiental Nacional. Instrumentos de la política y la gestión ambiental. Cuba. 2007/2010
7. Cuenca Soler. Yutniarelis. (2008). Proyecto de mejora ambiental en la gestión del agua en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. Tesis en opción al Título Académico de Máster en Contaminación ambiental.
8. Díaz Betancourt, Raúl. (2006). Tratamiento de aguas y aguas residuales. Ciudad de La Habana. Editorial ISPJAE.
9. Empresa de proyectos e inversiones Matanzas. (2012).
10. Estructplan. (2007). Operación de plantas de barros activados (on-line). Disponible: Web: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=207>.
11. Fair Golden .Maskew; Geyer. John. Ch; Okun. Daniel. A. (2001). Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Vol.2. Editorial. Limusa.
12. Fernández, Acevedo. (2002). Clasificación de las aguas residuales industriales. [on line]. [Abril, 2002]. Disponible en: [http://: Ambientum.Com](http://Ambientum.Com)
13. Gallego. D, Montoya. J, Valverde. Y. J. (2008). Revista de Ingeniería Química N<sub>o</sub> 455. Evaluación del funcionamiento bioquímico de un filtro anaerobio del flujo ascendente. páginas 154-165.

14. García Dihigo. J. (2005). Metodología de la investigación para la ciencias administrativas. 2<sup>da</sup> edición. Cuba. 231 p.
15. González Sáez. L.Y, Junco Horta. J.Z, Oteló. H, Pardini. G. (2007). Revista de Ingeniería Química N<sup>o</sup> 454. Aprovechamiento de lodos de EDARs urbanos como carbón activo. página 102-107.
16. Hierro, G.J. (2005). Lodos de plantas depuradoras de aguas servidas.
17. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). (1991). Decreto Ley del 20 de noviembre de 1991.
18. Introducción de la Producción más Limpia en la Gestión Ambiental. (2002). La Habana. Cuba.
19. Iturralde. Manuel. (2011). Protege a tu familia de las aguas contaminadas. Derechos reservados. La Habana. Cuba.
20. Juárez, J.J. (2007a). Aguas residuales [on-line]. Trabajos Universitarios [consultado 2010]. *Disponible en el World Wide*.
21. Junco, J.Z. (2002). Diagnóstico ambiental y tratamiento de efluentes urbanos e industriales. Curso que aporta créditos al Doctorado Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. Cuba: Universidad de Matanzas. Mayo, 13-17. 2002
22. Martínez, Y. (2002). Estudio de variantes operacionales para el mejoramiento de la calidad de efluentes de EDARs a través de la simulación matemática. Cuba: Tesis (en opción al grado científico de Máster en Control y Tratamiento de la Contaminación Ambiental). Universidad de Matanzas.
23. Marsilli, Alejandro .2005. Tratamiento de aguas residuales. Disponible en: [www.tierramor.org](http://www.tierramor.org)
24. Menéndez Gutiérrez, Carlos y Pérez Olmo, Jesús M.2007. Procesos para el tratamiento Biológico de aguas Residuales Industriales. Ciudad de La Habana. Editorial Universitaria. Cuba
25. Mettcalfe & Eddy. (1995). "Ingeniería en Aguas Residuales. Tratamiento vertido y reutilización".
26. Mettcalfe & Eddy. (1998) .Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales. Editorial Labor, S.A. Barcelona.

27. Mettcalfe & Eddy. (1994). Ingeniería Sanitaria Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales. 3ra edición. Editorial Labor, S.A.
28. Mondeja, D. (2007). Los Problemas ambientales globales. Su estudio desde la educación ambiental. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". La Habana.
29. Montalvo J. et al. (2000) .Técnicas Analíticas para aguas y sedimentos Marinos .Protocolo de trabajo .Instituto de Oceanología .Ministerio de Ciencias Tecnológicas y Medio ambiente. 108p.
30. NC93-01-128:1988.Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales.
31. NC XX: 2007 Proyecto de Normas. Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones.
32. NC27:1999 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.
33. NC521:2007 Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas .Especificaciones.
34. NC 176:2002 Sistema de abasto de agua en edificios sociales. Requisitos de proyectos.
35. Portuondo, Pichardo, Fernando M. (2006) Economía de empresas industriales. Editorial Félix Varela. La Habana.
36. Quintana, Delbys. L. (2008).Proyecto de Mejora Ambiental para la Red Exterior de Evacuación de residuales de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Tesis en opción al Título Académico de Máster en Contaminación Ambiental.
37. Rajas, Ricardo. (2002).Curso Internacional "Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales".
38. Ramalho, RS. (1996). Tratamiento de aguas residuales. 2da ed. Barcelona: Reverte.
39. Resolución 58/95 del INRH .Estimación de la demanda de agua mensual por actividad.

40. Rodríguez, Antonio. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Disponible en: [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org).
41. Rolim, M. (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. Madrid: McGraw-Hill.
42. Seoanez, M. (1999). Aguas residuales urbanas: tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. 2da ed. Madrid: Mundi-Prensa.
43. Serrano, J.H. et al. (2006). Universidad para todos .Protección ambiental y producción más limpia. Suplemento especial Parte 1. Cuba .Editorial
44. Tchobanoglous. (2007). Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización, tomo I editorial McGraw-Hill, Madrid.
45. Terry C; Gutiérrez J; Abó M. (2006). Manual de Aguas Residuales en la Gestión Ambiental. La Habana.
46. Urbieta, Jissel. (2005). Contaminación y purificación del agua. [en línea]. [Consulta Marzo 15, 2014]. Disponible en [http:// www.monografia.c](http://www.monografia.c)

**Anexos.**

**Anexo 1: Reseñas fotográficas.**



Figura 1 y 2: Registro y conductos cubiertos de hierba.



Figura 3 y 4: Presencia de petróleo y grasa.



Figura 5 y 6: Tratamiento primario en mal estado.



Figura 7: El camino a la laguna tiene presencia de malas hierbas a una altura considerable.



Figura 8 y 9: No se visualiza el espejo de agua.



Figura 10 y 11: Ausencia de residuales en los conductos.



Figura 12: Deslizamientos de terrenos.

**Anexo 2: Guía de observación:**

1. Verificar la existencia de una red de evacuación de residuales.
2. Inspeccionar los puntos de descarga residual de cada edificación.
3. Verificar la llegada del afluente a la disposición final de residuales.
4. Chequear el funcionamiento de la laguna de oxidación.
5. Observar las diferentes manifestaciones de complacencia o rechazo que pueden producirse con el funcionamiento de la red conductora de residuales en la UMCC.

**Anexo 3: Guía de la entrevista realizada a los trabajadores y estudiantes de la UMCC.**

Objetivo: Conocer mediante la opinión de los trabajadores de la UMCC cómo influye el funcionamiento de la red de evacuación de residuales y la laguna de oxidación en la vida de la comunidad universitaria.

Preguntas realizadas:

1. Por dónde se mueve la red de evacuación de residuales hasta llegar a la laguna de oxidación.
2. Valoración del estado de la red de evacuación de residuales y de la laguna de oxidación.
3. Valoración sobre la llegada del afluente a la disposición final de residuales.
4. Influencias que tiene el funcionamiento de la laguna de oxidación para el medio ambiente.

**Anexo 4**

Tabla 8: Relación de trabajadores y estudiantes entrevistados de la UMCC.

Nombre y Apellidos	Labor que realizan	Fecha	Hora
Emilio Duarte	Director de Inversiones	22/1/2014	10:00 a.m
Ana María Mario	Especialista de Inversiones	24/1/2014	11:00 a.m
Víctor Hernández	Jefe del área de mantenimiento	5/2/2014	9:20 a.m
Omaní Martínez	Trabajador del área de mantenimiento	10/2/2014	8:35 a.m
Yanedis Salgado	Estudiante de ingeniería Industrial	12/2/2014	9:00 a.m
Lianet León	Estudiante de Licenciatura en Derecho	12/2/2014	1:05 p.m
Alexis González	Estudiante de ingeniería Química	14/2/2014	11:10 a.m
Yisser Domínguez	Estudiante de ingeniería Química	21/2/2014	2:00 p.m
Orlando Álvarez	Estudiante de ingeniería Industrial	24/2/2014	1:25 p.m

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 5**

Tabla 9: Coeficientes de irregularidad.

<b>Población (miles de habitantes)</b>	<b>Diario (<math>k_1</math>)</b>	<b>Horario (<math>k_2</math>)</b>	<b>Max. Horario (<math>k_h</math>)</b>
Menos de 2.0	1.5	1.9	2.85
2.0 a 10.0	1.5	1.8	2.7
10 a 25.0	1.5	1.7	2.5
25 a 50	1.4	1.6	2.3
50a 100	1.4	1.5	2.1
100 a 150	1.4	1.4	2.0
150 a 300	1.3	1.4	1.8
300 a 500	1.3	1.3	1.7
Más de 500	1.2	1.3	1.6

Fuente: Tomado de NC XX: 2007.

La diferencia entre  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_h$  se debe a la aproximación a una cifra decimal.

**Anexo 6: Norma cubana NC 176:2002. Sistema de abasto de agua en edificios sociales. Requisitos de proyecto. (Selección de Aspectos de Interés).**

**Objetivo:** Esta Norma Cubana establece los requisitos que se cumplirán en la elaboración de proyectos de sistemas de abastos de agua fría y sistema de abasto de agua caliente en edificios o áreas destinadas a uso social. En caso de abasto de agua caliente se consideran sistemas con producción centralizada de agua mediante calentadores.

**Determinación de caudales.**

El método de abasto de agua de un edificio se pronosticará aplicando el método de cálculo propuesto por Hunter, en 1940 considerando los ajustes y perfeccionamientos de que ha sido objeto posteriormente. El método se resume en el anexo. La demanda máxima probable se considera dependiente de tres factores básicos:

- Cantidad, clase y tipo de uso (privado o público) correspondiente a los muebles sanitarios instalados.
- Simultaneidad de uso a que están sometidos estos muebles.
- Los consumos puntuales correspondientes a aquellos muebles sanitarios o equipos que presentan un régimen de consumo que pueden ser simultáneos.

Tabla 10: Caudales unitarios mínimos en los muebles sanitarios de mayor uso.

Muebles sanitarios	Diámetro de toma (mm)	Caudal unitario (L/s)
Lavabo	15	0.15
Inodoro, tanque	15	0.15
Inodoro, Válvula Flush	25	1.5 a 2.0
Urinario, Lavabo controlado	15	0.10 a 0.15
Urinario, Válvula Flush	15	0.50
Urinario, Pedestal, Válvula Flush	20	1.0
Ducha	25	0.20

Bañadera	15	0.20
Bidé	15	0.15
Fregadero pantry	15	0.15
Fregadero privado	15	0.20
Fregadero cocina industrial	15	0.20
	20	0.25
Vertedero	15	0.20
	20	0.25

Tabla 11: Unidades de consumo. Determinación de las unidades de consumo (expresada en UC).

Tipo de Mueble Sanitario	Unidades de consumo		
	T	AF	AC
<b>Uso Privado</b>			
Lavabo	1	0.75	0.75
Inodoro de tanques	3	3	-
Inodoros de válvula Flush	6	6	-
Bíde	2	1.5	1.5
Ducha	2	1.5	1.5
Bañadera	2	1.5	1.5
Fregadero	3	2.25	2.25
Lavadero	3	3	-
Toma de mangueras para riego o limpieza DN, 15	3	3	-
Vertedero de limpieza DN, 15	3	3	-
Grupo de baño tanque	6	4.5	-
Grupo de baño válvula Flush	8	7.5	-
<b>Uso público</b>			
Lavabo	2	1.5	1.5
Inodoro de tanque	5	5	-
Inodoro de válvula Flush	10	10	-

Urinario de tanque, lavado controlado	3	3	-
Urinario de válvula Flush	5	3	-
Urinario de pedestal con válvula Flush	10	10	-
Ducha	4	3	3
Fregadero de pantry	3	2.25	2.25
Fregadero de cocina	4	3	3
Bebedero	0.5	0.5	-
Caja de agua	1	1	-
Toma de manguera para riego o limpieza DN,15	2	1.5	1.5
Toma de manguera para riego o limpieza DN,20	4	4	-
Vertedero de limpieza DN,15	3	3	-
Vertedero de limpieza DN,20	4	4	-

Nota: En las columnas que contienen los valores correspondientes a las unidades de consumo se les dará la interpretación siguiente:

T: Consumo total del mueble sanitario.

AF: Consumo de agua fría.

AC: Consumo de agua caliente.

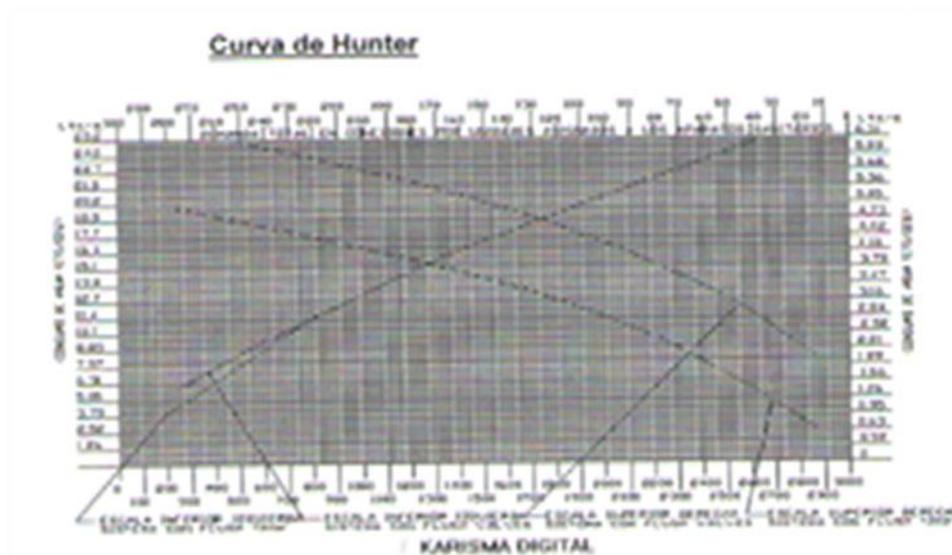


Gráfico 1: Curva de Hunter, contiene los valores que relacionan caudales con unidades de consumo y demanda probable.

**Anexo 7: NC: 27:1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestre y al alcantarillado. Especificaciones.**

**Clasificación de los cuerpos receptores:**

- **Clase (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.
- **Clase (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)
- **Clase (C):** Ríos, embalses, zonas hidrogeológicas de menor valor desde el punto de vista del uso como: aguas de navegación, riego con aguas residuales, industrias poco exigentes con respecto a la calidad de las aguas a utilizar, riego de cultivos tolerantes a la salinidad y al contenido excesivo de nutrientes y otros parámetros

Tabla 12: Límites Máximos Permisibles para la descarga de aguas residuales según la clasificación del cuerpo receptor.

Parámetros	UM	Ríos y Embalses			Acuífero vertimiento en suelo y zona no saturada de 5 m			Acuífero vertimiento directo a la zona saturada		
		(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
pH	Unidades	6,5-8,5	6-9	6-9	6-9	6-9	6-10	6-9	6-9	6-10
Conductividad eléctrica	$\mu$ S/cm	1 400	2 000	3 500	1 500	2 000	4 000	1 500	2 000	4 000
Temperatura	°C	40	40	50	40	40	50	40	40	50
Grasas y aceites	mg/L	10	10	30	5	10	30	Ausente	10	20
Materia flotante	-	Ausente	Ausente	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	Ausente
Sólidos Sedimentables Totales	mL/L	1	2	5	1,0	3,0	5,0	0,5	1,0	5,0
DBO <sub>5</sub>	mg/L	30	40	60	40	60	100	30	50	100
DQO (Dicromato)	mg/L	70	90	120	90	160	250	70	140	250
Nitrógeno total (Kjd)	mg/L	5	10	20	5	10	15	5	10	15
Fósforo total	mg/L	2	4	10	5	5	10	5	5	10

Tabla 30. Indicadores de contaminación fecal máxima admisible en los cuerpos receptores según su clasificación cualitativa.

Categoría del cuerpo receptor	NMP/100 mL Coliformes totales	NMP/100 mL Coliformes fecales	Relación CT/CF %
A (superficial)	1 000	200	20 %
A (subterráneo)	100	20	20 %
B (superficial)	5 000	1 000	20 %
B (subterráneo)	250	50	20 %
C (superficial)	(1)	(1)	(1)

**Anexo 8: NC521:2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones.**

Tabla 13: Límites Máximos permisibles para la descarga de aguas residuales a las zonas costeras y a los cuerpos receptores marinos.

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

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

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

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

(4) Media geométrica.

NP: No se permite vertimiento.

SR: Sin restricción

**Anexo 9**

Tabla 14: Resultados del análisis estadístico.

	pH	k	ST	STF	STV	DQO	DBO	DC	DT	DM	CT	CF
Cantidad	9	9	7	6	6	9	9	8	9	8	7	7
Media	7.24	772.97	693.85	385	357.33	1633.68	816.82	227.51	354.343	136.87	777306	778307
Mediana	7.4	818.0	570	328	289	291.24	145.62	237.2	310	62.035	11000	11000
Moda	—	—	—	—	—	—	—	—	310	—	11000	11000
Varianza	0.24	25629.8	129182	28704.8	66251.9	4.51E <sup>6</sup>	1.12E <sup>6</sup>	2262.68	21396.6	19439.4	11000	4.15E <sup>12</sup>
Desviación estanda	0.49	160	359.41	169.42	257.39	2125.54	1062.78	47.5676	146.27	139.42	4.15E <sup>12</sup>	2.037E <sup>6</sup>
Mínimo	6.4	459.5	274	177	97	49.05	24.52	151.7	192.57	31.6	2.038E <sup>6</sup>	1750
Máximo	7.8	927.0	1286	664	793	4668	2334	279	601.92	351.92	1140	5.4E <sup>6</sup>
Rango	1.4	467.5	1012	487	696	4618.94	2309.47	127.3	409.35	320.92	5.4E <sup>6</sup>	5.39E <sup>6</sup>
Stnd Skewness	-1.12	-1.10	0.69	0.82	1.06	1.05	1.05	-0.71	1.51	1.23	2.85	2.85
Stnd Kurtosis	-0.15	0.09	-0.33	0.31	0.28	-0.9740	-0.97	-0.49	0.17	-0.42	3.78	3.78
Coficiente de variación	6.83 %	20.71 %	51.8%	44.00%	72.03%	130.10%	130.11%	20.90%	41.28%	101.86 %	262.24%	261.84 %

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 10: Esquema de las trampas de grasa y de fango.**

Tabla 14: Dimensiones de las trampas de grasas.

a	b
1000 mm	700 mm

Fuente: Elaboración propia.

a: ancho

b: nivel de agua, con respecto a la losa de fondo.

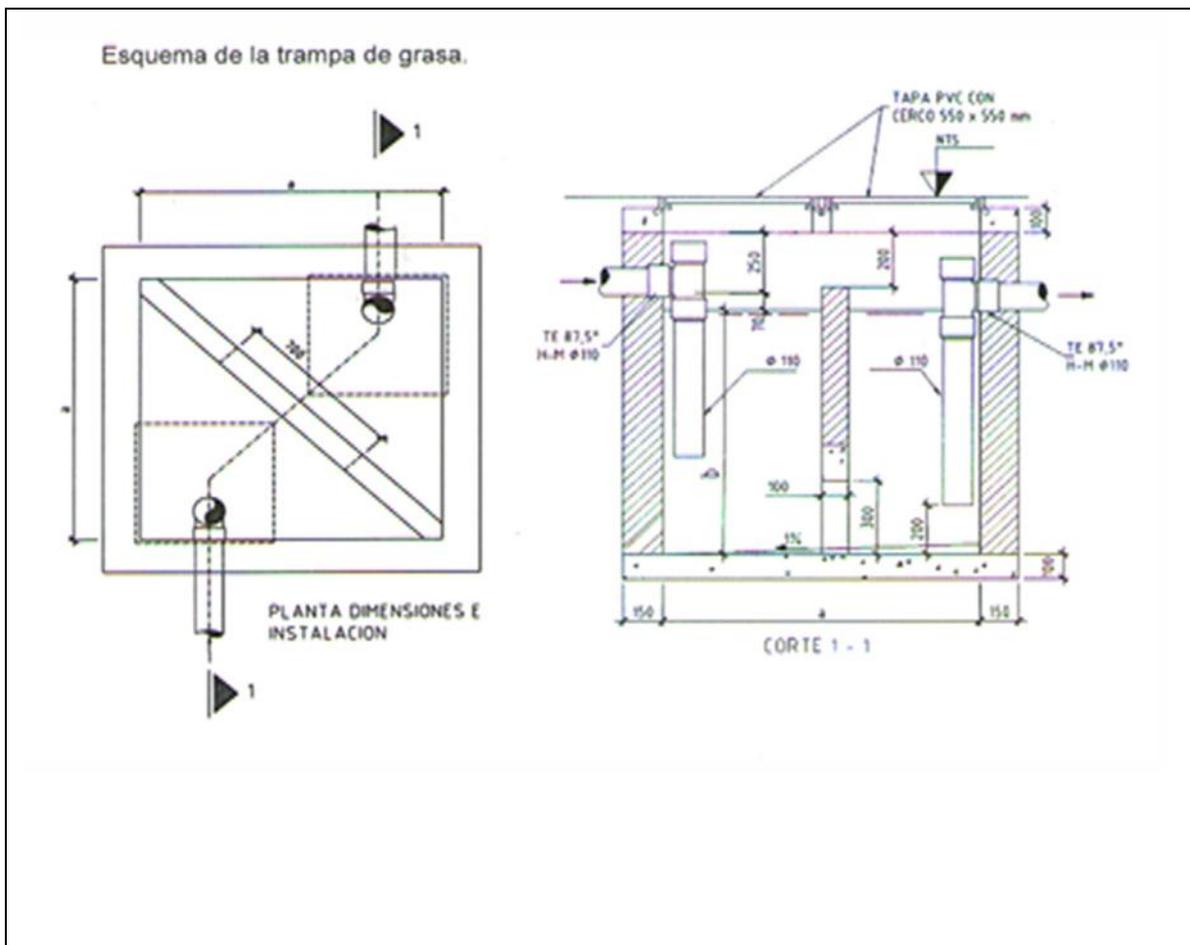


Figura 13: Esquema de la trampa de grasa.

Tabla 15: Dimensiones de la trampa de fango.

a	b	c
600 mm	1200 mm	750 mm

Fuente: Elaboración propia.

a: ancho

b: largo

c: nivel de agua, con respecto a la losa de fondo.

Esquema de la trampa de fango.

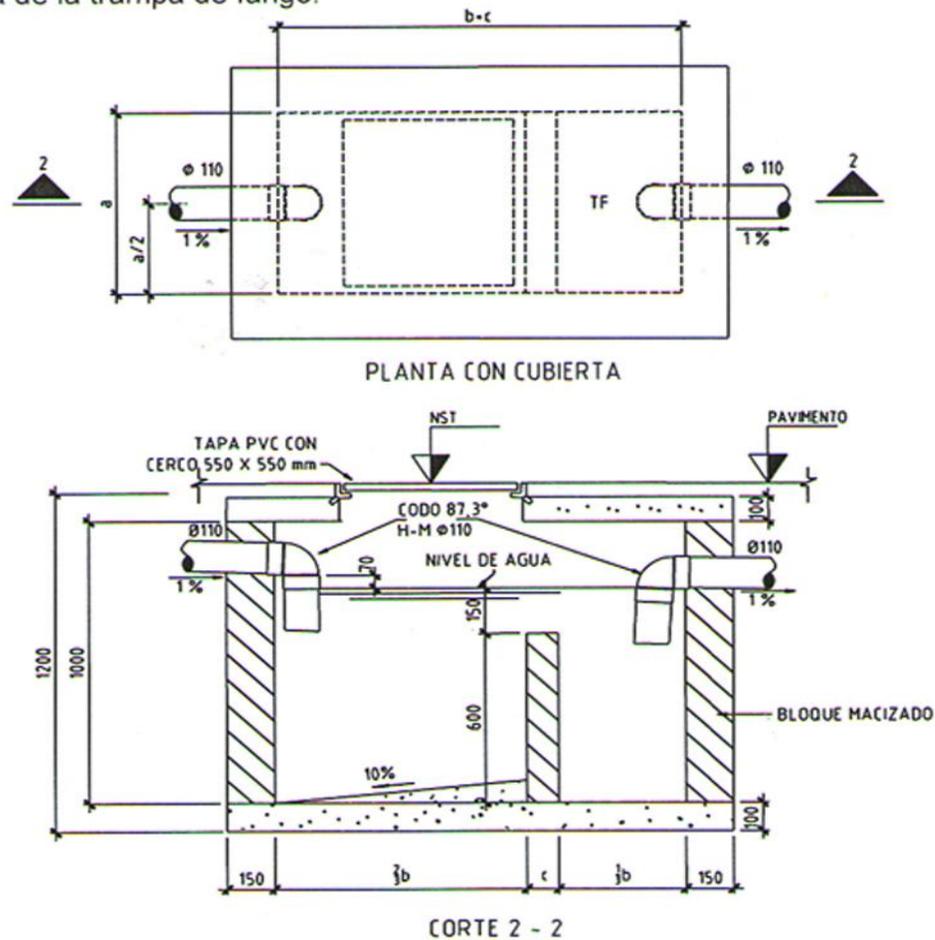


Figura 14: Esquema de la trampa de fango.