



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOVIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

*Facultad de Química Farmacia.
Departamento de Ingeniería Química.*

Trabajo de Diploma.

Título: Caracterización y Estudio de la Planta de Tratamiento de Residuales Líquidos de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

*Autor: Yileymi Palacios Machado.
Tutores: MSc. Ing. Ignacio Morrell Flores.
MSc. Ing. Pastora Martínez Nodal.
Ing. Maylier Pérez Gil.*

*"Año de la Alternativa Bolivariana para las Américas."
Curso 2004-2005.*



Resumen.

En el trabajo se realizó una valoración de la Planta de Tratamiento de residuales líquidos de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. En el mismo se ofrecieron criterios donde se abordaron los elementos básicos para la búsqueda de opciones técnico económicas que permitan recuperar la instalación existente. Primeramente se reflejaron algunos conceptos relacionados con la temática objeto de estudio, con los cuales se persiguió dar una contribución a través de posibles soluciones técnicas a la problemática de los residuales líquidos, para minimizar los impactos que los mismos ocasionan en el medio ambiente. Se realizó el análisis y diagnóstico de cada una de las etapas que integran el sistema de tratamiento instalado y se determinaron los posibles porcentajes de remoción de materia orgánica de acuerdo a lo reportado en la bibliografía general y de carácter específico consultada. Se analizaron las deficiencias existentes en el sistema para tributar un efluente que reúna los requisitos establecidos por las legislaciones vigentes. Se plantearon labores de mantenimiento necesarias para lograr un funcionamiento pleno tras la rehabilitación y se valoró en adición los aspectos relacionados con la operación y control. Se abordó además desde el punto de vista técnico, la importancia que puede revestir el dotar a la planta de una etapa previa de recepción del residual, incluyendo algunas alternativas de tratamiento que pueden contribuir a un mayor nivel de descontaminación de las aguas. Se incluyó una valoración relacionada con la necesidad de reparar las redes sanitarias y de suministro de agua potable.

Palabras claves

Residuales líquidos.

Tratamiento biológico.

Cono Imhoff.

Filtro Percolador.

Plantas Acuáticas.

Residuales domésticos.

Abstract.

In the work he/she was carried out a valuation of the Plant of Treatment of residual liquids of the Central University "Marta Abreu" of Las Villas. In the same one they offered approaches where the basic elements were approached for the search of economic options technician that you/they allow to recover the existent installation. Firstly they were reflected some concepts related with the thematic study object, with which was pursued to give a contribution through possible technical solutions to the problem of the residual liquids, to minimize the impacts that the same ones cause in the environment. He/she was carried out the analysis and diagnostic of each one of the stages that integrate the system of installed treatment and the possible percents of removal of organic matter were determined according to that reported in the general bibliography and of consulted specific character. The existent deficiencies were analyzed in the system to pay an effluent that gathers the requirements settled down by the effective legislations. They thought about necessary maintenance works to achieve a full operation after the rehabilitation and it was valued in addition the aspects related with the operation and control. It was also approached from the technical point of view, the importance that can have endowing to the plant of a previous stage of reception of the residual one, including some treatment alternatives that can contribute at a bigger level of purification of the waters. A valuation related with the necessity was included of repairing the sanitary nets and of supply of drinkable water.

Key words

Residual liquids.

Biological treatment.

Cone Imhoff.

Filter biological.

You plant Aquatic.

Residual domestic.

INDICE.

Introducción.....	1
Capítulo I. Análisis Bibliográfico	
1.1 Contaminación ambiental.....	4
1.2 Contaminación.....	5
1.3 Clasificación de la contaminación.....	6
1.3.1 Contaminación química.....	6
1.3.2 Contaminación física.....	7
1.3.3 Contaminación biológica.....	7
1.4 Orígenes de las aguas residuales.....	7
1.5 Fuentes de contaminación.....	8
1.5.1 Clasificación de las fuentes de contaminación.....	8
1.5.1.1 Fuentes de la contaminación puntuales y no puntuales.....	9
1.5.1.2 Fuentes de la contaminación: industriales, agropecuarias y doméstico- municipales.....	9
1.6 Contaminación de las aguas.....	10
1.6.1 Contaminantes de importancia en el tratamiento de las aguas residuales.....	11
1.6.2 Formas específicas a través de las cuales los contaminantes del agua se introducen en el ambiente.....	12
1.6.3 Respuesta de los organismos vivos ante los contaminantes del agua y sus efectos nocivos.....	12
1.7 Depuración de las aguas residuales.....	13
1.7.1 Tipos de tratamiento.....	13
1.7.2 Requisitos del tratamiento.....	15
1.8 Niveles de tratamiento.....	15
1.8.1 Pre-tratamiento.....	16
1.8.2 Tratamiento primario.....	16
1.8.3 Tratamiento secundario.....	19
1.8.4 Tratamiento avanzado de las aguas residuales.....	21

1.8.5	Implementación de plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales.....	22
1.8.5.1	Tipos de plantas acuáticas.....	22
1.9	Caracterización de aguas residuales.....	23
1.9.1	Muestreo.....	24
1.9.1.1	Número de muestras.....	24
1.9.1.2	Tipos de muestra.....	25
1.9.1.3	Lugar de muestreo.....	25
1.9.1.4	Conservación de las muestras.....	26
1.9.2	Características fundamentales de los indicadores de la contaminación y sus impactos al medio ambiente.....	26
1.10	Vertimiento. Requisitos generales.....	29
	Conclusiones parciales.....	30
Capítulo II. Análisis y consideraciones con vista a mejorar la eficiencia de la Planta de Tratamiento.		
2.1	Sistema de tratamiento instalado. Descripción y análisis de las etapas que lo integran.....	31
2.2	Diagnostico y análisis de las insuficiencias existentes en el sistema de tratamiento instalado.....	36
2.3	Labores de mantenimiento. Propuestas.....	41
2.4	Alternativa tecnológica para mejorar el sistema de tratamiento.....	42
2.4.1	Etapas previas de recepción del residual, con un posterior control automatizado.....	43
	Conclusiones parciales.....	44
Capítulo III. Resultados y Análisis.		
3.1	Residual líquido. Caracterización.....	45
3.2	Residual líquido. Salida del Comedor Central.....	45
3.2.1	Muestreo.....	46
3.2.2	Estimación del flujo de residual procedente de la Tintorería y del Comedor Central.....	47
3.3	Residual líquido. Afluente a la Planta de Tratamiento de la UCLV.....	48

3.3.1	Muestreo.....	48
3.4	Procedimientos analíticos.....	50
3.5	Análisis de los resultados.....	51
3.5.1	Residuos provenientes del Comedor Central. Resultados y análisis.....	52
3.5.2	Afluente a la Planta de Tratamiento. Resultados y análisis.....	54
3.5.3	Unión de las corrientes de muestreo.....	55
3.6	Propuesta para el tratamiento previo de los residuos del Comedor Central.	56
3.7	Comparación de los resultados actuales con los obtenidos en años anteriores, a la entrada de la Planta de Tratamiento.....	57
3.8	Determinación de la eficiencia de la Planta de Tratamiento en el curso 1969-1970.....	59
3.9	Análisis y cálculo para la rehabilitación de la Planta de Tratamiento de Residuales.....	60

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

Introducción.

La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales, ha despertado en el hombre la búsqueda de métodos cada vez más eficientes y sofisticados para cuidarlos, recuperarlos y aprovecharlos.

El agua es uno de los compuestos o elementos naturales de mayor importancia o fundamental para la sobrevivencia de las especies y junto con el aire, la tierra y la energía; constituye uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo. La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo, pero no fue hasta finales del siglo XIX que se le reconoció como posible portadora de numerosas enfermedades infecciosas. Hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad de la misma, está fuera de toda duda.

El hombre influye sobre el ciclo del agua de dos formas distintas, bien mediante la extracción y posterior vertido de aguas contaminadas, o bien indirectamente alterando la vegetación y la calidad de las mismas. El mundo en que vivimos, debido a un régimen irracional de explotación, ha sido constantemente agredido y maltratado por los seres humanos, siendo la industrialización y el modernismo algunos factores que ayudan a la contaminación del ambiente.

Las aguas residuales están conformadas por desechos líquidos a tratar para su vertido o reutilización, que se originan bien sea por procesos industriales o por uso doméstico, constituyendo un importante foco de contaminación de los sistemas acuáticos; por lo que se hacen necesarios los sistemas de depuración antes de evacuarlos, como medida importante para la conservación del medio y para el mejoramiento de la calidad de vida.

La contaminación actúa sobre el medio ambiente acuático, alterando el delicado equilibrio de los diversos ecosistemas, integrado por organismos productores, consumidores y descomponedores, que interactúan con componentes sin vida originando un intercambio cíclico de materiales.

Aunque el hombre no es un ser acuático, ha llegado a depender intensamente de este medio para satisfacer sus necesidades tecnológicas y sociales. Estas necesidades deben ser cubiertas utilizando métodos que sean compatibles con

los ecosistemas, lo que requiere un replanteamiento radical de cada actividad social, para que las mismas no sean contaminantes, preserven la diversidad natural, social y cultural y aseguren la capacidad de las generaciones venideras. Toda actividad humana tiene un impacto dentro y fuera de su entorno; la contaminación no sólo altera el equilibrio ecológico produciendo mortandad de algunas especies animales y vegetales o la proliferación descontrolada de otras, sino que puede destruir en forma definitiva la vida en los lugares afectados. Para evitar estos impactos, resulta imprescindible que los diferentes sectores industriales se vean en la obligación de perfeccionar las prácticas actuales de producción, ya sea a través de la prevención de la contaminación o del tratamiento de los efluentes antes de ser vertidos al medio ambiente, favoreciendo el aprovechamiento económico de los mismos en los casos en que ello sea factible. La necesidad de llevar a cabo procesos para la depuración de las aguas de uso industrial, doméstico y residuales cobró importancia progresiva desde principios de la década de 1970, como resultado de la preocupación general expresada en todo el mundo, sobre el problema cada vez mayor, de la contaminación del medio ambiente provocada por el vertimiento al mismo de desperdicios domésticos, industriales, municipales y agrícolas.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, resulta necesaria la búsqueda de soluciones y un nuevo enfoque de trabajo en la gestión ambiental, que permita la prevención y la minimización de la contaminación por un lado, y por otro el aprovechamiento económico de los residuales como principales opciones para reducir las cargas contaminantes dispuestas al medio ambiente en las condiciones de cualquier país, con independencia de su nivel de desarrollo científico-técnico.

La población universitaria, variable por su naturaleza y composición favorece emisiones de residuos líquidos y sólidos, que deben recibir un adecuado tratamiento para evitar que los efluentes se conviertan en portadores de infecciones y de otros productos químicos que, como consecuencia de la actividad investigativa pueden ser nocivos a la salud humana y en algunos

casos, alcanzar las cuencas subterráneas provocando su contaminación, lo que resulta altamente perjudicial.

Problema científico:

En la era actual y como producto del desarrollo científico técnico, se han impuesto regulaciones y especificaciones rigurosas a la calidad del agua, para minimizar y si es posible eliminar de la misma aquellas sustancias o elementos que por sus características son contaminantes o portadores de elementos contaminantes de naturaleza química, física, orgánica y/o biológica. Para ello se han desarrollado y existen diferentes sistemas de tratamiento, tanto para residuales líquidos industriales como domésticos.

En la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, existe un sistema de tratamiento de residuales líquidos construido en el año 1964, que por su estado de deterioro y por variaciones en el afluente, no responde a las exigencias de un tratamiento efectivo capaz de minimizar los daños que ocasiona al cuerpo receptor (Río Ochoa), el cual debe asimilar la carga contaminante que se vierte sin que un efectivo tratamiento previo minimice los riesgos de deterioro del mismo.

De acuerdo a esta problemática se plantea la siguiente

Hipótesis:

Es factible desde el punto de vista técnico-económico la rehabilitación de la planta de tratamiento de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), que permita reducir paulatinamente los impactos negativos de los residuales líquidos sobre el medio ambiente.

Para la solución a la hipótesis planteada se propusieron los siguientes objetivos:

Objetivo general de la investigación.

Realizar el estudio de las características físico-químicas de las aguas residuales que tributan a la planta de tratamiento de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV) y un análisis que permita estimar desde el punto de vista económico el costo preliminar de rehabilitación de la misma para minimizar los impactos negativos que sus efluentes pueden ocasionar al medio ambiente

Objetivos específicos:

1. Caracterizar las corrientes de entrada a la Planta de Tratamiento de la UCLV, la del comedor central y realizar un diagnóstico de la situación actual de la misma.
2. Utilizar los resultados obtenidos para proponer medidas y calcular el costo de rehabilitación de la planta de tratamiento para restituirle las condiciones de flujo y parámetros para los cuales fue diseñada.
3. Realizar una valoración técnico- económica que permita predecir la eficiencia del tratamiento propuesto.

Capítulo I. Análisis Bibliográfico.

Este capítulo acorde con la concepción del trabajo a realizar, resulta de vital importancia por cuanto en él, además de los aspectos relacionados directamente con el objetivo de este trabajo, se ofrecerán algunas definiciones que facilitarán la comprensión de los aspectos abordados que, en esencia, persiguen dar una contribución a través de posibles soluciones técnicas, a la problemática de los residuales líquidos en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, para minimizar los impactos que los mismos ocasionan al medio ambiente.

No se ofrecerán criterios cuya rigidez limite el análisis de alternativas sino que, por el contrario, se abordarán los elementos base para la búsqueda de opciones técnico económicas que permitan recuperar las instalaciones existentes, buscando en ellas una mayor eficiencia con el menor costo de inversión posible. En adición se reflejarán algunos conceptos básicos relacionados con la temática, objeto de estudio.

1.1. Contaminación ambiental.

Posiblemente ningún tema ha concitado tanto interés y comprometimiento mundial, como lo relacionado con los problemas del medio ambiente. El cuidado y la utilización de los componentes de este, tienen implicaciones políticas, económicas, sociales, éticas y morales que no escapan a ningún habitante del planeta, a todos nos afecta y a todos por tanto, nos concierne (**Delgado I, 1999**).

Existen pruebas evidentes de que la contaminación es un problema que se está convirtiendo en un motivo global y la deposición de los residuales constituye una unidad antagónica del uso de los ecosistemas (**Rigola M, 1998**). Un ejemplo claro de esta problemática es el agua, ya que esta tiene una capacidad enorme de autodepurarse y por tanto se ha utilizado este criterio, para justificar el vertimiento de sustancias de desechos a ríos, zanjas, embalses y al mar, apoyándose en que la dilución era la solución a los problemas de la contaminación (**Suárez G. 1995**).

1.2. Contaminación.

La contaminación se define como la presencia en el medio ambiente de uno o más sustancias o cualquier combinación de ellas, así como toda forma de energía, como calor, radiactividad, ruidos y vibraciones; que al actuar sobre los diferentes componentes del medio (aire, agua o suelo) originan efectos adversos sobre la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna, y los niveles de calidad ambiental de determinados ecosistemas.

La misma constituye básicamente, un cambio indeseable en las características físicas químicas o biológicas del medio ambiente natural, producido fundamentalmente por la incidencia de factores antropogénicos.

En un sentido más práctico, dicho fenómeno constituye el resultado de la ineficiencia de los procesos desarrollados por el hombre. Las operaciones asociadas a la extracción de materias primas, la fabricación de un producto y el empleo de la energía necesaria para el proceso de fabricación, presentan ineficiencias esenciales que generan una considerable cantidad de desperdicios. El fenómeno de la contaminación afecta a los recursos naturales (agua, suelo, aire, biodiversidad) y puede modificar las condiciones naturales de vida del hombre, al incidir en el deterioro de la calidad ambiental del aire y de los recursos de agua y suelos, necesarios para la satisfacción de las necesidades alimentarias y de abastecimiento. La contaminación posee la característica de trasladarse de un medio a otro como consecuencia de factores y fenómenos que intervienen en la naturaleza. **(Bueno, J.1996) & (Gordillo, H. 1995)**

Al mismo tiempo el control de la contaminación ha adolecido de pocos incentivos para esforzarse por alcanzar una mayor eficiencia, con ello, un menor nivel de la contaminación, debido fundamentalmente a la aparente abundancia de recursos, y también, porque deshacerse de los desechos, ha resultado siempre menos costoso que mejorar la eficiencia de un sistema.**(Contaminación, 1999) & (Zaror, Z. 2000)**

Existen además otros criterios acerca de la contaminación, donde se plantea que se genera contaminación en el agua por la adición de cualquier sustancia en cantidad suficiente para que cause efectos dañinos considerables a la flora, la fauna (incluyendo al ser humano) o en los materiales de utilidad y ornamentales.

Por otra parte se entiende por contaminación: la presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos; que perjudiquen o molesten la vida, la salud y el bienestar de la población, la flora y la fauna, o degraden la calidad del aire, del agua, de la tierra, de los bienes, de los recursos, de la nación en general o de particulares. (<http://www.sagan-gea.org>) & (Chico, I.2000)

Como se puede apreciar ambos criterios convergen en que existen varias formas de contaminar el ambiente, provocando daños considerables a los seres vivos que habitan en él, lo cual es provocado por muchas sustancias nocivas que se encuentran dispersas en el medio en que habitamos.

1.3 Clasificación de la contaminación.

El problema de la contaminación es múltiple y se presenta en formas muy diversas, con asociaciones, interacciones y efectos sinérgicos que pueden potenciar alteraciones negativas difíciles de prever. Sin embargo las principales consecuencias biológicas de las contaminaciones derivan de sus efectos ecológicos, entre los cuales se consideran en general, cuatro tipos básicos de contaminación: las denominadas físicas, las químicas, las biológicas, y también se considera la causada por elementos que dañan la estética (degradación del paisaje y la introducción de industrias), atendiendo a la naturaleza de los procesos que la originan. (<http://www.sagan-gea.org>) & (Contaminación, 1999).

1.3.1 Contaminación química.

La contaminación química puede originarse como resultado de compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua, como pueden ser hidrocarburos, detergentes, plásticos, pesticidas, metales pesados, derivados del azufre y del nitrógeno).

- Los de carácter **inorgánico** están constituidos por diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Entre sus principales exponentes se encuentran los cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico). Gran parte de estos contaminantes son liberados directamente a la atmósfera e incorporados nuevamente al medio por la lluvia.
- Los contaminantes de origen **orgánico** son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, del procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan de forma negativa el normal desarrollo de la vida acuática dando lugar al proceso de eutroficación.

1.3.2 Contaminación física.

La contaminación física se produce cuando el vertimiento de aguas residuales afecta el aspecto del agua, esto ocurre cuando flotan o sedimentan determinados componentes que interfieren en la flora y la fauna acuática. Estos componentes son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de la actividad

social y profesional del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica).

1.3.3 Contaminación biológica.

La contaminación biológica esta asociada por lo general a la presencia de hongos, bacterias y virus (elementos patógenos), los cuales constituyen un factor de riesgo en la transmisión de enfermedades. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación y descomposición de la materia orgánica y sustancias inorgánicas contenidas en el agua. Ciertas bacterias descomponen sustancias inorgánicas. La eliminación o erradicación de los virus transportados por el agua es un trabajo muy difícil y costoso.

1.4 Orígenes de las aguas residuales.

Resulta conveniente abordar de forma descriptiva los posibles orígenes de las aguas residuales, teniendo en cuenta que los problemas relacionados con la contaminación, encontrarán la solución más efectiva, cuando son atacados en su origen por acciones tecnológicas encaminadas a una mayor eficiencia vinculada a la minimización de los residuos industriales y por acciones sociales dirigidas al uso más racional de los recursos y al mantenimiento de instalaciones residenciales unido a una mayor cultura ambientalista de la población.

Según el sitio (<http://www.estrucplan.com.ar>), las aguas residuales pueden tener diferentes siguientes orígenes:

- Agrícola ganadero: se originan como resultado del riego y de otras labores de limpieza ganadera, que pueden aportar al agua grandes cantidades de estiércol y orines (materia orgánica, nutrientes y microorganismos). Uno de los mayores problemas es la contaminación con nitratos.
- Origen doméstico: se consideran como tales aquellas que provienen de núcleos urbanos y que contienen sustancias procedentes de la actividad humana (alimentos, deyecciones, basuras, productos de limpieza, jabones, etc.).

- Origen pluvial: se originan por el arrastre de la suciedad que encuentra a su paso el agua de lluvia.
- Origen industrial: son por su naturaleza y magnitud, las que mayores afectaciones provocan al medio y que generalmente, cuando la racionalidad en el uso del agua de proceso no está presente, provocan incrementos innecesarios en los costos de producción. Los procesos industriales generan una gran variedad de aguas residuales, y cada industria debe estudiarse individualmente, aplicando los conceptos de calidad total en todo el ciclo de vida de sus producciones, para ser consecuentes con el progreso social.

1.5 Fuentes de contaminación.

Se define como fuente de contaminación, a toda actividad socio-económica productiva que posee un potencial de generación de residuos, cuyo volumen y agresividad pueden poner en peligro la calidad ambiental o el equilibrio de un ecosistema determinado.

1.5.1 Clasificación de las fuentes de contaminación.

Las fuentes de contaminación se pueden clasificar en puntuales y no puntuales o en industriales, agropecuarias y doméstico-municipales.

1.5.1.1 Fuentes de la contaminación puntuales y no puntuales.

Las fuentes de la contaminación **puntuales**, son aquellas en las que el origen de las descargas y emisiones provienen de un conducto perceptible o ubicación geográfica particular que se puede determinar de forma precisa.

Las fuentes de la contaminación **no puntuales**, son aquellas en las que el origen de la contaminación no puede definirse de una forma precisa, dado el carácter disperso de la misma.

1.5.1.2 Fuentes de la contaminación industriales, agropecuarias y doméstico-municipales.

Las fuentes de contaminación **industriales**, son aquellas en las que predomina el desarrollo de actividades de origen industrial. Se caracterizan por generar grandes volúmenes de aguas residuales, residuos sólidos y emisiones gaseosas. La industria utiliza el agua principalmente para operaciones de

enfriamiento, limpieza de maquinarias, procesamiento de materia prima y alimentos y control de la contaminación del aire, entre otras aplicaciones. Todas estas aplicaciones contaminan el agua en diverso grado y su composición estará determinada por los procesos industriales que se lleven a cabo en cada instalación.

Las fuentes de contaminación **agropecuarias**, son aquellas en las que predomina el desarrollo de actividades de carácter agropecuario. Se caracterizan por generar grandes volúmenes de residuos sólidos y aguas residuales con un alto contenido de carga orgánica, nutrientes y agentes patógenos, provenientes fundamentalmente de las operaciones de limpieza de las instalaciones de cría de animales y el procesamiento de determinados cultivos. La principal incidencia de estos residuos radica en los elevados aportes de materia orgánica y nutrientes que son vertidos de forma incontrolada en diversos cursos de aguas superficiales y subterráneas, así como la significativa contribución de contaminantes de carácter toxico persistente, contenidos en la escorrentía agrícola, procedente de la aplicación excesiva de fertilizantes y plaguicidas.

Las fuentes de contaminación **doméstico-municipales** son aquellas en las que predomina el desarrollo de actividades de carácter doméstico. Se caracteriza por el gran número de fuentes existentes y los elevados volúmenes de aguas residuales que son generados como resultado de la actividad municipal. Una de las características más importantes de esta contaminación es su alta concentración de gérmenes patógenos, lo cual constituye una de las principales vías de transmisión de enfermedades. Algunas de las principales fuentes de contaminantes incluyen: asentamientos, poblacionales, hoteles, escuelas y otras instalaciones sociales y de los servicios.

1.6 Contaminación de las aguas.

Durante siglos, las aguas de superficie (ríos, arroyos, lagos y estuarios) se han utilizado como receptor final para descargar desechos humanos e industriales de todas las clases concebibles, algunos de ellos altamente tóxicos.

Los contaminantes de las aguas de superficie pueden deteriorar o destruir la vida acuática, amenazar la salud humana, dañar la vida silvestre y perjudicar las operaciones industriales. Estos provienen directamente de los asentamientos humanos, las industrias y las actividades agropecuarias.

Aunque los signos más evidentes de contaminación acuática son los lagos cubiertos de algas, los residuos flotantes, la alteración del color del agua y los malos olores; pueden indicar una tensión de ese medio los contaminantes químicos tóxicos, los cuales son un problema menos visibles y más persistente.

La materia orgánica es en general, cualquier sustancia natural de origen animal, humano o vegetal, y se descompone por la acción de los microorganismos que requieren oxígeno. Cuando cantidades excesivas de materia orgánica se vierten en aguas superficiales y se descomponen, se agota la concentración de oxígeno disuelto del medio receptor, especialmente en las corrientes lentas que no, sé reabastecen de oxígeno con rapidez. A medida que disminuye la concentración de este elemento, los peces y otros organismos acuáticos encuentran dificultades para sobrevivir y a la postre muere, pero al morir, los organismos también requieren oxígeno disuelto para descomponerse, por lo cual continúa reduciéndose la concentración de oxígeno disuelto en el medio.

Entre las principales causas del origen de la contaminación de las aguas en Cuba se identifican:

- Estado deficiente de las redes de alcantarillado y su carácter parcial en la mayoría de los casos.
- Insuficiente cobertura de tratamiento de residuales
- Elevado déficit de mantenimiento y atención a la operación de los sistemas de tratamiento existentes.
- Obsolescencia tecnológica y baja disciplina tecnológica.
- Incumplimiento de la normatividad y la legislación ambiental vigente.
- Insuficiente utilización de prácticas de producción más limpia y aprovechamiento económico de residuales.
- Insuficiente ejecución de programas de monitoreo y caracterización de residuales. (**Contaminación, 1999**)

1.6.1 Contaminantes de importancia en el tratamiento de las aguas residuales.

Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Cuando se pretende reutilizar el agua residual, las exigencias normativas incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos.

En la **Tabla 1.1** se describen los principales contaminantes a considerar, acorde con su importancia para la selección o diseño de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 1.1. Principales contaminantes y su importancia.

Contaminantes.	Razón de su importancia.
Sólidos en suspensión.	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de lodos y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático
Materia orgánica biodegradable.	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno).
Nutrientes.	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento, pero cuando se vierten al entorno acuático, estos pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada.
Sólidos inorgánicos disueltos.	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual

1.6.2 Formas específicas a través de las cuales los contaminantes del agua se introducen en el ambiente.

Si bien el conocimiento de los principales contaminantes para el diseño de los sistemas de tratamiento es o resulta importante, tanto o más lo es el conocimiento de las vías o portadores que logran su introducción en el entorno social o productivo. Para tener una idea de ello ténganse presente las siguientes apreciaciones:

La calidad de las aguas residuales que se vierten depende de los contaminantes que contengan y del tratamiento al que hayan sido sometidas antes de ponerse en contacto con las aguas superficiales.

- Las aguas residuales domésticas contienen principalmente papel, jabón, orina, heces y detergentes. Los residuos industriales son variados y dependen de los procesos específicos de las industrias que los originan.
- Los contaminantes pueden encontrarse en el agua en diferentes estados. Pueden estar disueltos o en suspensión, lo que significa que se encuentran en forma de gotas o de partículas. Los contaminantes también pueden estar disueltos en gotas o absorbidos por partículas. Todos los estados de los contaminantes pueden desplazarse grandes distancias en el agua de maneras diferentes.

1.6.3 Respuesta de los organismos vivos ante los contaminantes del agua y sus efectos nocivos.

Cuando la contaminación entra en el cuerpo de un organismo provoca una serie de cambios. Estos cambios pueden o no servir para proteger al organismo contra efectos dañinos. La primera respuesta de un organismo contra los contaminantes es la puesta en acción de un mecanismo protector. En la mayoría de los casos estos mecanismos mantienen la destoxificación de los contaminantes, pero en algunos casos producen sustancias activas que pueden causar más daño a la célula que el contaminante original.

Otra respuesta es la de reducir la disponibilidad de los contaminantes enlazándolos a otra molécula, para excretarlos o almacenarlos.

Junto con los mecanismos protectores, un organismo también puede poner en acción un mecanismo que repare el daño causado por los contaminantes.

De acuerdo con lo expresado en el sitio (<http://www.lenntech.com>) “las respuestas a la toxicidad y la absorción de los contaminantes no sólo dependen del contaminante que entre en el cuerpo de los organismos, sino también del tipo de organismo en cuestión”.

Entre los efectos nocivos para organismos, poblaciones y ecosistemas se destacan los siguientes según el sitio: (<http://www.sagan-gea.org>).

- Perjuicios a la salud humana (intoxicaciones, enfermedades infecciosas y crónicas, muerte).
- Daños a la flora y fauna (eutroficación, enfermedad y muerte).
- Alteraciones de ecosistemas (erosiones, eutroficación, acumulación de compuestos dañinos persistentes, destrucción).
- Molestias estéticas (malos olores, sabores y apariencia desagradable).

1.7 Depuración de las aguas residuales.

La mayoría de los vertidos de aguas residuales que se hacen en el mundo no son tratados. Simplemente se descargan en el río, mar o lago más cercano y se deja que los sistemas naturales, con mayor o menor eficacia y riesgo, degraden los desechos de forma natural. En los países desarrollados una proporción, cada vez mayor, de los vertidos es tratada antes de que lleguen a los ríos o mares en las así denominadas “EDAR” (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales). (<http://www1.ceit.es>)

El tratamiento de las aguas residuales tiene como objetivo reducir la carga de contaminantes del vertido, convertirlo en inocuo para el medio (disposición segura) y obtener una corriente adecuada para el uso o reciclaje.

Para cumplir estos fines se usan distintos tipos de tratamiento dependiendo de los contaminantes que arrastre el agua y de otros factores más generales, como localización de la planta depuradora, clima, ecosistemas afectados, etc.

1.7.1 Tipos de tratamiento.

Existen distintos tipos de tratamiento de las aguas residuales para lograr reducir los contaminantes. Se pueden usar desde sencillos procesos físicos como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo por gravedad, hasta complicados procesos químicos, biológicos o térmicos. Entre ellos, de acuerdo con lo planteado en trabajos publicados en el

sitio (<http://www1.ceit.es>) y (Muñoz, H.1992,Ramírez, C. 1992) los más usuales son los siguientes:

Físicos.

- ✓ Sedimentación.
- ✓ Separación -con el empleo de cámaras de reja, trampas de grasa, etc.
- ✓ Flotación.- Natural o provocada con aire.
- ✓ Filtración.- Con arena, carbón, cerámicas, etc.
- ✓ Evaporación.
- ✓ Adsorción.- Con carbón activo, zeolitas, etc.
- ✓ Desorción (Stripping). -Se transfiere el contaminante al aire (ej. amoníaco).
- ✓ Extracción.- Con líquido disolvente que no se mezcla con el agua.

Químicos.

- ✓ Coagulación-floculación.- Agregación de pequeñas partículas usando coagulantes y floculantes (sales de hierro, aluminio, polielectrolitos, etc.)
- ✓ Precipitación química.- Eliminación de metales pesados haciéndolos insolubles con la adición de lechada de cal, hidróxido sódico u otros que elevan el pH.
- ✓ Oxidación-reducción.- Con oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ozono, cloro, permanganato potásico, o reductores como el sulfito sódico.
- ✓ Reducción electrolítica.- Provocando la deposición en el electrodo del contaminante. Se usa para recuperar elementos valiosos.
- ✓ Intercambio iónico.- Con resinas que intercambian iones. Se usa para quitar dureza al agua.
- ✓ Ósmosis inversa.- Haciendo pasar al agua a través de membranas semipermeables que retienen los contaminantes disueltos.

Biológicos.

- ✓ Usan microorganismos que se nutren con diversos compuestos de los que contaminan las aguas. Los flóculos que se forman por agregación de microorganismos son separados en forma de lodos.

- ✓ Lodos activos.- Se añade agua con microorganismos a las aguas residuales en condiciones aerobias (burbujeo de aire o agitación de las aguas).
- ✓ Filtros bacterianos.- Los microorganismos están fijos en un soporte sobre el que fluyen las aguas a depurar. Se introduce oxígeno suficiente para asegurar que el proceso es aerobio.
- ✓ Biodiscos.- Intermedio entre los dos anteriores. Grandes discos dentro de una mezcla de agua residual con microorganismos facilitan la fijación y el trabajo de los microorganismos.
- ✓ Lagunas aireadas.- Se realiza el proceso biológico en lagunas de grandes extensiones.
- ✓ Degradación anaerobia.- Procesos con microorganismos que no necesitan oxígeno para su metabolismo.

1.7.2 Requisitos del tratamiento.

Los requisitos que deben cumplir todos los tratamientos de residuales son los siguientes según **(Díaz, B.R. 1987)**:

- ✓ Ser efectivos en la remoción de materia orgánica.
- ✓ Ser relativamente económicos en lo referente a los costos de inversión.
- ✓ Ser energéticamente aceptables.
- ✓ No deben aportar impurezas adicionales al agua tratada.

1.8 Niveles de tratamiento.

El proceso final del tratamiento de las aguas servidas, con objeto de su depuración, se efectúa en plantas cuyas características son variables.

Cualquier análisis que se realice debe tener presente que según lo reflejado en el sitio (<http://www.ilustrados.com>) “la operación de eliminación de las impurezas se dificulta por encontrarse parte de ellas en solución y otras en suspensión, en forma de sólidos que pueden ser sedimentables”.

El tratamiento de las aguas servidas debe estar equilibrado con la pureza de las aguas receptoras para que el proceso sea económico y razonable.

Las aguas residuales se pueden someter a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación que se quiera. Es tradicional hablar de tratamiento primario, secundario, etc, aunque muchas veces la separación o la diferenciación entre ellos, no es totalmente clara.

Sin embargo de forma general se pueden distinguir las siguientes etapas:

1.8.1 Pre-tratamiento.

Es un proceso en el que usando rejillas y cribas se separan restos voluminosos como palos, telas, plásticos, etc. Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales, y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación (<http://www1.ceit.es>)

1.8.2 Tratamiento primario.

El tratamiento primario consiste en la eliminación directa mediante desarenadores o filtros, de los sólidos en suspensión, y es complementado con tanques sedimentadores digestores, cuyos diseños son muy variados siendo el más común, el denominado tanque Imhoff que consta de dos cámaras:

- *Cámara sedimentadora.* Por la cual pasan las aguas servidas a poca velocidad permitiendo el asentamiento o sedimentación de la materia en suspensión. El fondo está compuesto por dos losas inclinadas que dejan un espacio en la parte inferior para que los sólidos asentados pasen a la cámara inferior aislando los malos olores provenientes de la digestión anaeróbica que se realiza en dicha cámara.
- *Cámara digestora.* Según (<http://www.ilustrados.com>), esta cámara no es más que el recinto inferior en el cual se desarrolla la descomposición anaeróbica de la materia sedimentada. El piso forma una tolva en la cual se acumulan y de la cual se extraen los lodos ya digeridos que serán

depositados en plazas de secado para su acondicionamiento o eliminación. Se plantea además en el sitio (<http://www1.ceit.es>), que en este tipo de tratamiento se hacen sedimentar los materiales suspendidos usando tratamientos físicos o físico-químicos. En algunos casos dejando, simplemente, las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o, en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua contenida en estos grandes tanques, sustancias químicas quelantes que hacen más rápida y eficaz la sedimentación.

- *Cámara de arena.* En el pasado, se usaban tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras estaban diseñadas de modo que permitieran que las partículas inorgánicas de 0,2 mm o más se depositaran en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continuaban su recorrido. Hoy en día las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar los laterales cónicos por su parte interior. Se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0,08 a los 0,23 m³ por cada 3,8 millones de litros de aguas residuales.
- *Sedimentación.* Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se colectan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO₅ y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión. La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial incorporando los llamados procesos de coagulación y floculación químicas con la adición de productos auxiliares al tanque de sedimentación. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de

modo que se adhieren los unos a los otros formando agregados cuya densidad supera a la del líquido en el cual se encuentran suspendidos razón por la cual finalmente precipitan, este proceso tiene como requerimiento un bajo nivel de agitación mecánica y según el caso ninguno. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión.

- *Flotación.* Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación: en la que se alimenta aire a presiones entre 1.75 y 3.5 Kg. por cm², lo que provoca la ascensión de las burbujas de aire y hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. El agua residual, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión.**(Degremont, 1979)**
- *Digestión.* La digestión es un proceso microbiológico que convierte el lodo, orgánicamente complejo, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus. Las reacciones se producen en un tanque cerrado o digestor, y son anaerobias, esto es, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones. En primer lugar, la materia sólida se hace soluble por la acción de enzimas. La sustancia resultante fermenta por la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético. Entonces los ácidos orgánicos son convertidos en metano y dióxido de carbono por las bacterias. Se añade lodo espesado y calentado al digestor tan frecuentemente como sea posible, donde permanece entre 10 y 30 días hasta que se descompone. La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre un 45 y un 60 por ciento.

- *Desecación.* El lodo digerido se extiende sobre lechos de arena para ser secado al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la desecación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena de los efectos climáticos generadores de fuertes precipitaciones. El lodo desecado se usa sobre todo como acondicionador del suelo y en ocasiones como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y un 1% de fósforo según los reportes de aplicación. (<http://www.estrucolan.com.ar>) & (Degremont.1979)

1.8.3 Tratamiento secundario.

A diferencia de lo que ocurre con los tratamientos primarios, en este caso se eliminan las partículas coloidales y otras similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. El proceso secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que las bacterias aerobias digieran la materia orgánica portadas por las aguas.

Este proceso se suele materializar llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistemas de burbujeo o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene muchas menos impurezas. (<http://www1.ceit.es>)

El tratamiento secundario de las aguas residuales comprende, según (<http://www.monografias.com>), una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas, el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en CO₂ y

gas metano, este último se puede separar y utilizar como una fuente de energía. Debido a que ambos productos finales son volátiles, el efluente líquido ha disminuido notablemente su contenido en sustancias orgánicas. La eficiencia de un proceso de tratamiento se expresa en términos de porcentaje de disminución de la DBO₅ inicial.

Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO₅ por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. 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. El tratamiento puede, aunque ello parezca una contradicción según puede verificarse en el sitio (<http://www.estrucolan.com.ar>) dar origen a la producción de materia orgánica nueva como resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, por esta razón debe tenerse presente la necesidad de eliminar por métodos físico químicos o combinados la presencia de esta antes de descargar el agua en el cauce o cuerpo receptor finalmente seleccionado. Las aguas provenientes del proceso de tratamiento primario requieren una depuración posterior mediante métodos de aireación, para ello son empleados los siguientes métodos:

- *Sistema de lodos activados.* El desagüe proveniente de la cámara sedimentadora-digestora se introduce en tanques de aireación en los cuales se produce la sedimentación de los lodos junto a un proceso de aireación intensa. Los lodos que sedimentan se denominan lodos activados debido al proceso de aireación de las aguas residuales, conteniendo las bacterias aeróbicas. Los lodos se extraen por eyección recirculándose en parte hacia el tanque de aireación y la cámara de digestión primaria a fin de activar la depuración. Los líquidos

biodegradados en este tratamiento secundario se desinfectan en un recinto con cloro. **(Chudoba, J.1986)**

- *Sistema de filtros de drenaje.* El tratamiento primario es igual al anterior, pero en el secundario los líquidos se esparcen sobre una superficie de filtros de mantos de piedra en la que se forma barro gelatinoso. Las bacterias se desarrollan en ella y efectúan un proceso intenso de descomposición bioquímica de las sustancias, que componen el lodo.
- *Lagunas de estabilización.* Según el sitio (<http://www.ilustrados.com>) & **(Contaminación, 1999)**, en estos estanques ocurren procesos de tipo físico, químico y biológico, que promueven la sedimentación y digestión de los sólidos, así como la remoción de la materia orgánica y bacterias. La degradación de la materia orgánica, en general ocurre por vía microbiana en presencia de oxígeno, luego es un proceso típico aeróbico en gran parte de su volumen. En las capas profundas sin embargo ocurre la digestión anaeróbica de los sólidos sedimentados. Hoy en día se conoce que la simbiosis entre algas y bacterias (comensalismo), favorece los procesos de oxidación biológica. Por una parte ocurre la producción fotosintética liberando oxígeno y por otra parte se lleva a cabo la oxidación bacteriana. La reducción de bacterias en los estanques esta en función de: la temperatura, pH, oxígeno disuelto, nutrientes, radiación solar (especialmente radiación ultravioleta) y tiempo de permanencia (retención hidráulica). Según el funcionamiento, las lagunas pueden ser anaeróbicas, facultativas y aeróbicas o de maduración, en relación con el número de estanques se dividen en simples y compuestas, considerando su posición en el sistema, pueden ser primarias, secundarias y terciarias y de acuerdo a sus conexiones pueden operar en serie o en paralelo. La clasificación más importante se refiere a su funcionamiento. Existen varios tipos de lagunas como son: las lagunas aerobias, facultativas y anaerobias, reportándose para estas últimas % de remoción de hasta un 85%.

1.8.4 Tratamiento avanzado de las aguas residuales.

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos tales como: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. En la práctica resultan ser tratamientos más caros que los anteriores y se usan en casos más especiales: para purificar los desechos de algunas industrias, especialmente en los países más desarrollados, o en las zonas con escasez de agua que necesitan purificarla para volverla a usar como potable, en las zonas declaradas sensibles (con peligro de eutroficación) y en las que los vertidos deben ser bajos en nitrógeno y fósforo. A menudo se usa el término tratamiento terciario como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no es exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO₅ en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización, todo lo cual ha sido reportado en los sitios y que, en adición, puede considerarse como una alternativa de preservación ante la irracional actividad de contaminación del medio por los vertimientos de origen industrial (incluyendo la generadora de equipos y medios bélicos), de origen natural

(emanaciones de volcanes, etc) y los debidos a la propia actividad social. (<http://www1.ceit.es>) & (<http://www.estrucolan.com.ar>)

1.8.5 Implementación de plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales.

En los últimos años, el tratamiento de aguas residuales por medio de estanques con plantas acuáticas ha despertado un gran interés en los investigadores por el potencial que han presentado para la depuración de las mismas. Algunos de estos sistemas han logrado proporcionar un tratamiento integral, en donde no solamente se remueven eficientemente material orgánico y sólidos suspendidos sino que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y organismos patógenos. Estas características se pueden mejorar aún más, mediante la combinación con otras tecnologías, en sistemas integrados que permitan hacer uso eficiente de las ventajas que cada una ofrece para la solución de los problemas de contaminación, a costos accesibles para los usuarios. (**Caicedo, 1999**)

1.8.5.1 Tipos de plantas acuáticas.

Estas plantas, como su nombre lo dice, se desarrollan y crecen en medios muy húmedos o completamente inundados. Básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres y son afectadas fundamentalmente por los mismos factores ambientales (**Reed et al., 1995**).

Estas plantas acuáticas tienen tres categorías de clasificación:

➤ *Plantas acuáticas Flotantes.*

Las plantas acuáticas flotantes tienen sus partes fotosintetizadoras sobre la superficie del agua y sus raíces se extienden hacia abajo dentro de la columna de agua. Ellas toman el dióxido de carbono y el oxígeno de la atmósfera a través de sus hojas o fronda, y los nutrientes necesarios del agua por medio de sus raíces. Además de la función de absorción de nutrientes, las raíces sirven de medio de soporte para el crecimiento de bacterias, para la filtración y adsorción de sólidos suspendidos.

Las plantas acuáticas flotantes al cubrir la superficie del agua impiden la penetración de la luz, lo cual reduce el crecimiento de algas. Ésta es una de las principales diferencias entre una laguna convencional y una con plantas acuáticas flotantes. También se reduce la transferencia de oxígeno de la atmósfera al agua, y por lo tanto, las concentraciones de oxígeno en la laguna tenderán a ser bajas o cero, dependiendo de las condiciones de diseño del sistema y del tipo de planta que se esté utilizando. Las plantas pueden transferir oxígeno molecular al medio a través de sus raíces, por lo que las zonas cercanas a éstas pueden permanecer aeróbicas aunque el resto del sistema esté anaeróbico o anóxico.

Entre las plantas flotantes más comúnmente usadas para el tratamiento de aguas residuales están: el jacinto de agua, la lenteja de agua, la lechuga de agua y los helechos acuáticos.

➤ *Plantas acuáticas Sumergidas.*

Las plantas acuáticas sumergidas pueden estar flotando en el agua o estar enraizadas en el fondo de los estanques. La utilización de este tipo de plantas en el tratamiento de aguas residuales es limitada, puesto que la poca penetración de la luz en la columna de agua y las condiciones anaeróbicas que se pueden presentar inhiben su crecimiento.

➤ *Plantas acuáticas emergentes.*

Estas plantas crecen enraizadas en el fondo de los estanques y sus hojas sobresalen de la superficie del agua. Entre las más comunes se encuentran: el carrizo (*Phragmites*), los juncos (*Juncus*), y la espadaña (*Typha*), las cuales se encuentran ampliamente distribuidas por todo el mundo. Este tipo de plantas es más usada en los humedales artificiales, en los que se adiciona un medio de soporte para el enraizamiento de las mismas.

1.9 Caracterización de aguas residuales.

El diseño o selección de los sistemas de tratamiento dependerá en gran medida de las características de las aguas emitidas, la selección por tanto, para ser

efectiva, tiene como requisito que los resultados de caracterización estén avalados por procedimientos de buena práctica que, deben o tienen que responder a normas establecidas con carácter regional o internacional y que en una u otra forma aparecen reflejadas en la bibliografía. (<http://www.anam.gob.pa>).

El primer paso en cualquier diseño de un sistema de tratamiento de residuales lo constituye la caracterización del mismo; esta no es una tarea sencilla, pues acarrea un arduo trabajo de campo y laboratorio para lograr muestras representativas y análisis confiables.

La caracterización de un residual trae aparejada la determinación de su composición y de los flujos y concentraciones máximas, mínimas y medias del mismo; de aquí que una tarea de esta índole pueda llevar meses de trabajo, cuando se desee muestrear bajo diferentes condiciones climáticas y épocas del año. (Díaz, B.R. 1987)

1.9.1 Muestreo.

La acción de escoger muestras representativas de las condiciones del sistema con el propósito de examinar características del mismo, se denomina **muestreo**.

La toma de muestras debe ser efectuada por personal especializado del laboratorio autorizado o acreditado; y realizada en cada una de las descargas del establecimiento emisor donde se descarguen efluentes líquidos a los sistemas de recolección de aguas residuales, sean estas descargas mezcladas o no con residuos domésticos.

1.9.1.1 Número de muestras.

La forma y el número de muestras a tomar depende del tipo de descarga que se realice de los residuales, es decir si es homogénea o heterogénea.

Descargas homogéneas.

En cada día de control, y según el tipo de descarga, se debe:

- ✓ Descarga continua: Preparar una muestra compuesta de por lo menos 4 muestras simples tomadas a diferentes horas del día.

- ✓ Descarga discontinua: Preparar una muestra compuesta con los diferentes caudales vertidos. Para el cálculo deben considerarse ponderaciones por caudal.

En las muestras deben determinarse los parámetros correspondientes a las actividades del establecimiento emisor, más los parámetros potencialmente contaminantes correspondientes a la actividad; los cuales se utilizarán para monitorear la actividad y detectar cambios en los niveles de contaminación.

Descargas heterogéneas.

Para las descargas provenientes de actividades que generen dos o más tipos de efluentes líquidos, se debe aplicar lo indicado para descargas homogéneas a cada uno de los efluentes por separado.

1.9.1.2 Tipos de muestra.

Una muestra de agua se toma y analiza para proporcionarnos información del estado del sistema hídrico en el momento del muestreo, por lo que la representatividad de la toma de muestras es uno de los problemas principales en la caracterización de todo sistema. Una muestra no representativa puede conducir a resultados irreales sobre el tipo y cantidad de los contaminantes presentes y en definitiva a un conocimiento falseado de dicho sistema y sus condiciones.

La representatividad de la toma de muestras es uno de los problemas principales en la caracterización de todo sistema. Con relación a su representatividad, existen fundamentalmente dos tipos de muestras:

❖ Muestra simple.

Cada muestra simple deberá estar constituida por la mezcla homogénea de dos muestras de igual volumen, extraídas de la superficie y del interior de fluido, debiéndose observar las condiciones de colecta, tipo de envase, preservación y tiempo máximo entre la toma de muestra y su análisis.

❖ Muestra compuesta.

- ✓ Si la descarga dura 4 horas o menos, la muestra compuesta está constituida por una mezcla homogénea de 3 muestras simples.

- ✓ Si la descarga dura más de 4 horas, la muestra estará constituida por muestras simples obtenidas cada 2 horas.
- ✓ Las determinaciones de los sólidos totales disueltos, temperatura, conductividad y pH deberán ser realizadas en el terreno.

1.9.1.3 Lugar de muestreo.

El lugar de muestreo será una cámara o dispositivo especialmente habilitado para tal efecto, en donde concurren previamente mezclados, todos los líquidos provenientes del establecimiento emisor, ubicado entre el establecimiento emisor y el colector del servicio público. La cámara o dispositivo de control deberá ser habilitado por el establecimiento emisor, de tal forma que permita realizar sin dificultades el aforo o medición de los caudales descargados con un sistema universalmente aceptado para estos efectos. La autoridad competente se reserva la facultad de tomar muestras de control en lugares diferentes si así lo estima conveniente.

1.9.1.4 Conservación de las muestras.

Las muestras deben cumplir condiciones, en cuanto al tipo de envase, lugar de análisis, preservación, y tiempo. En la **Tabla 1.2** se observan las condiciones de conservación de las muestras, teniendo en cuenta los parámetros de control más comunes. **(APHA-AWWA-WPCF.1995)**

Tabla 1.2. Condiciones de conservación de muestras de los parámetros de control mas comunes.

Determinación.	Tipo de recipiente.	Precauciones.	Almacenaje.
Aceites y grasas	V (lavado con disolventes)	2-5° C	24 h
Color	P ó V	2-5° C, oscuridad	24 h
Conductividad	P	2-5° C	24 h
DBO	P ó V	2-5° C, en oscuridad	24 h
DQO	P ó V	H ₂ SO ₄ pH<2, oscuridad, 2-5° C	5 días
Dureza	P ó V	pH<2	24 h 1 mes
OD	-	in situ	-
pH	-	análisis «in situ»	-
Sólidos Sedimentables	P ó V	Preferiblemente análisis «in situ»	24 h
Sólidos Suspendidos	P ó V	-	

Temperatura	-	análisis «in situ»	-
Coliformes fecales MF	P ó VB	pH<7 Tiosulfato de sodio oscuridad, 2-5° C	24 h
Coliformes Sulfito- reductores MF	P ó VB	pH<7 Tiosulfato de sodio oscuridad, 2-5° C	24 h
Fósforo	V ó VB	Acidificar pH<2 con H ₂ SO ₄	24 h
P= plástico; V= vidrio; VB=vidrio de borosilicato			

1.9.2 Características fundamentales de los indicadores de la contaminación y sus impactos al medio ambiente.

La composición de las aguas residuales se determina con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO) y el pH (indicadores de la contaminación). A continuación se describen algunos de ellos y sus impactos.

Los **residuos sólidos** comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel de filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables (sedimentables) y no depositables (no sedimentables), dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora.

Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos (reflejando el contenido de materia biológicamente degradable) y los fijos materia inorgánica o mineral (que por lo general reclama procederes físico – químicos para su eliminación o reducción).

La **materia orgánica y el contenido típico en microorganismos**, se miden mediante los análisis DBO₅ y DQO.

- ✓ DBO₅ es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos, a lo largo de un período de cinco días, para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales, a una temperatura de 20 °C.

- ✓ DQO es la cantidad de oxígeno necesario, para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua.

La DQO es siempre superior al de la DBO₅ porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO₅ suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables sin tratar y tratadas, y su peso porcentual sobre la DQO suele emplearse como criterio de selección en cuanto al tipo de tratamiento a seguir. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. La DQO y la DBO₅ miden la materia orgánica presente en el efluente. A altas concentraciones ocurre la desoxigenación de ríos u otros cuerpos receptores.

El contenido típico en materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas.

El ***pH*** mide la acidez de una muestra de aguas residuales y según el tipo de residual y su procedencia e indica además la intensidad de acidez o alcalinidad del efluente (2-12.0). Estas variaciones afectan la vida acuática de las corrientes receptoras.

La determinación de la acidez volátil toma una gran importancia para el control de la operación de los digestores anaerobios aunque también suele emplearse en la caracterización de residuales. En este caso el análisis se utiliza junto con el de acidez total.

Existen además otros análisis que habitualmente se le realizan a las aguas residuales, como son los relacionados con su contenido en grasas, ácidos volátiles, detergentes, fósforo y oxígeno disuelto.

Los **aceites y grasas**, en concentraciones apreciables en los residuales puede causar gran cantidad de dificultades indeseables, tanto en las tuberías, válvulas, accesorios y bombas, como en los equipos de tratamiento primario y en las operaciones de tratamiento biológico; en esta última es especialmente dañina la

presencia de grasa en lodos activados y filtros percoladores. En los digestores anaerobios las grasas suelen acumularse en la superficie, formando una espuma indeseable.

El análisis de los **detergentes** suele realizarse a ciertos residuales durante su caracterización, así como a efluentes de plantas de tratamiento. La técnica se basa en añadirle a la muestra de residual una solución de azul de metileno, el cual reacciona con los agentes aniónicos tensoactivos (tanto ABS como LAS), formando un compuesto de color azul soluble en cloroformo y cuya intensidad es proporcional al contenido de tensoactivo. El método está sometido a interferencias por compuestos inorgánicos y orgánicos de variada procedencia.

El **fósforo** se presenta en los residuales líquidos solamente en forma de varios tipos de fosfatos fundamentalmente. Los fosfatos aparecen en los sedimentos de fondos y en lodos biológicos, tanto en forma orgánica precipitada como incorporados a compuestos orgánicos. Para liberar el fosfato de su combinación con la materia orgánica se requiere de una técnica de oxidación o digestión.

La determinación de **oxígeno disuelto** durante el tratamiento biológico y durante la realización del análisis de DBO a un residuo, es imprescindible; por tanto se debe contar con una técnica adecuada para determinar esta concentración. Una de las técnicas que comúnmente se emplean para esta determinación es el método de Winkler. (*Díaz, B.R. 1987*)

1.10 Vertimiento. Requisitos generales.

El vertido final del agua tratada se realiza de varias formas. La más habitual es el vertido directo a un río o cuerpo receptor. En aquellas partes del mundo que se enfrentan a una creciente escasez de agua, tanto de uso doméstico como industrial, las autoridades empiezan a recurrir a la reutilización de las aguas tratadas para rellenar los acuíferos, regar cultivos no comestibles, procesos industriales, recreo y otros usos.

Como alternativas ante la ausencia de tratamientos para las emisiones líquidas portadoras de agentes contaminantes se han empleado varias prácticas, sin embargo para evitar malos procederes, resulta importante tener en cuenta los

siguientes aspectos o requerimientos, los cuales fueron tratados en sitio (<http://www.anam.gob.pa>).

- ✓ No se acepta la dilución con aguas ajenas al proceso del establecimiento emisor como procedimiento de tratamiento de los efluentes líquidos, para lograr una reducción de cargas contaminantes.
- ✓ En caso de descargas discontinuas deberá utilizarse un sistema adecuado, a fin de regularizar el flujo.
- ✓ Los sedimentos, lodos, y/o sustancias sólidas provenientes de los sistemas de tratamiento de efluentes líquidos, no podrán disponerse en sistemas de recolección de aguas residuales para su disposición final. Deberá cumplirse con las reglamentaciones legales vigentes que regulen el manejo de lodos contaminantes.
- ✓ Todo establecimiento emisor, deberá entregar a la autoridad competente, un reporte trimestral con los análisis realizados, por un laboratorio autorizado o acreditado por la autoridad competente.

Conclusiones parciales.

1. Los problemas relativos a la contaminación de las aguas y a su purificación por diferentes vías, han sido ampliamente abordados en la bibliografía internacional, a partir de la cual puede concluirse que la dilución si bien permite aliviar los altos niveles o concentraciones de contaminantes en las aguas, no resulta ser en la práctica el procedimiento más económico.
2. Realmente existen varios sistemas para abordar la purificación de las aguas y aunque los autores no dan una solución general a esta problemática, es obvio que resulta imprescindible atacar la contaminación donde se origina y aprovechar durante el tratamiento la habilidad de

sistemas naturales para tal propósito, buscando en adición un determinado nivel de utilidad en el proceso.

Capítulo II: Análisis y consideraciones con vista a mejorar la eficiencia de la Planta de Tratamiento.

En este capítulo se procederá al análisis y al diagnóstico de cada una de las etapas que integran el sistema de tratamiento instalado y al de los posibles porcentos de remoción de materia orgánica, de acuerdo a lo reportado en la bibliografía general y de carácter específico consultada.

A partir de la valoración anterior se procederá al análisis de las deficiencias existentes en el sistema instalado, para poder tributar un efluente que reúna los requisitos mínimos establecidos por las legislaciones vigentes, y al planteamiento de otras labores de mantenimiento necesarias para lograr el funcionamiento pleno de la misma, valorando en adición los aspectos relacionados con la operación y control.

Se realizará y valorará desde el punto de vista técnico, la importancia que puede revestir el dotar a la planta de una etapa previa de recepción del residual para su estabilización y posterior alimentación a través de un flujo controlado tendiente a garantizar un proceso estacionario. Además se incluirán algunas alternativas de tratamiento que pueden contribuir a un mayor nivel de descontaminación de las aguas, con el posible empleo de plantas acuáticas de anclaje en el canal de salida, de modo que estas puedan ser vertidas directamente al río Ochoa o en dependencia de su calidad, desviarse para propósitos agrícolas.

2.1 Sistema de tratamiento instalado. Descripción y análisis de las etapas que lo integran.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que se encuentra ubicada en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, fue proyectada en el año 1964 para una población de 3500 habitantes. Los objetos de obra proyectados para el tratamiento del flujo de residual alimentado a la misma, fueron los siguientes:

1. Cámara de rejas.
2. Tanque Imhoff.
3. Filtro percolador.

4. Sedimentador secundario.
5. Estación de bombeo.
6. Lecho de secado.

Después de muchos años de explotación, esta planta se ha deteriorado y además no es capaz de satisfacer las necesidades existentes actualmente en la Universidad, debido a que la población se ha ido incrementando gradualmente, y por ende el flujo de residual emitido. A continuación se describen cada una de las etapas que integran el sistema de tratamiento instalado, el cual no funciona adecuadamente.

Cámara de rejas:



Figura 2.1. Cámara de rejas.

El afluente a la Planta de Tratamiento es recibido en una cámara de rejas, la cual está construida de hormigón armado, tiene forma octogonal y mide 3.15 m de largo por 1m de ancho (**Fig. 2.1**). La misma consta de una reja de 35 barras verticales, separadas 2cm entre sí, con una inclinación de 45° y ubicada a unos 0.80 m de la entrada. Este aditamento se utiliza para retener los sólidos gruesos existentes en el agua residual –entre ellos los de origen fecal–, y de esta forma facilitar la operación en las etapas posteriores, así como proteger las bombas, válvulas, conductos y otros elementos contra los posibles daños y obstrucciones

provocados por la presencia de tejidos y objetos de gran tamaño. El método utilizado para la limpieza de esta reja es manual.

Tanque Imhoff:



Figura 2.2. Tanque Imhoff.

El efluente líquido procedente de la cámara de rejillas pasa al tanque Imhoff (**Fig 2.2**). Este tanque es una unidad compuesta por dos cámaras de iguales dimensiones, donde se producen simultáneamente la sedimentación de los sólidos suspendidos y la digestión anaeróbica de los lodos digeridos. La zona de sedimentación está constituida por un canal rectangular por donde escurre el líquido hasta su salida. Mientras circula el líquido se separa la fase sólida que sedimenta y pasa al sector de digestión, a través de orificios en el fondo del canal. El canal tiene dos sectores: el superior de sección rectangular (8.20 m) y el inferior de sección triangular con 3.50 m de profundidad, en cuyo vértice se encuentran los orificios de salida de los sólidos sedimentados. El lodo que se concentra en la tolva se extrae periódicamente por un registro de 1m² de longitud y es transportado por gravedad, mediante conductos circulares de 8

pulgadas y pendiente de 3%, al lecho de secado. Según (*Díaz, B.R. 1987*) y el sitio (<http://www.ujaen.es>), en el proceso de sedimentación primaria el porcentaje de remoción de materia orgánica debe oscilar entre un 20 y un 40%.

Filtro percolador:

El fluido líquido procedente del tanque Imhoff, conteniendo el material fino suspendido y en estado coloidal, es sometido a un tratamiento biológico en el filtro percolador (**Fig. 2.3**). Este equipo tiene la función de degradar biológicamente contaminantes presentes en el líquido cloacal, tanto en solución como en suspensión. En este sistema se distribuye el efluente primario (tratado en tanques Imhoff), sobre un medio filtrante de piedra gruesa, en forma de sombrilla cortada por el aire, para su oxigenación. El fluido líquido procedente del tanque Imhoff, conteniendo el material fino suspendido y en estado coloidal, es sometido a un tratamiento biológico en el filtro percolador.



Figura 2.3. Filtro percolador

Este equipo tiene la función de degradar biológicamente contaminantes presentes en el líquido cloacal, tanto en solución como en suspensión. En este sistema se distribuye el efluente primario (tratado en tanques Imhoff), sobre un medio filtrante de piedra gruesa, en forma de sombrilla cortada por el aire, para su oxigenación. Este medio filtrante es sumamente permeable, al cual los

microorganismos se adhieren y a su vez se filtra el agua residual. La película de microorganismos que se desarrolla sobre el medio filtrante estabiliza el contenido de materia orgánica. El filtro instalado es un depósito de hormigón armado, que posee cinco canales longitudinales de 20cm de ancho, 18cm de profundidad y separados entre sí a una distancia de 2.70m. El canal principal de alimentación al filtro está situado al centro y perpendicular a los canales de distribución, lo que permite la alimentación del líquido a todos o indistintamente a un grupo seleccionado. Cada canal instalado tiene 7 tubos de acero, espaciados equitativamente, encargados de lograr un esparcimiento del líquido en el aire antes de alcanzar el lecho filtrante, debido a que el fluido cae sobre un tubo empotrado y luego atraviesa el lecho. Dicho filtro posee 21m de largo por 15 de ancho, y se encuentra relleno de piedras y grava, sobre las cuales se vierte el efluente lo más uniforme posible. La grava se encuentra a 0.90m del extremo superior del tanque y tiene 1.90m de profundidad. EL filtro posee un sistema de desagüe inferior, en el cual se recoge el agua tratada y los sólidos biológicos que se han separado del medio, y son conducidos hacia el sedimentador secundario. Según los datos reportados en la bibliografía, vemos que la remoción en esta etapa puede alcanzar hasta un valor de 90%.

Sedimentador secundario:



Figura 2.4. Sedimentador secundario.

El sedimentador secundario tiene una longitud de 10m de largo y está formado por dos compartimientos de 2.45m de ancho cada uno, para un ancho total de 4.90m (**Fig. 2.4**). El efluente del sedimentador, es expedido hacia una zanja afluyente del Río Ochoa, por un tubo situado 25cm por debajo del nivel de rebozo del tanque. El lodo que se deposita en este tanque, debe ser periódicamente bombeado y conducido al lecho de secado. El porcentaje de remoción que se reporta en la bibliografía es de 20% (<http://www.uns.edu.pe>)

Lecho de secado:



Figura 2.5. Lecho de secado.

Los residuos sólidos se dirigen al lecho de secado (**Fig. 2.5**), en el que son distribuidos uniformemente. Estos equipos son tanques de profundidad reducida con arena y grava sobre drenes, destinado a la deshidratación de lodos por filtración y evaporación. Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados. El lecho instalado es de concreto y posee 10m de largo por 7m de ancho y consta de un canal de distribución central de 0.60m de ancho, situado a unos 3.20m del extremo lateral.

2.2 Diagnóstico y análisis de las insuficiencias existentes en el sistema de tratamiento instalado.

Cualquier análisis que se pretenda realizar, por breve que sea, tiene necesariamente que partir de la identificación del proceso que se desee analizar, de los fenómenos de naturaleza química, física y/o biológica que en este tengan lugar por un lado y por otro, del conocimiento de las características y posibilidades técnicas del equipamiento instalado, teniendo presente en adición, un conjunto de factores relacionados con el procedimiento operacional en el que, por supuesto, el factor humano tiene una alta incidencia en los resultados.

Partiendo de su concepción, debe exponerse que la actual planta de tratamiento de residuales líquidos fue proyectada en el año 1964 para una población estimada de 3 500 habitantes distribuida de la forma siguiente:

- Alumnos Becarios -----1 500
- Alumnos externos -----1 500
- Trabajadores docentes y auxiliares ----- 500

Aunque la planta se proyectó para 3 500 habitantes, resulta oportuno señalar, que en el año 1970 la red colectora de aguas residuales (**Anexo A, Fig. 2.6**), se concibió para el doble de la población considerada en su diseño original, lo que de por sí la sometería a una carga hidráulica que, por su magnitud, disminuiría a la mitad el tiempo de residencia, implicando ello que la misma vería reducida su capacidad depuradora, aún cuando en cada una de sus etapas, se logran determinados niveles de remoción de materia orgánica. El sistema colector de aguas, sin embargo, era objetivo desde el punto de vista de la proyección de matrícula y del necesario incremento en el resto de los trabajadores, pero no fue concebido para depurar o descontaminar (lo que no es su función) sino, simplemente, para coleccionar y transportar el fluido.

En el diseño original se consideró un aporte diario de 227 litros per cápita para los becarios y de 114 para los docentes y auxiliares, lo que permitió fijar el gasto de diseño en 567 000 l/d (567 m³/d).

Teniendo en cuenta los datos anteriores y el que posteriormente se ofrecerá, no es difícil percatarse del por qué se construyó una derivación de las aguas hacia una laguna situada en el área de Las Antillas, que, aunque considerada ineficiente, no es objeto de análisis en este trabajo. Baste señalar que, en el curso 2002-2003 el aporte residual de la beca y del hotel Los Sauces se estimó en unos 634 000 l/d, todo ello sin considerar el resto de las dependencias universitarias y que, el mal estado de las redes sanitarias y de distribución de agua potable provocan una pérdida de esta última (fijada en algunos trabajos relacionados con el tema aproximadamente en un 50 % de la que entra) que incrementa notablemente el caudal de residuos. Ello crea un alto nivel de

dilución que puede explicar, el por qué parámetros tales como la DQO y la DBO, se encuentran por debajo de los reportados para este tipo de residuos a escala internacional, pero que, incrementan el consumo de energía en el recinto universitario y por consiguiente el costo de transportación del agua para el uso deseado. Es técnicamente inapropiado disminuir los niveles de contaminación de un líquido residual con el empleo de agua potable, y económicamente es un absurdo. Todo ello impone la necesidad urgente de reparar las redes de suministro, y alejar cualquier posibilidad, de considerar un éxito la disminución del contenido de materia orgánica en el residual por esta vía, que no es un curso receptor de gran caudal, sino una fuente de suministro para el consumo social. En adición, cualquier sistema que se proyecte o diseñe para la Universidad, quedará sujeto a un cierto nivel de incertidumbre, dada en lo fundamental por las diferencias sustanciales que pueden existir de un curso escolar a otro, en función de los planes y estrategias que inciden directamente en el número de habitantes a considerar debido a la proyección de matrícula., lo que hizo que lo proyectado para el 1964 (3500 habitantes), fuera insuficiente en el curso 2002/2003 (más de 12000 habitantes), lo que impone un análisis previo con la institución y no obstante, ello estará en función de situaciones concretas, por lo demás específicas de la política del país.

Teniendo como complemento los aspectos señalados anteriormente, se realizará un análisis comparativo de las insuficiencias que presenta la planta de tratamiento de acuerdo con los objetos de obra que la componen. Para una mejor comprensión es preciso presentar la secuencia de etapas que conforman el sistema para asimilar y tratar el aporte previsto en su diseño original (567 m³/d).

Cámara de rejas: tiene la función de separar (por retención) los sólidos de diversa naturaleza arrastrados por las aguas (de tamaño macroscópico) y que, en un alto porcentaje están constituidos por materia orgánica de origen fecal según el horario considerado. Estos deben ser retirados manualmente del área, colectados y depositados para su posterior incineración. Por su naturaleza, que los convierten en portadores de microorganismos patógenos y otros

potencialmente peligrosos, las condiciones de trabajo deben ajustarse a un riguroso control sanitario, que en la actualidad no existe, y que puede afectar sensiblemente la salud de la actual operadora del sistema que, en adición, debe ser capacitada para que adquiera dominio de los riesgos y medidas de seguridad que es necesario tomar durante el desempeño de sus funciones.

Tanque Imhoff: construido de hormigón armado de forma rectangular y fondo en forma de tolva, está concebido como sedimentador primario en el que, el cieno acumulado en su parte inferior debe ser extraído por gravedad y transportado a través de conductos circulares de 8 pulgadas (200mm) de diámetro con una pendiente del 3 % hacia el lecho de secado para su posterior extracción. El efluente líquido del secadero será descargado hacia la línea conductora del efluente total del sistema.

Desde el punto de vista operacional y por el mal estado técnico de la instalación esto no se cumple en la planta de forma rigurosa, convirtiendo lo concebido en obra muerta.

Filtro percolador: de forma rectangular, siendo la alimentación distribuida de forma tal que no se vierta en forma de chorro sobre el balasto (cama de piedras que componen el filtro), sino en forma de sombrilla cortada por el aire para su oxigenación, lo que es una condición de los microorganismos aerobios encargados de llevar a cabo la transformación de la materia orgánica, esto ocurre porque ciertas bacterias presentes en el albañal, encuentran un medio favorable para su desarrollo y crecimiento en la materia orgánica adherida a la piedra, transformándola en sustancias más estables y de bajo poder contaminante. Los sólidos asentables serán retenidos en los intersticios del relleno y los coloides serán eliminados por la atracción física del material filtrante (adhesión).

El líquido percolado a través del filtro es colectado por un conjunto de tuberías que descargan por el fondo en el sedimentador secundario.

La condición de alimentación descrita para el filtro, no se cumple por el hecho de que los tubos de acero del mismo están rotos, o no existen en el lugar que

debían estar y cuando están, el mecanismo de distribución está ausente por faltarle la copa de recepción y esparcimiento del agua, que debe caer de la canal de distribución a través de tubos empotrados en ésta y que, en su mayoría tampoco existen, sin que tareas de mantenimiento hayan garantizado su reposición (en el año 1970 se realizaron señalamientos relacionados con la falta de mantenimiento a la planta).

Sedimentador secundario: también construido de hormigón armado en doble sección recibe por gravedad el efluente aportado por el filtro percolador y las partículas sólidas que escapan del filtro percolador se depositan en el fondo del mismo por gravedad, siendo el sobrenadante la corriente principal de salida o efluente del sistema de tratamiento en su conjunto. Si bien ello puede incrementar el costo de la operación debe valorarse en un futuro el empleo de agentes floculantes para incrementar la eficiencia en el proceso de separación de lodos y realizarse la cloración del efluente de salida de forma regulada para el control microbiológico, es decir, eliminar el contenido de coniformes los cuales no se eliminan con el tratamiento biológico.

Acoplada al sedimentador secundario existe una estación de bombeo totalmente destruida y cuya función radica en la extracción del lodo depositado en el fondo para evitar, que por acumulación se incorpore al efluente principal incrementando su poder contaminante.

Este cieno o lodo al ser extraído tiene como destino el lecho de secado y puede tener algún uso agrícola por su composición. En la práctica, no solo la estación de bombeo está destruida, sino que los conductos de salida del cieno hacia el lecho, también están en franco deterioro por la ausencia de mantenimientos y atención técnica a que se ha visto sometida la planta año tras año.

Lecho de secado: es de forma rectangular, está cubierto de hierbas y la canal de alimentación de lodo está prácticamente destruida por razones similares a las expuestas con anterioridad para las etapas consideradas en la secuencia de operaciones.

En adición a lo expresado, pero dirigiendo la atención al análisis de los riesgos y la seguridad durante la operación y control de los flujos de alimentación y salida de los diferentes objetos de obra, debe señalarse que todas las barandas de protección están destruidas y/o en situación tal, que no permiten el trasiego de forma confiable y segura durante la operación del sistema de control de la alimentación.

El efluente del sedimentador secundario por sus características, debía ser sometido, como al inicio, a un proceso de acabado por tratamiento de cloración, aspecto que tampoco se cumple en la actualidad y las aguas son descargadas directamente al río Ochoa que, por esta razón, aguas abajo debe ser objeto de chequeo y análisis con advertencias para las comunidades rurales que de sus aguas se sirven. Este chequeo no puede ser puntual en horario fijo, sino distribuido en un período de tiempo apropiado, de modo que puedan recogerse en los resultados, las incidencias del caudal en diferentes situaciones horarias, excluyendo aquellas derivadas de grandes crecidas por precipitaciones intensas.

El análisis (en síntesis) realizado permite concluir que, en la práctica, los residuos líquidos originados en el recinto universitario, aún cuando pasan en un por ciento dado por la planta, no reciben un tratamiento adecuado y pueden ser portadores de enfermedades y/o de agentes contaminantes de naturaleza variada, que pueden afectar la salud humana y el propio ecosistema del área de vertimiento con un impacto ambiental negativo.

Resulta conveniente volver a insistir en el hecho de que, en realidad, el flujo de aguas negras aportados por la UCLV no es invariable y aún cuando no exista el despilfarro actual de agua potable que incrementa su caudal (y el consiguiente costo sin respuesta productiva), estará en dependencia de la matrícula anual. Téngase presente que en la época que la población total era de 12 554 habitantes, el aporte en cuanto al flujo de residuales era de 2 044 000 l/d o sea 3 ó 4 veces superior a lo que la planta podía asimilar en operación normal de acuerdo con su diseño, todo ello sin entrar a considerar que la cultura en el ahorro de agua puede tener una incidencia positiva en los resultados finales y que, las normas de consumo asumidas por el proyecto podrían no tener una

correspondencia absoluta con las condiciones específicas del centro. Por otro lado la situación podría adquirir el carácter de crítica o peligrosa si, unido a los trabajos que se emprendan no se realiza un estudio detallado de estas aguas desde el punto de vista microbiológico, existiendo en el centro las instalaciones y el personal calificado para tal propósito o empeño.

2.3 Labores de mantenimiento. Propuestas.

La planta de tratamiento de residuales ubicada en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, actualmente no se encuentra operando de forma eficiente, debido a que fue diseñada para una capacidad muy por debajo de la que existe actualmente y además porque no se previó una programación adecuada del mantenimiento que se debía realizar. Por esta razón se hace necesario el planteamiento de propuestas con vista al mantenimiento para su posterior rehabilitación. A continuación se describen las mismas:

1. Colocación de los barrotes que faltan en la cámara de rejillas y proceder a la limpieza de la misma, con el objetivo de facilitar la operación.
2. Limpieza del depósito de sedimentación primario (tanque imhoff), para garantizar una eficiencia de remoción adecuada en esta etapa del tratamiento primario.
3. Instalación de los tubos de acero, encargados de distribuir el residual sobre el medio filtrante, así como de los tubos empotrados que reciben el agua residual formando una cortina, la cual es atravesada por el oxígeno disuelto en el aire.
4. Limpieza del sedimentador secundario e instalación la tubería que parte de este equipo hacia un registro que posteriormente alimenta el lecho de secado.
5. Extracción de todo el lodo acumulado en lecho de secado y disposición hacia un cuerpo receptor apropiado.
6. Instalación de la bomba para la impulsión del lodo desde el sedimentador secundario hasta el registro que alimenta el lecho de secado.

7. Instalación de las tuberías que se encuentran defectuosas tanto dentro de la planta como las que transportan el flujo de residuo hacia la Planta de Tratamiento.
8. Reparación de las barandas de los equipos instalados, que actualmente son un peligro para los operadores de la misma y que por su mal estado no permiten la adecuada seguridad durante su operación.
9. Garantizar la inocuidad del efluente entregado, teniendo en cuenta la colocación de depósitos con cloro para su dosificación en el efluente del sistema o realizar la siembra en el canal afluente al río con plantas acuáticas de anclaje (Junco o Macío), cuya habilidad natural para la descontaminación de aguas sucias ha sido reportada para completar el tratamiento, con lo que se minimizarán los riesgos de afectaciones negativas tanto a la salud humana como al medio ambiente.

2.4 Alternativa tecnológica para mejorar el sistema de tratamiento.

Después de analizar el sistema de tratamiento instalado y teniendo en cuenta que su diseño original hoy no responde a las expectativas de dicha instalación, se procedió a la realización de algunos cambios con el objetivo de mejorar las condiciones de entrada del residual, así como un control del exceso de flujo para evitar que los equipos operen por encima de su capacidad.

2.4.1 Etapa previa de recepción del residual, con un posterior control automatizado.

El flujo volumétrico que diariamente es alimentado a la Planta de Tratamiento, varía constantemente, lo cual depende fundamentalmente del horario de bombeo de agua hacia las diferentes instalaciones de la Universidad. Bajo estas condiciones es muy difícil o prácticamente imposible, utilizar procesos continuos de relativa complejidad.

Para solucionar esta situación se hace necesario incluir un tanque o una cisterna (tanque de compensación, compensador o ecualizador), el cual va a tener como objetivo recolectar los residuales que llegan a la planta y homogenizarlos. La mezcla del flujo de residual se puede realizar mediante la inyección de aire a razón de $0.01-0.015 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{minuto}$ o por agitación mecánica ($0.004-0.008 \text{ kW}/\text{m}^3$). Antes de la alimentación a los restantes equipos, el flujo se puede regular y las fluctuaciones de entrada al tanque pueden modularse y no se reflejarán con la misma intensidad sobre los equipos siguientes. Los tanques de compensación se diseñan, por lo general, con tiempos de retención entre 2-4 h, aunque en ocasiones y en dependencia de las circunstancias pueden ser mayores.

Sistema de control automatizado.

Con el objetivo de minimizar los problemas que puedan surgir en el tanque Imhoff se ha propuesto un sistema automatizado de Bypass (**Figura 2.7**). Este sistema se encargará de controlar el nivel del líquido en el tanque Imhoff, de forma tal que cuando alcance el límite de su capacidad, automáticamente se cierra la válvula y el excedente de líquido es enviado a la laguna de estabilización, para la remoción de la materia orgánica que lo acompaña.

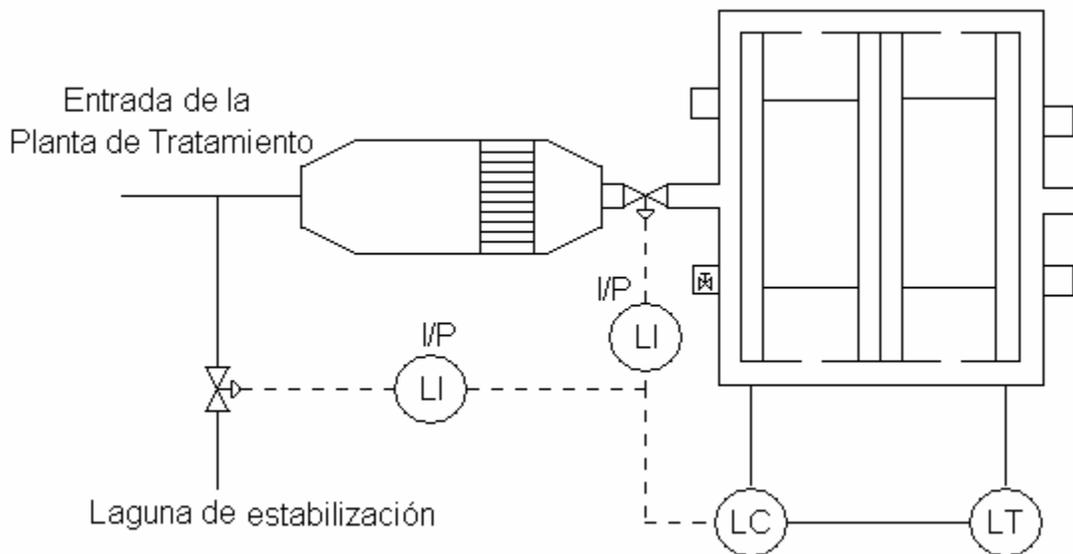


Figura 2.7. Control del flujo de alimentación a la Planta de Tratamiento.

Conclusiones parciales.

1. Existen deficiencias e insuficiencias en el sistema de tratamiento de los residuales líquidos instalado en la UCLV, lo cual no permite la realización de un tratamiento con calidad, para no afectar la composición del río Ochoa.
2. Las redes de distribución de agua potable se encuentran deficientes, por lo que el residual se ve afectado en sus características físico-químicas debido a la dilución que sufre antes de ser enviado a la Planta de Tratamiento.
3. Las redes de suministro de residuales a la instalación depuradora, así como las sanitarias y de alcantarillado se encuentran en mal estado, por lo que las mismas deben ser sometidas a un proceso de reparación y mantenimiento.

Capítulo III. Resultados y Análisis.

En este capítulo se realizará una discusión de las técnicas utilizadas durante la etapa de muestreo de los residuales procedentes del Comedor Central y de los afluentes a la Planta de Tratamiento, así como la estimación de los valores de flujo de ambas corrientes. Se incluirá la fundamentación de las técnicas analíticas empleadas así como un análisis de los resultados obtenidos, los cuales se compararán con los logrados el curso anterior, con los valores reportados en la bibliografía y con los determinados en el año 1970 cuando la planta trabajaba continuamente. Con estos valores del año 1970 se calcularán además los porcentos de remoción que originalmente se alcanzaron por etapas en la planta. Se realizará una valoración técnico-económica hasta llegar a la determinación del costo de rehabilitación de la estación de tratamiento, teniendo como objetivo principal la estación de bombeo.

3.1 Residual líquido. Caracterización.

Para realizar un estudio de los principales contaminantes que caracterizan un agua residual y poder tomar decisiones en cuanto a:

- Factibilidad de tratamiento.
- Adaptación de nuevas tecnologías.
- Aprovechamiento de residuos sólidos y sud-productos.
- Minimización de residuos, etc.

Es necesario realizar primeramente una caracterización de los residuales porque, la composición de los mismos depende del tipo de industria, y las variaciones están en dependencia de la tecnología empleada, materias primas, utilización de corrientes de desechos, etc. De aquí que sea prácticamente imposible generalizar.

3.2. Residual líquido. Salida del Comedor Central.

El muestreo y análisis deben incluir la capacidad de recolectar y analizar muestras de aguas residuales de tal modo que los resultados de los análisis de

laboratorio sean de alta calidad, que se puedan defender y que sean capaces de soportar las dos metas principales de un programa de pre-tratamiento.

La primera meta es **la determinación del efecto de los desechos**, en el sistema de recolección, tratamiento, la operación, la disposición de lodos (incluyendo su uso final) y la calidad del cuerpo de agua receptor.

La segunda meta es **evaluar el cumplimiento** normas de vertimiento y requisitos aplicables.

3.2.1. Muestreo.

El muestreo se realizó a la salida del comedor central una zanja de curso libre y superficial, según se muestra en la **Fig. 3.1**, donde se realizó una excavación de 20cm de profundidad para facilitar la toma de muestra. Ver diagrama del punto de muestreo (**Anexo C, Figura3.2**). **NOM – AA – 3 – 1980**.



Figura 3.1. Lugar donde se realizó el muestreo.

- **Tipo de mestra:** Compuesta, por 9 submuestras, tomadas cada 25 minutos, en un tiempo de 3.20 horas, en el horario comprendido entre las 10.30 am y las 2.30 pm, por un periodo de nueve días, no sucesivos. Cada día se realizaron mediciones in situ de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos totales disueltos (mg/L), pH y temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Las muestras se

colectaron en frascos adecuados para su conservación y traslado. Los resultados de las diferentes corridas realizadas se muestran el **(Anexo D)**.

➤ **Condiciones atmosféricas durante el muestreo.**

<u>Días</u>	<u>Condiciones atmosféricas.</u>
15-02-2005	Cielo despejado con sol. T °C promedio = 25 °C
16-02-2005	Cielo nublado. T °C promedio = 24.1 °C
22-02-2005	Cielo despejado con poco sol. T °C promedio = 24.5 °C
23-02-2005	Cielo nublado. T °C promedio = 24 °C
1-03-2005	Cielo nublado. T °C promedio = 24.8 °C
2-03-2005	Cielo despejado con sol. T °C promedio = 24.2 °C
8-03-2005	Cielo despejado con sol. T °C promedio = 26 °C
9-03-2005	Cielo despejado con sol. T °C promedio = 26.6 °C
15-03-2005	Cielo despejado con sol. T °C promedio = 26.6 °C

3.2.2 Estimación del flujo de residual procedente de la Tintorería y del Comedor Central.

En la tintorería son vertidos semanalmente alrededor de 9600 L de agua residual. Este valor concuerda con la norma de lavado vigente en el establecimiento, la cual es de seis lavados por semana, expulsando un volumen de residual de 1600L en cada uno. Según cálculos realizados y teniendo en cuenta que se trabajan 5 días por semana, se determinó que el flujo de efluente del establecimiento es de aproximadamente 1,92 m³/d. La caracterización de este efluente no se realizó debido a que el mismo se une con el procedente del comedor, conformando una corriente única de salida.

El flujo de residuales emitido por el Comedor Central no fue posible medirlo de forma exacta, debido a que la tubería encargada de transportar el mismo hasta la planta de tratamiento se encuentra quebrada; razón por la cual el vertimiento ocurre hacia una zanja, la cual no llega prácticamente al río y en su cauce forma un humedal. Fue necesaria la realización de una estimación del valor de flujo emitido, teniendo en cuenta el volumen que ocupan cada uno de los depósitos,

el flujo de cada una de las llaves que se encuentran en mal estado y las que no tienen problemas según el horario en que se utilizan y además estimando el valor de residuo vertido en el horario de limpieza. El valor de flujo estimado para este centro fue de $1.67 \text{ m}^3/\text{h}$, lo cual puede tener variaciones en función del tiempo de limpieza, frecuencia en la descarga de los tanques de fregado de bandejas, etc. Este valor unido con el residual procedente de la tintorería da como resultado $3.59 \text{ m}^3/\text{d}$ para 5 días de trabajo, siendo el flujo promedio para 7 días de $3.04 \text{ m}^3/\text{d}$.

3.3. Residual líquido. Afluente a la planta de tratamiento UCLV.

3.3.1. Muestreo.

- El muestreo se realizó según se muestra en la **Fig. 3.1**, a la salida de la cámara de rejas, para evitar contacto directo con los sólidos de gran tamaño presentes en el residual, los cuales no son objeto de estudio y entorpecerían los resultados. En el **Anexo E, Figura 3.4** se puede observar el diagrama del punto de muestreo.



Figura 3.3. Lugar de realización del muestreo.

- **Tipo de mestra:** Composta, por 9 submuestras, tomadas cada 25 minutos, en un tiempo de 3.20 horas, en el horario comprendido entre las 7.10 am y las 11.00 am, por un periodo de nueve días, no

sucesivos. Cada día se realizaron mediciones in situ de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos totales disueltos (mg/L), pH y temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Las muestras se colectaron en frascos adecuados para su conservación y traslado. Los resultados de las diferentes corridas realizadas se muestran el **(Anexo F). NOM – AA – 3 – 1980.**

➤ **Condiciones atmosféricas durante el muestreo.**

<u>Días</u>	<u>Condiciones atmosféricas.</u>
23-03-2005	Cielo despejado con sol. T $^{\circ}\text{C}$ promedio = 25 $^{\circ}\text{C}$
29-03-2005	Cielo despejado con sol. T $^{\circ}\text{C}$ promedio = 25 $^{\circ}\text{C}$
30-03-2005	Cielo despejado con sol. T $^{\circ}\text{C}$ promedio = 25 $^{\circ}\text{C}$
5-04-2005	Cielo nublado. T $^{\circ}\text{C}$ promedio = 24.5 $^{\circ}\text{C}$
6-04-2005	Cielo despejado con sol. T $^{\circ}\text{C}$ promedio = 25.5 $^{\circ}\text{C}$
19-04-2005	Cielo despejado con poco sol. T $^{\circ}\text{C}$ promedio = 24.2
20-04-2005	Cielo despejado con poco sol. T $^{\circ}\text{C}$ promedio = 24 $^{\circ}\text{C}$
4-05-2005	Cielo despejado con sol. T $^{\circ}\text{C}$ promedio = 25.6 $^{\circ}\text{C}$
5-05-2005	Cielo despejado con sol. T $^{\circ}\text{C}$ promedio = 25.6 $^{\circ}\text{C}$

En la estimación del aporte de agua de las diferentes facultades a la Planta de Tratamiento de residuales, se consideró, para los estudiantes (becados y externos) un gasto de 15 galones (aproximadamente un 26% del gasto de los estudiantes becados) y para los trabajadores lo concebido en el diseño original **(Oña V.V. & González D. 1970)**, en este caso 114 L por persona; lo cual aunque pueda estar por encima del aporte real, permite incluir el flujo emitido debido al mal estado de las instalaciones sanitarias y a los salideros existentes en las redes de suministro.

El aporte real debe determinarse, empleando un flujómetro y realizando mediciones sistemáticas durante 24 horas al menos durante dos semanas, para obtener un valor promedio. Este valor obtenido debe corregirse anualmente según las variaciones en la matrícula y en el total de trabajadores en cada una

de las áreas, teniendo en cuenta además las condiciones climatológicas (precipitaciones), por la incidencia que tienen sobre la eficiencia de la Planta de Tratamiento, debido al incremento de la carga hidráulica.

En el caso de los estudiantes y trabajadores becados se consideró lo relacionado en el diseño original (227 L). Este valor incluye el aseo personal, limpieza de cuartos, lavado y además el mal estado de las redes sanitarias y fuentes de abasto.

En el **anexo A** se pueden observar las áreas tributarias a la Planta de Tratamiento de acuerdo con el diseño original.

Al realizar los cálculos correspondientes (**Anexo G**) se llega a la conclusión de que el valor estimado del flujo de residuales que debe llegar a la Planta de Tratamiento es de $657.06 \text{ m}^3/\text{h}$, considerando el procedente del Comedor Central y la tintorería que deben tributar a la misma según (**Oña V.V. & González D. 1970**).

3.4 Procedimientos analíticos.

Cada una de las técnicas empleadas fueron realizadas por técnicos y especialistas pertenecientes al Centro de Estudio de la Química Aplicada (CEQA), según, ***Standard Methods for Water and Wastewater Examination. Edición N° 20. 1995***, y lo establecido en las normas vigentes en materia de aguas residuales. Los procedimientos analíticos empleados, así como su simbología, unidades de medición y fundamento de método son reportados en la **Tabla 3.1, Anexo H**. Los equipos y cristalería de medición utilizados en las determinaciones in situ y en el laboratorio, están debidamente verificados por la Oficina Territorial de Normalización (OTN) de Villa Clara, ya que dicho laboratorio se encuentra en proceso de acreditación por la norma NC- ISO 17 025.

Existen diferentes procedimientos analíticos capaces de determinar la composición de las aguas residuales, dentro de ellos tenemos los indicadores DBO_5 y DQO , los cuales determinan la materia orgánica presente en el efluente. La DBO_5 suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas

residuales municipales e industriales biodegradables sin tratar y tratadas, y su peso porcentual sobre la DQO suele emplearse como criterio de selección en cuanto al tipo de tratamiento a seguir. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. Hay además otros análisis como los son el pH, los sólidos totales, suspendidos, etc., que también merecen su importancia.

El *pH* determina la acidez de una muestra de aguas residuales y según el tipo de residual y su procedencia, indica la intensidad de acidez o alcalinidad del efluente (2-12.0). Estos cambios provocan afectaciones en las corrientes receptoras de aguas residuales. La determinación de la acidez volátil toma una gran importancia para el control de la operación de los digestores anaerobios aunque también suele emplearse en la caracterización de residuales.

El análisis de las *grasas y los aceites* presentes en las aguas residuales se hace necesario determinarlo ya que si son apreciables puede causar dificultades; tanto en las tuberías, válvulas, accesorios y bombas, como en los equipos de tratamiento primario y en las operaciones de tratamiento biológico; en esta última es especialmente dañina la presencia de grasa en los filtros percoladores.

La determinación del fósforo en las muestras se hace necesario ya que el mismo no es tóxico pero provoca crecimiento de plantas acuáticas y algas (ocurre la eutroficación cuando se rompe el equilibrio entre la fotosíntesis y la respiración aerobia).

La determinación de oxígeno disuelto durante el tratamiento biológico y durante la realización del análisis de DBO_5 a un residuo es imprescindible.

Existen otros análisis que es indispensable realizarlos, los relacionados con los sólidos presentes ya que estos pueden servir de criterio para determinar su calidad. A través de la determinación de los sólidos, tanto disueltos como suspendidos es posible estimar el contenido de todos los compuestos que acompañan el agua. La determinación de los sólidos suspendidos volátiles

reviste gran importancia pues habitualmente se considera como un estimador de los microorganismos presentes.

3.5 Análisis de los resultados.

Al analizar los resultados, se estudiaron los residuales procedentes del Comedor Central y los que conforman el afluente a la Planta de Tratamiento instalada; haciendo una comparación con los parámetros reportados en la bibliografía para el vertimiento de residuales domésticos. A continuación se presentan en la **Tabla 3.2** los valores especificados en la bibliografía, así como en las **Tablas 3.3 y 3.4** los valores promedios obtenidos del muestreo realizado a la salida del comedor central y a la entrada de la planta de tratamiento respectivamente. En ambos puntos de muestreo se realizaron 9 corridas con el objetivo de obtener valores significativos, ya que no fue posible la realización de una caracterización durante 24 horas y en un tiempo mayor. En la **Tabla 3.5** se presentan los valores promedio de los indicadores analizados en de ambos puntos de muestreo, con el objetivo de tener una noción de lo que sería alimentado a la planta de estar reparadas las redes de suministro de agua potable y de alcantarillado.

Tabla 3.2. Composición físico-química de los residuales domésticos sin tratar (todos los valores están en mg/L, excepto los sólidos sedimentables que se reportan en mL/L) según *Díaz, B.R 1987*.

Constituyentes	Concentración		
	Fuerte	Medio	Débil
Sólidos totales	1200	720	350
Sólidos disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	525	200	110
Sólidos suspendidos y totales	350	220	110
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables	20	10	5
DBO ₅ , 20	400	220	110
DQO	1000	500	250
Fósforo total:	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (CaCO ₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50

3.5.1. Residuos provenientes del Comedor Central. Resultados y análisis.

Tabla 3.3. Promedio de los análisis realizados a las aguas residuales a la salida del Comedor Central.

<i>Ensayo realizado.</i>	<i>Método utilizado.</i>	<i>Promedio.</i>
DQO (mg/L)	Dicromato.	1236,17
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	931,78
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	3,93
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	1649,11
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	767,67
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	885,89
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	441,56
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	272
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	169,56
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	729,89
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	26,61
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	7,53
Cloruros (mg Cl/L)	Volhart.	70,97
Conductividad (µS/cm.)	Electrométrico.	1457,13
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	0
pH (unidades)	Electrométrico.	5,81
Temperatura (°C)	Electrométrico.	28,46

Los residuales líquidos procedentes del Comedor Central se analizaron de forma general, ya que los resultados dependen en gran medida del horario escogido para el muestreo y el tipo de alimento procesado en este establecimiento. El muestreo se realizó sin tener en consideración las condiciones climatológicas y además teniendo en cuenta solamente lo acontecido en el horario de almuerzo, en el cual el caudal emitido representa una tercera parte del total diario, pero es a la vez un horario representativo por ser aquel en el cual se vierte uno de los mayores caudales de efluentes portadores de una carga contaminante cuyos niveles por indicadores se reflejan en la **Tabla 3.2**.

Al analizar los valores reportados de cada uno de los indicadores, se observa que el factor dilución en esta área no es tan elevado, ya que la mayoría de los resultados se encuentran cerca e incluso por encima de la categoría de fuertes. Estos valores obtenidos pueden también depender del lugar de muestreo, el cual está constituido por una zanja de curso libre, en la que son

arrastrados componentes que conforman el suelo y demás desechos que se encuentran en el curso, conformados por una combinación de heces fecales de ganado vacuno y otros que en determinadas condiciones pueden contribuir por retención a la purificación de las aguas al aportar bacterias y/o microorganismos anaeróbicos que favorecen la metanogénesis.

A pesar de que los valores reportados en su mayoría son elevados, cabe destacar que un reacondicionamiento de las redes de abasto de agua (tuberías, válvulas, etc.), minimizará el caudal del efluente y además, a pesar de que se entregará un residual con mayor nivel de contaminación, reportará beneficios económicos y medioambientales.

La relación entre la DBO₅ y la DQO (0.7) en esta corriente de residual, permite llevar a cabo sobre ella un tratamiento biológico, lo cual coincide con lo planteado por **(Oña V.V. & González D. 1970)**, al plantear en el diagrama de alcantarillado original **(Anexo A)**, que el efluente del Comedor Central debe ser enviado a la Planta de Tratamiento para la remoción de la materia orgánica presente en el mismo.

3.5.2. Afluente a la Planta de Tratamiento. Resultados y análisis.

Tabla 3.4. Análisis realizados al afluente de la planta de tratamiento.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Promedio.
DQO (mg/L)	Dicromato.	535,34
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	311,89
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0,033
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	673,33
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	366
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	307,33
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	148,44
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	141,78
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	6,44
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	478,88

Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	47,47
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	8,46
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	70,84
Conductividad (μS/cm.)	Electrométrico.	976,19
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	183,056
pH (unidades)	Electrométrico.	8,19
Temperatura (°C)	Electrométrico.	24,77

El análisis de los resultados obtenidos en la entrada de la Planta de Tratamiento, tiene necesariamente que realizarse de forma general, por cuanto los mismos están sujetos a variaciones puntuales que dependen en gran medida del comportamiento de la población universitaria y del propio quehacer del centro en los días de muestreo. El mismo se realizó sin recibir la influencia de las condiciones climatológicas adversas en los horarios de colecta, debiendo considerarse que por limitaciones materiales y de posibilidades analíticas, el horario para la conformación de las muestras estuvo restringido, colectándose en los frascos correspondientes las incidencias aproximadamente de un 20% de las actividades diarias. No se incluyó por no existir las condiciones para ello, el análisis microbiológico que, en adición, permitirá tener una visión más precisa de los riesgos de contaminación del río Ochoa.

No obstante al analizar los valores de algunos indicadores de contaminación se observa que las aguas del centro en su condición actual, afectadas por altos niveles de dilución, no alcanzan la categoría de fuertes, encontrándose mas bien (en los días considerados) oscilando entre las categorías de débiles a medias con tendencia a esta última.

Es obvio que con el acondicionamiento de las redes sanitarias y de suministro, que exceden los límites de este trabajo, se logrará por un lado minimizar las emisiones; lo que reportará beneficios económicos y energéticos al centro, contribuyendo a disminuir el impacto ambiental. Por otro lado ocurrirán incrementos en los niveles de los indicadores de contaminación de los residuales, que de hecho, pueden cambiar su categorización. Esto no debe constituir una preocupación en cuanto a la conveniencia, sino que se debe lograr

técnica y operacionalmente, una mayor efectividad en la explotación de los sistemas de tratamiento. El hecho de minimizar el caudal que tributan las diferentes áreas al sistema colector principal, permitirá un mayor tiempo de residencia en la planta de tratamiento actual y se necesitaría una relación área/volumen menor en el sistema de lagunas que se proyecte para asimilar y tratar el efluente que no pueda ser recepcionado por la planta, la cual pondría en práctica recibir el aporte de otras instalaciones no concebidas en su diseño original. Las relaciones entre la DBO₅ y la DQO en todos los casos, se ajustan a los requerimientos del tratamiento biológico.

3.5.3. Unión de las corrientes de muestreo. Análisis.

Tabla 3.5. Valor promedio de los indicadores analizados en ambos puntos de muestreo.

<i>Ensayo realizado.</i>	<i>Valor promedio.</i>
DQO (mg/L)	885,755
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	621,835
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	1,9815
Sólidos totales (mg/L)	1161,22
Sólidos totales volátiles (mg/L)	566,835
Sólidos totales fijos (mg/L)	596,61
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	295
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	206,89
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	88
Sólidos disueltos totales (mg/L)	604,385
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	37,04
Fósforo total (mg/L)	7,995
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	70,905
Conductividad (μS/cm.)	1216,66
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	91,528
pH (unidades)	7
Temperatura (°C)	26,615

El análisis de ambas corrientes de residual (Entrada de la Planta de Tratamiento y efluente del Comedor Central) se hace necesario hacerlo de forma conjunta debido a que la instalación fue diseñada para aceptar ese tipo de residuo, es decir, un afluente con elevada cantidad de materia orgánica y de sólidos en suspensión, entre otros; los cuales deben ser removidos por el equipamiento que se encuentra actualmente instalado. La unión de las dos corrientes de muestreo nos da como resultado un aumento gradual en la mayoría de los

indicadores reportados, los cuales se incrementan a su vez en dependencia de la relación de flujo. Los resultados se incrementan en gran medida porque la corriente más contaminante de las dos analizadas es la que corresponde a la salida del Comedor Central, a pesar de que estos valores están marcados por la gran dilución que sufre el residual antes de ser enviado a la estación depuradora. Este incremento en los valores reportados no debe ser considerado como un problema, sino como una posible solución a las deficiencias que se están presentando desde hace ya algún tiempo. Si se envía el residuo del comedor con su elevada carga contaminante hacia la instalación encargada de depurarlo, se evitará la destrucción del entorno de la UCLV por la formación de humedales y disminuirá en alguna medida la contaminación del río Ochoa el cual es víctima de la elevada carga orgánica que constantemente fluye hacia él sin recibir un tratamiento previo.

3.6. Propuesta para el tratamiento previo de los residuos del Comedor Central.

Según el proyecto de diseño original (1964), el sistema de alcantarillado de la Universidad, se concibió para asimilar los residuales procedentes del Comedor Central y de la Tintorería, por una red colectora con capacidad para el trasiego de una carga hidráulica superior a la que debía ser enviada hacia la Planta de Tratamiento para su purificación. Debido al contenido de aceites y grasas, y a la necesidad de eliminar estos residuos antes de alimentar este efluente a la estación de remoción; se propone la instalación de un tratamiento previo con doble objetivo, el cual tendrá las funciones de una cámara de rejillas y de una trampa de grasas. Se persigue con esta instalación eliminar los sólidos presentes en el residual para evitar posibles tupiciones en las tuberías encargadas de la transportación y además eliminar las grasas para evitar una posterior afectación, ya que estas forman una película sobre las rocas del filtro percolador, lo que imposibilita el intercambio de los microorganismos con la materia orgánica que acompaña el residual y por tanto disminuye la eficiencia en esta etapa.

Basado en la diversidad de soluciones que pueden darse de acuerdo con los aspectos antes manejados, es que la solución más sabia consiste en un *estudio de factibilidad* del sistema de tratamiento de residuales, bajo las premisas establecidas por la entidad, donde se evalúen diferentes alternativas de proyectos y en el que cualquier solución no convencional sea sometida a los ensayos escalonados requeridos para su validación industrial. De lo contrario, se estaría corriendo el riesgo de acometer una inversión, sin el aval técnico que garantice su funcionamiento adecuado. (Degremon.1979,Díaz. 1987, Ramírez. 1992, Muñoz. 1992.)

3.7 Comparación de los resultados actuales con los obtenidos en años anteriores, a la entrada de la planta de tratamiento.

Es un hecho conocido que los seres humanos en su actividad social, productiva e investigativa, generan residuos líquidos cuya naturaleza los hace portadores de sustancias químicas y orgánicas que, en dependencia de su concentración, pueden tener un mayor o menor impacto desde el punto de vista ambiental.

Tabla 3.6. Resultados de los análisis realizados en diferentes años, a la entrada de la Planta de Tratamiento.

<i>Indicadores.</i>	<i>Curso 69/70 (Oña V.V. & González D. 1970)</i>	<i>Curso 03/04 (Valls, F.Y 2004)</i>	<i>Curso 04/05</i>	<i>Valor medio.</i>
DQO (mg/L)	142,85	122,625	535,34	266,8
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	71,0	7,73	311,89	130,21
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	3,5	0	0	3,5
Sólidos sedimentables (mL/L)	-	0,3	0,033	0,17
Sólidos totales (mg/L)	570	360,5	673,33	534,5
Sólidos totales volátiles (mg/L)	-	191,5	366	278,75
Sólidos totales fijos (mg/L)	-	281,5	307,33	294,42
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	-	189	148,44	168,5
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	-	104	141,78	122,89
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	-	85	6,44	45,72
Sólidos disueltos (mg/L)	-	284	478,88	381,44
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	-	43,2	47,47	45,34
Fósforo total (mg/L)	10,4	25,885	8,46	14,9
Cloruros (mg Cl/L)	-	66,4	70,84	68,62
Conductividad (m _s)	-	ND	976,198	976,198
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	-	337,2	183,056	260,128
pH (unidades)	-	6,36	8,2	7,28

Temperatura (°C)	-	-	24,8	24,8
------------------	---	---	------	------

Para valorar el potencial contaminante de las aguas residuales objeto de estudio, teniendo en cuenta los patrones internacionales existentes, se presentarán y analizarán a continuación los resultados obtenidos para diferentes indicadores de contaminación, tomando como referencia los niveles reportados en la **Tabla 3.2**, los cuales fueron tomados de (**Díaz, B.R. 1987**). En la **Tabla 3.6** se presentan los resultados de los análisis realizados a la entrada de la Planta de Tratamiento en diferentes años.

En los análisis realizados en cada uno de los años, podemos observar que las relaciones entre la DBO₅ y la DQO en todos los casos, se ajustan a los requerimientos del tratamiento biológico, ya que se considera que en el curso 2003-2004 el valor reportado en la tabla 3.8 debe ser o tiene que ser para la DBO₅ de 77.3 en ves de 7.73 mg/mL, pues de no ser así, implicaría considerar a la Universidad como una industria química y ello ciertamente no es el caso, ya que por otro lado, no guarda correspondencia con el valor que se obtiene al analizar la relación entre el contenido total de sólidos volátiles y fijos. En el curso 2004-2005 la relación porcentual entre la DBO₅ y la DQO es superior al 50%, ya que el nivel de entrada a la planta de la DQO en el curso 1979-1970 es de 107 mg/L y no de 142.85 mg/L como puede verificarse en la tabla 3.9 en la que la diferencia de valores entre la entrada y la salida de la cámara de rejillas, puede atribuirse a un efecto de disolución de sólidos provocado por la manipulación que se realiza para retirar los mismos al ser retenidos en el sistema de barras verticales inclinadas, que componen la cámara de rejillas.

La rehabilitación de la planta y su correcto funcionamiento desde el punto de vista operacional permitiría obtener según se infiere un porcentaje de remoción cercano al 90%, una vez que el incremento observado a la salida del sedimentador secundario puede deberse a una incorrecta extracción o evacuación del lodo depositado en el fondo de este y que puede incorporarse por acumulación o mezclado a la corriente de rebozo o efluente final. Esto que puede mejorarse, con el empleo de agentes floculantes adicionados en la dosis adecuada a la corriente de entrada, sin que ello implique incrementos

significativos en el costo de operación de la planta, completando finalmente el tratamiento con la siembra de plantas acuáticas de anclaje en el canal de salida, basados en la habilidad natural de estas para llevar a cabo la purificación de las aguas, la cual ha sido comprobada internacionalmente existiendo varias referencias al respecto (**Reed S.C, et. al. 1995**) (**Caicedo, B.J.L. 2001**), para este tipo de residuales.

3.8 Determinación de la eficiencia de la Planta de Tratamiento en el curso 1969-1970.

En el Curso 1969-1970 la planta de tratamiento instalada actualmente trabajaba continuamente, pero no de forma eficiente; razón por la cual se realizó el muestreo en cada una de las etapas de la planta, obteniendo datos a la entrada y salida de los equipos instalados. Ver **Tabla 3.7**. Con esta información se realizó el cálculo del porcentaje de remoción en los equipos principales.

Tabla 3.7. Resultado de los análisis realizados en el año 1970.

<i>Indicadores.</i>	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4
DQO (mg/L)	107	142,85	67,68	51,19	53,74
DBO ₅ (mg/L)	59	71,0	34,8	18,45	22,95
Fosfato (mg/L)	-	10,4	5,6	6,5	6,0
Nitrógeno (mg/L)	-	5,2	4,5	4,2	4,0
pH (unidades)	8,1	7,2	7,6	7,9	7,8
Oxígeno disuelto (mg/L)	1,8	3,5	0,78	4,56	5,18
Sólidos Totales (mg/L)	603	570	448	285	170

X_0 : Entrada del residual a la cámara de rejillas.

X_1 : Entrada del residual al tanque Imhoff.

X_2 : Salida del residual del tanque Imhoff.

X_3 : Entrada del residual al sedimentador secundario.

X_4 : Salida del residual del sedimentador secundario.

Tabla 3.8 Remoción de las diferentes etapas.

<i>Equipo instalado.</i>	<i>% Remoción.</i>
--------------------------	--------------------

Tanque de sedimentación Imhoff.	52,62
Filtro percolador.	24,36
Sedimentador Secundario.	-4,98

Esta determinación nos permite demostrar que desde el año 1970 la Planta de Tratamiento ahora en estudio ya presentaba insuficiencias para lograr un efluente limpio de materia orgánica y de otras sustancias contaminantes.

Según los cálculos realizados, podemos observar que el porcentaje de remoción calculado para el tanque de sedimentación Imhoff, está por encima de los valores (20-40%) que se reportan en la bibliografía, lo cual nos indica que se removió más materia orgánica de la que se debía en esta etapa. En el caso del filtro percolador vemos que el resultado está muy por debajo de lo que realmente se puede remover, ya que en la bibliografía se reporta que este equipo puede eliminar hasta un 90 % de la materia orgánica presente en el residual. En el sedimentador secundario, este resultado puede estar dado, por un incompleto asiento de los sólidos contenidos en el residual procedente del filtro percolador, debido a la acumulación de lodo por deficiente extracción del mismo, lo que puede favorecer su arrastre en el efluente final. Esta deficiencia puede indicar la necesidad de emplear algún agente floculante o coagulante para favorecer la sedimentación en esta etapa final.

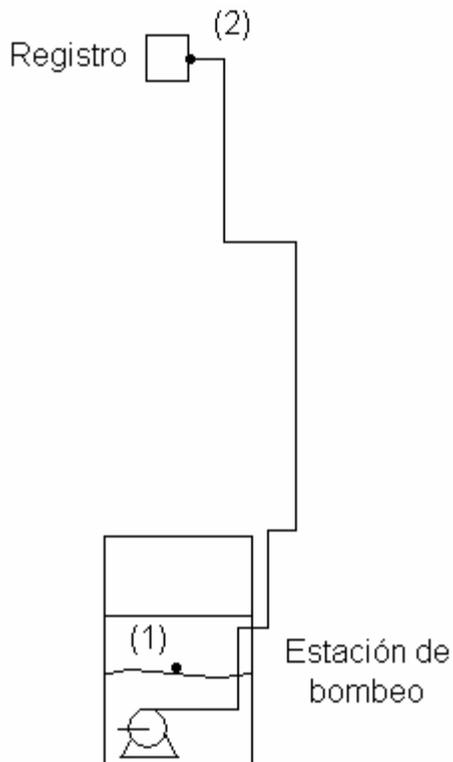
3.9 Análisis y cálculo para la rehabilitación de la Planta de Tratamiento de Residuales.

La rehabilitación de la Planta de Tratamiento instalada puede realizarse de dos formas fundamentales, o bien realizando una reparación capital de la bomba que existe actualmente o bien realizando los cálculos correspondientes y escogiendo una nueva bomba de acuerdo a las necesidades existentes actualmente.

El cálculo del costo de inversión y de operación para la rehabilitación de la Planta de Tratamiento de Residuales instalada en la Universidad Central, está enmarcado fundamentalmente en el costo de una bomba para la transportación del lodo desde el tanque de sedimentación secundario hasta un registro, el cual alimenta posteriormente el lecho de secado. En dicho cálculo se incluye además

el costo para la reposición de los tubos del filtro percolador, el costo de la tubería encargada de transportar el lodo hacia el lecho de secado, así como el de las cabillas a utilizar para la reparación de las barandas del tanque Imhoff y del filtro percolador.

Para el cálculo del costo de inversión de la bomba primeramente se calculó el consumo de potencia de la misma, partiendo del diámetro de la tubería de salida que va hacia el registro y de la distancia total de la tubería fundamentalmente **(Fig. 3.5)**. Esta determinación del costo no se realizó partiendo del volumen de lodo que debe bombear la misma porque para esto se debe hacer primeramente una prueba de sedimentación en probeta para determinar el volumen de lodo sedimentado por unidad de tiempo y luego extrapolarlo al volumen del sedimentador secundario, con el objetivo de determinar cada qué tiempo es necesario poner a funcionar la bomba para eliminar el lodo acumulado en dicho sedimentador. En los cálculos realizados se consideró principalmente lo relacionado con la estación de bombeo, por ser este el único equipo de la planta que necesita energía eléctrica y por ser uno de los más importantes. No fue posible la realización del cálculo del costo de operación de la planta en toda su totalidad, debido a que no se conoce por referencias anteriores el costo de la inversión inicial realizada; por lo que el costo de operación que se determinó, está referido a la extracción del lodo del sedimentador secundario.



Dicho cálculo se realizó de forma preliminar, con el objetivo de tener una idea general de la inversión que será necesario realizar para garantizar un funcionamiento adecuado de la misma. No fue posible un estudio más profundo debido al corto tiempo con el que se contó.

❖ Cálculo de la potencia de la bomba.

Figura 3.5. Esquema de la tubería encargada de transportar el lodo del sedimentador secundario hasta el registro.

Datos:

$$D_{EXT}=56 \text{ mm}=2.205 \text{ plg}$$

$$D_{INT}=1.9005 \text{ plg}=0.0483 \text{ m}$$

DI: diámetro interior de la tubería estandarizado por la tabla 10, apéndice, Rosabal T I.

$$DI=2.067 \text{ plg}=0.053 \text{ m}$$

$$L_t = \sum L = 45.4 \text{ m}$$

$$g=9.81 \text{ m/s}^2$$

$$z_1=1.50 \text{ m}$$

$$z_2= 3.80 \text{ m}$$

$$H = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \frac{\Delta \alpha v^2}{2g} + h_{p_{tubyacc}} \quad (1) \text{ Ecuación 7.2, página 242, Rosabal}$$

T I.

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = 3.80 \text{ m} - 1.50 \text{ m} = 2.30 \text{ m.}$$

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = 0 \quad P_1 = P_2 = P_{atm.} = 1 \text{ atm}$$

$$V_1=0$$

$v_2 = 2.5 \text{ m/s}$ Velocidad estimada, página 19, Pavlov.

$$v_2 = \frac{Q}{A_{\text{tubo}}}$$

Despejando:

$$Q = v_2 * A_{\text{tubo}} = v_2 * \frac{\pi * (DI)^2}{4} = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{3.14(0.053\text{m})^2}{4} = 5.5 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Re} = \frac{v_2 * DI * \rho_{\text{lodo}}}{\mu_{\text{lodo}}} \quad (2) \text{ Ecuación 2.9, página 35, Rosabal T I.}$$

La viscosidad del lodo depende del valor de la fracción volumen del sólido en una suspensión (φ).

$$\varphi = \frac{x * \rho}{\rho_P - (\rho_P - \rho)x} \quad (3) \text{ Ecuación 3.18, página 114, Rosabal T II.}$$

x: fracción masa de sólidos en una suspensión.

$$x=0.25$$

ρ_P : densidad de la partícula tomada de la tabla 10, apéndice. Rosabal T II.

$$\rho_P = 2.23 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2230 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

ρ : densidad del líquido (agua a 30°C)=995.7 kg/m³

Sustituyendo en la ecuación (3):

$$\varphi = \frac{0.25 * 995.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2230 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - (2230 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 995.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 0.25} = 0.13$$

$$\varphi \leq 0.3$$

$$\mu_{\text{lodo}} = \mu * \frac{0.59}{(0.77 - \varphi)^2} \quad (4) \text{ ecuación 9.10, página 276, Rosabal T II.}$$

μ : viscosidad del líquido (agua a 30°C).

$$\mu = 0.8 \text{cp} = 0.8 * 10^{-3} \text{Pa.s} \quad \text{Tomado de tabla 5, página 277. Rosabal T II.}$$

Sustituyendo en la ecuación (4):

$$\mu_{\text{lodo}} = 0.8 * 10^{-3} \text{ Pa.s} * \frac{0.59}{(0.77 - 0.13)^2} = 1.152 * 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

$$\rho_{\text{lodo}} = \frac{1}{\frac{x}{\rho_p} + \frac{1-x}{\rho}} = \frac{1}{\frac{0.25}{2230 \text{ kg/m}^3} + \frac{1-0.25}{995.7 \text{ kg/m}^3}} = 1155.61 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 5.6, página 156, Rosabal T II.

Sustituyendo en la ecuación (2):

$$\text{Re} = \frac{2.5 \text{ m/s} * 0.053 \text{ m} * 1155.61 \text{ kg/m}^3}{1.15 * 10^{-3} \text{ Pa.s}} = 133146.37$$

$\alpha = 1.1$ Figura 3.4, página 77 Rosabal T I.

$$\frac{\alpha v_2^2}{2g} = \frac{1.1 * (2.5 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.35 \text{ m}$$

$$h_{p_{\text{tubyacc}}} = \left(f \frac{L}{DI} + \sum K \right) * \frac{v_2^2}{2g} \quad (5)$$

De la tabla 9 pág. 281. Rosabal T I.

$e=1.7\text{mm}$ (tubo de hierro fundido usado). Tabla 9, página 281, Rosabal T I.

$$\frac{e}{D} = \frac{0.0017 \text{ m}}{0.053 \text{ m}} = 0.0321$$

$$f = f\left(\frac{L}{D}, \frac{e}{D}, \text{Re}\right) \quad \text{Ecuación 3.20, página 87, Rosabal T I.}$$

$f=0.059$ Figura 3.9, página 89, Rosabal T I.

Accesorios	Valor de K
Entrada-----	0,5
Salida-----	1
6 codos de 90°-----	4,5
Te estándar-----	0,4
ΣK-----	6,4

Sustituyendo en la ecuación (5):

$$h_{p_{\text{tubyacc}}} = \left(0.059 * \frac{45.4 \text{ m}}{0.053 \text{ m}} + 6.4 \right) * \frac{(2.5 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} = 18.14 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación (1):

$$H=2.30\text{m}+0.35\text{m}+18.14\text{m}=20.78 \text{ m}$$

$$N_{UTIL} = H * \rho * g * Q = 20.78m * 1155.61 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 5.5 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 1296W = 1.296kW$$

$$\xi = 0.60$$

$$N_{NOM} = \frac{H * \rho * g * Q}{\xi * 1000} = \frac{20.78m * 1155.61kg/m^3 * 9.81m/s^2 * 5.5 * 10^{-3} m^3/s}{0.60 * 1000} = 2.16kW$$

$$\beta = 1.5 \quad \text{Tabla 3.3, página 135, Rosabal T I.}$$

$$N_{INST} = N * \beta = 2.16 * 1.5 = 3.24kW$$

Selección del motor: Tabla 14 página 289, Rosabal T I

Escogimos motor con N=3.6kW

Motor trifásico de 220/440 V y 60Hz

Velocidades sincrónicas de: 1800 y 3600 rpm.

❖ Costo de Inversión del motor.

Figura 13.54 pág. 474 Peters (1967).

$$N = 2.16kW * \frac{10^3 W}{1kW} * \frac{1cab.fuerza}{745.7W} = 2.89cab.fuerza.$$

$$Costo_{67} = 140\$$$

$$I_{67} = 109.1 \quad \text{Tabla 3, página 100, Peters 1967.}$$

$$I_{2003} = 402 \quad \text{Chemical Engineering 2003, (www.che.com).$$

$$Costo_{2003} = Costo_{67} * \frac{I_{2003}}{I_{67}} = 140\$ * \frac{402}{109.1} = 515.86\$$$

$$C_{INVmotor} = 515.86\$$$

❖ Costo de la Inversión de la bomba.

$$Q = 5.5 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{1gal}{4.55L} * \frac{1h}{60min} = 72.53 gal/min$$

$$H = 20.78m * \frac{1pie}{0.3048m} = 68.18 pie$$

$$Costo_{67} = 500\$ * 1.50 = 750\$ \quad \text{Figura 13-40, página 465, Peters 1967.}$$

1.50: Este valor incluye los accesorios de la bomba para acero al carbono.

$$Costo_{ACT} = 750\$ * \frac{402}{109.1} = 2763.52\$$$

$$C_{INVbomba} = 2763.52\$$$

❖ Costo del equipo de bombeo.

$$C_{BOMBEO} = C_{INVmotor} + C_{INVbomba} = 515.86\$ + 2763.52\$ = 3279.38\$$$

❖ Costo eléctrico de la bomba.

$$Costo = 20.78kW * \frac{1kJ}{1kW * s} * \frac{1kWh}{3600kJ} * \frac{0.95\$}{1kWh} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1d} * \frac{31d}{1mes} * \frac{12mes}{1año}$$

$$Costo = 176247.65\$/año = C_{ELECT}$$

❖ Costo de la depreciación.

$$Costo = 10\% * C_{toInvers.Bomba} \quad \text{Tabla \#25 página 141, Peters 1967.}$$

$$Costo = 0.10 * 3279.38\$ = 327.94\$/a = C_{DEP}$$

❖ Costo de mantenimiento:

$$Costo = 2\% * C_{toInvers.Bomba} \quad \text{Tabla \#25 página 141, Peters 1967.}$$

$$Costo = 0.02 * 3279.38\$ = 65.59\$/a = C_{MYTTO}$$

❖ Costo de la mano de obra:

$$Costo = 10\% * C_{toInvers.Bomba}$$

$$Costo = 0.10 * 3279.38\$ = 327.94\$/a = C_{MO}$$

❖ Costo de la tubería que bombea el lodo.

$$D_{EXT} = 56mm * \frac{1plg}{25.4mm} = 2.205plg$$

Tabla # 10 página 281, Rosabal T-I

$$D_{EXT} = 2.38plg$$

$$D_{INT} = 2.067plg$$

$$D_{NOM} = 2plg$$

$$Costo_{67} = 0.70 \frac{\$}{pie} * \frac{1pie}{0.3048m} = 2.297 \frac{\$}{m}$$

$$Costo_{2003} = Costo_{67} * \frac{I_{2003}}{I_{67}} = 2.297 \frac{\$}{m} * \frac{402}{109.1} = 8.464 \frac{\$}{m}$$

$$Costo_{ACT} = 8.464 \frac{\$}{m} * 45.4m = 384.25\$$$

$$C_{TUBlodo} = 384.25\$$$

❖ Cálculo de los tubos utilizados en el filtro percolador.

En esta etapa contamos con un total de 35 tubos de acero al carbono, unidos por un reductor de campana.

➤ Tubos de diámetro exterior 44mm.

$$Long.Total = 35tubo * \frac{0.75m}{1tubo} = 26.25m$$

$$D_{EXT.} = 44mm * \frac{1plg}{25.4mm} = 1.73plg.$$

Tabla #10 página 281, Rosabal TI

$$D_{EXT}=1.90 plg.$$

$$D_{INT}= 1.61plg.$$

$$D_{NOM}=1.5 plg.$$

El costo de este tipo de tubería fue tomado de la figura 13.3, página 436, Peters 1967.

$$Costo_{67} = 0.62 \frac{\$}{pie} * \frac{1pie}{0.3048m} = 2.034\$/m$$

$$Costo_{2003} = Costo_{67} * \frac{I_{2003}}{I_{67}} = 2.034 \frac{\$}{m} * \frac{402}{109.1} = 7.49\$/m$$

$$Costo_{ACT} = 7.49 \frac{\$}{m} * 26.25m = 196.73\$$$

$$C_{TUB44mm} = 196.73\$$$

➤ Tubos de diámetro exterior 22.5mm.

$$Cantidadtotal = 35tubos * \frac{0.35m}{1tubo} = 12.25m$$

$$D_{EXT} = 22.5mm * \frac{1plg}{25.4mm} = 0.886plg$$

$$D_{EXT}= 1.05plg$$

$$D_{INT}=0.824 plg$$

$$D_{\text{NOM}} = 0.75 \text{plg}$$

$$\text{Costo}_{67} = 0.57 \frac{\$}{\text{pie}} * \frac{1 \text{pie}}{0.3048 \text{m}} = 1.87 \$/\text{m}$$

$$\text{Costo}_{2003} = \text{Costo}_{67} * \frac{I_{2003}}{I_{67}} = 1.87 \frac{\$}{\text{m}} * \frac{402}{109.1} = 6.89 \$/\text{m}$$

$$\text{Costo}_{\text{ACT}} = 6.89 \frac{\$}{\text{m}} * 12.25 \text{m} = 84.41 \$$$

$$C_{\text{TUB}22.5\text{mm}} = 84.41 \$$$

❖ Cabillas para las barandas de los equipos.

Se utilizaran barras de acero cuadradas de 12.7 mm y 7.9 Kg/m.

- Barandas para el tanque Imhoff.

	Longitud (m)
Horizontales-----	96,2

Verticales-----	102

Soportes-----	30

Total-----	228,2

- Barandas para el del filtro percolador.

	Longitud (m)
Horizontales-----	210
Verticales-----	220
Soportes-----	67,5
Total-----	497,5

Cantidad total a utilizar = 228.2m + 497.5m = 725.7 m = **726 m**

$$C_{\text{cabilla}} = 726 \text{m} * 410 \frac{\$}{\text{t}} * \frac{7.9 \text{kg}}{1 \text{m}} * \frac{1 \text{t}}{10^3 \text{kg}} = 2351.5 \$$$

❖ Costo de la cantidad de cemento a utilizar.

$$C_{CEM} = 10saco * 5.30 \frac{\$}{saco} = 53\$$$

C_{INV} : Costo de inversión.

$$C_{INV} = C_{BOMBEO} + C_{TUBlodo} + C_{TUB44mm} + C_{TUB22.5mm} + C_{cabilla} + C_{CEM}$$

$$C_{INV} = 3279.38 \$ + 384.25 \$ + 196.73 \$ + 84.41 \$ + 2351.5 \$ + 53 \$ = \underline{\underline{6349.27 \$}}$$

C_{OP} : Costo de operación.

CD : Costo directo.

CI : Costo indirecto.

$$C_{OP} = CD + CI$$

$$CD = C_{MITO} + C_{MO} + C_{ELECT} + C_{DEP}$$

$$CD = 65.59 \frac{\$}{a} + 327.94 \frac{\$}{a} + 176247.65 \frac{\$}{a} + 327.94 \frac{\$}{a}$$

$$CD = 176969.12 \frac{\$}{a}$$

$$CI = 15\% * C_{OP}$$

$$C_{OP} = C_{MITO} + C_{MO} + C_{ELECT} + C_{DEP} + 15\% C_{OP}$$

$$\underline{\underline{C_{OP} = 208198.96 \frac{\$}{a}}}$$

Tabla 3.9. Resumen de los costos.

Costos.	Resultado.
Costo de inversión del motor	515,86 \$
Costo de inversión de la bomba.	2763,38 \$
Costo de equipo de bombeo	3279,38\$
Costo eléctrico de la bomba	176247,65 \$/a
Costo de depreciación	327,94 \$/a
Costo mantenimiento	65,59 \$/a
Costo de mano de obra	327,94 \$/a
Costo de la tubería que bombea el lodo	384.25 \$
Costo de los tubos del filtro percolador:	196.73 \$
- 44 mm.	84.41 \$
- 22.5 mm.	
Costo de las cabillas (barandas del tanque imhoff y filtro percolador)	2351,5 \$
Costo del cemento	53 \$
Costo de inversión (referido al equipo de bombeo)	6349,27 \$
Costo de operación	<u>208198.96 \$/a</u>

Conclusiones parciales.

1. La obtención de las muestras de forma integral proporcional a un volumen dado para un tiempo prefijado, garantiza en ausencia de flujómetros que la misma sea portadora en su composición de las incidencias del área en el periodo seleccionado.

Conclusiones.

1. A los efectos de lograr el reconocimiento ambiental del centro, resulta imprescindible acometer el proceso de rehabilitación de la planta de tratamiento de residuales líquidos actualmente instalada en el recinto universitario.
2. Resulta impostergable acometer estudios encaminados a la reparación de las redes sanitarias y de suministro de agua potable en el centro por el efecto que tienen sobre la dilución de los residuos que somete la planta a una carga hidráulica superior a la considerada en su diseño original..
3. La Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas está siendo afectada en su gestión energética, por el elevado volumen de agua tratada para el consumo social, que actualmente y por diversas razones, está perdiendo su utilidad al ser incorporado a los efluentes de la Ciudad Universitaria.
4. La rehabilitación de la planta de tratamiento resulta factible tanto desde el punto de vista técnico como económico y debe acometerse en el menor plazo posible en paralelo con la capacitación del personal técnico que labora en la misma, implementando en ella medidas de seguridad, para disminuir las posibilidades de transmisión de enfermedades infecciosas.
5. Los residuos líquidos afluentes a la Planta de Tratamiento pueden clasificarse entre las categorías de medios a fuertes, si bien en ocasiones sus parámetros o indicadores de contaminación, alcanzan valores inferiores por efecto de la dilución extrema a que son sometidos (aproximadamente un 50 %).

Recomendaciones.

1. Para encontrar una solución factible de bajo costo y alta eficiencia relacionada con el tratamiento de los residuales líquidos en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, resulta imprescindible lograr una disminución drástica en el caudal de los mismos, a través de la reparación de las redes sanitarias en su origen, eliminando los salideros existentes.
2. Se propone la reparación de las redes de suministro de agua potable ya que, según trabajos realizados en el centro, por esta vía se pierde aproximadamente el 45 % de la misma y en alta proporción.
3. Se propone realizar el cálculo del costo de inversión y de operación para la posterior rehabilitación de la planta en toda su totalidad, teniendo como base los valores de eficiencia en cada uno de sus equipos.
4. Realizar una determinación real del flujo de aguas residuales que constantemente es alimentado a la Planta de Tratamiento así como del efluente del Comedor Central.
5. Realizar los análisis correspondientes (Prueba de Jarra), con vistas a mejorar la eficiencia de la Planta, fundamentalmente en el Sedimentador Secundario utilizando Sulfato de alúmina como agente coagulante.
6. Realizar el análisis microbiológico del efluente de la Planta de tratamiento por su importancia para valorar el aporte de agentes contaminantes de origen fecal al río Ochoa, lo que permitirá analizar la conveniencia o no de llevar a cabo la coloración.
7. Realizar determinaciones de nitrógeno total en el residual a la salida de la planta de tratamiento ya que un aumento del contenido en las aguas produce un crecimiento desmedido de algas y esto a su vez el proceso de eutroficación.

Bibliografía.

1. ALAERTS G.L. and AI, "Feasibility of anaerobic sewage treatment in sanitation strategies in developing countries", Wat. Sci. Tech., Vol.27 No 1, 1993.
2. APHA – AWWA – WPCF 1992. "Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales". 17 Edición.
3. Batista Silva, J.L. "Utilización actual de los recursos hídricos y la calidad ambiental". 2002. <www.mapinteractivo.com>
4. Bueno, J. "Contaminación e Ingeniería ambiental". España. 1996.
5. Caicedo, B.J.R. "Lenteja de agua para el tratamiento de aguas residuales. Factores ambientales y fisicoquímicos que afectan su crecimiento. 2001.
6. Calderón, C. Market Manager Mercado Aguas. "Etapas del tratamiento de aguas servidas". Hanna Chile Instruments. Santiago de Chile. Chile. Octubre, 2004. <www.hannachile.com/articulos/24/etapas-tratamiento-aguas-servidas.htm>
7. CEPIS/OPS. Opciones de tratamiento y disposición. 1997.
8. Cheremisinoff, Nicholas P. "Biotechnology for Waste and Wastewater Treatment. Noyes Publications". Westwood, New Jersey, U.S.A., 1996.
9. Chico, I & José M. "Inspección medioambiental de actividades industriales". Segunda Edición. Dykinson, 2000.
10. Chudoba J. "Fundamentos teóricos de algunos procesos para la purificación de aguas residuales". Editorial ISPAJE. Ciudad de La Habana, 1986.
11. Conil, Ph. "La utilización de los sistemas U.A.S.B. para el tratamiento anaerobio de las aguas residuales domésticas; un sistema innovador para reducir los costos de inversión y de operación de los países tropicales". Red Internacional BIOTEC. Cali, Colombia. 1996. <www.biotech.net/publicaciones/conil27.doc>
12. "Contaminación y gestión de residuos". Módulo de formación ambiental básica. CUB/98/G32 – CAPACIDAD 21.

13. Degremont. Water Treatment Handbook. Fifth Edition. Francia, 1979.
14. Díaz, B.R. Tratamiento de aguas y aguas residuales. Ciudad de la Habana. Cuba, 1987.
15. Echarri, P.L. "Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente". Ed. Teide, 1998.
<www1.ceit.es/Asignaturas/Ecología/Hipertexto/11CAgu/180Depur.htm#POBLACION#POBLACION>
16. Eckenfelder, W.W, "Electroplating and Related Metal Finishing". Ed. Mc Graw Hill, New York, USA, 1966.
17. Escobar, H. "Procesos físicos unitarios". Septiembre, 2003.
<www.ilustrados.com/publicaciones/EpyuZEkAyZAFkvyUYz.php>
18. Ferry Berro, C.C. "Cuba: manejo de residuales líquidos y evaluación del impacto ambiental". <www.bus.sld.cu>
19. Gómez Fernández, E. 1999. "Caracterización y depuración de aguas residuales". Sector Agrario (tecnología de bajo costo). Copelen, S.L. León, España.
20. Gómez, M.G. "Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias". Departamento de fenómenos de transporte. Marzo 2001.
<http://iq.coord.usb.ue/pdf/miniproyecto/ene-mar2001/dacamara_hern_paz.pdf>
21. Gordillo H, D. "Ecología y Contaminación Ambiental". Nueva Editorial Interamericana, S.A. México. 1995.
22. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. CITMATEL. Cuba. 2003.
<www.hidro.cu>
23. Jordão, E.P. & Sobrinho P.A. "Investigación y Experiencia con el Pos-Tratamiento para Reactores UASB en Brasil". Agua Latinoamérica. Noviembre-Diciembre 2004.
<www.agualatinoamérica.com/docs/PDF/111204%20Nivel%203.pdf>
24. Lettinga G. "Sustainable integrated biological wastewater treatment", Wat. Sci. Tech., Vol.33 No 3, 1996.

25. Martínez, D.L. & Pérez P.Y. "Evaluación del costo de rehabilitación de la planta de tratamiento de residuales de la UCLV". Trabajo de Curso. 2004.
26. Metcalf & Eddy, "Ingeniería de las Aguas Residuales". 3^{ra} Edición. Mc Graw Hill. México, 1996.
27. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. Republica de Cuba, Estrategia medio ambiental Nacional. Junio, 1997.
28. Ministerio de Comercio e Industrias. Dirección general de Normas y Tecnología Industrial. Reglamento técnico DGNTI-COPANIT 39-2000. 2000. <www.anam.gob.pa/pdf/dgnti-copanit%2039-200.pdf>
29. NC 93-00-001. "Sistema de Normas para la protección (SNPMA)".
30. NC 27:1999. "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado". Especificaciones.
31. NOM-AA-3-1980. "Aguas residuales. Muestreo". Norma Oficial Mexicana.
32. Norma Oficial Mexicana NOM – AA – 3 – 1980. Aguas Residuales. Muestreo.
33. Muñoz, H.A. "Depuración de aguas residuales ". Tercera Edición. Colección Senior número 9. Colección de texto. 1992.
34. Oña V. V. & González D. "Evaluación de la Planta Albañal de la UCLV". Trabajo de Producción. 1970.
35. Pavlov K.F, Romankuv P.G. & Noskov A.A. "Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en Tecnología Química". Editorial Mir. Moscú. 1981.
36. Perry, R. Chemical Engineer's Handbook. 2000.
37. Peters S.M. Plant Design and Economics for chemical Engineering, 1967.
38. Ramírez, C. "Tratamiento de aguas residuales industriales." UNUM. Colección de texto, 1992.
39. Ramírez, J.S. "Tratamiento de aguas. Tratamiento primario y parámetros hidráulicos". Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas. Escuela de Ingeniería Química. Biotecnología. <www.monografias.com/trabajos10/tratami/tratami.shtml>

40. Reed, S.C. et. Al. "Natural Systems for waste management and treatment". 2^{da} Ed. Mc Graw Hill. New Cork, 1995.
41. Rosabal V.J. & Valle M.M."Hidrodinámica y separaciones mecánicas". Ediciones ENPES. 1998.
42. Sánchez M. R. "Análisis de la factibilidad de los sistemas naturales de Tratamiento para aguas residuales de pequeñas comunidades. Aplicado en la Cuenca del Imbakucha (Lago San Pablo), Ecuador". Tesis para optar por el grado de Master en Ingeniería en Saneamiento Ambiental. 2001.
43. www.agua-dulce.org
44. www.che.com
45. www.dsostenible.com.ar/leyes/anexdec415cord.html
46. www.estrucolan.com.ar/Articulos/aguares.asp
47. www.estrucplan.com.ar/contenidos/EfluLiq/index.asp
48. www.ilustrados.com/publicaciones/EpyuZEkAyZAFkvyUYz.php
49. www.ilustrados.com/publicaciones/EpZpulFyEZTnartBZD.php
50. www.ingenieroambiental.com/inf/tratamientosindustriales.htm
51. www.lafactoriaweb.com
52. www.lennotech.com
53. www.monografias.com/trabajos10/tratamie/tratamie.shtml
54. www.monografias.com/trabajos11/ines/ines.shtml
55. www.sagan-gea.org
56. www.sesma.cl
57. www.ujaen.es/dep/ciesal/medprev_alumnos/29Eliminacion-aguas-solidos2.pdf
58. www.uns.edu.pe/civil/bv/descarga/reglamentos/s090.htm
59. Valls, F.Y. "Estudio y evaluación de focos contaminantes. Perspectivas para el tratamiento de residuales líquidos en la UCLV". Trabajo do Diploma. 2004.

60. Van Velsen A. & Wildschut I.R. "Anaerobic treatment of domestic sewage". Fifth International Symposium on Anaerobic Digestion, Bologna, Italy, May, 1988.
61. Zaror, Z.C.A. "Introducción a la Ingeniería Ambiental para la industria de Procesos". Diciembre, 2000.

Anexo A.

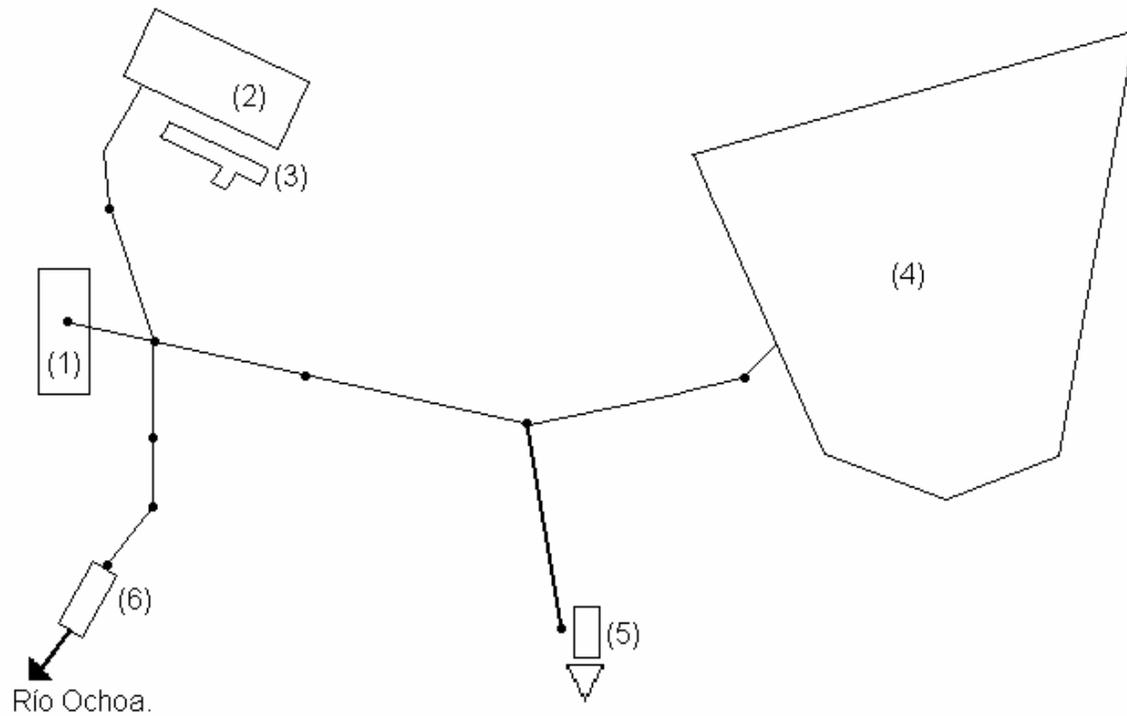


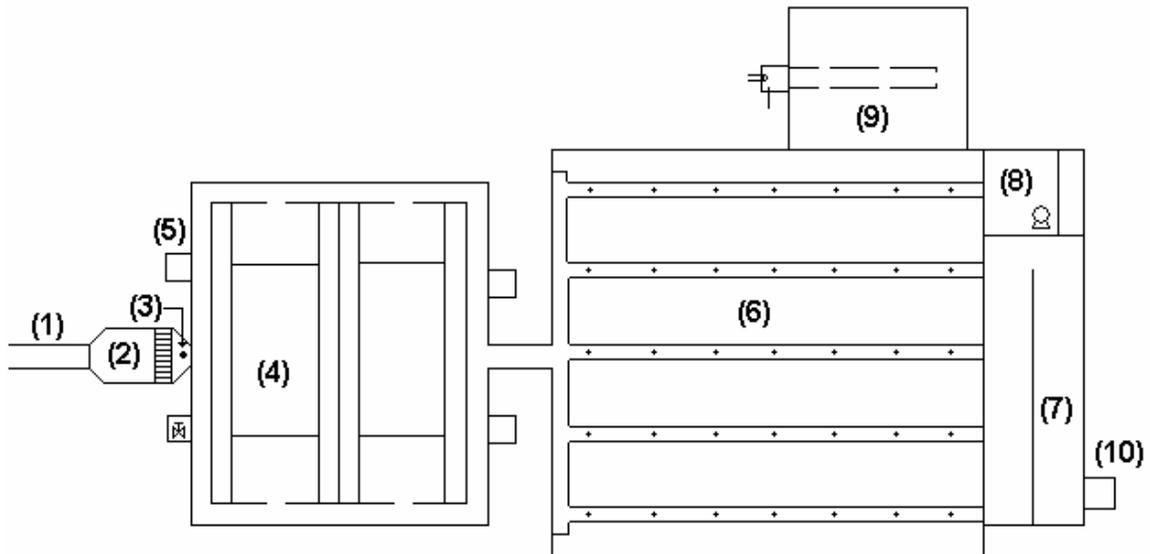
Figura 2.6. Diagrama de la red colectora de aguas residuales de la UCLV realizado en el año 1970.

Simbología:

- (1): Residencias estudiantiles U-4 y U-5.
- (2): Residencias estudiantiles U-1, U-2, U-3, Comedor y Tintorería.
- (3): Rectorado.
- (4): Biblioteca, Centro de cálculo, y las facultades de: Psicología y Letras, Economía, Derecho, Tecnología, Química-Física, Cibernética-Matemática y el edificio de Ciencias.

Anexo B.

Vista superior de la Planta de Tratamiento de Residuales, ubicada en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.



Donde:

1. Entrada del agua residual procedente de los diferentes puntos de la Universidad.
2. Cámara de rejillas.
3. Punto de muestreo.
4. Tanque Imhoff.
5. Registro de lodo del tanque imhoff.
6. Filtro percolador.
7. Sedimentador secundario.
8. Estación de bombeo.
9. Lecho de secado.
10. Registro de salida del residual hacia el río Ochoa.

Anexo C.

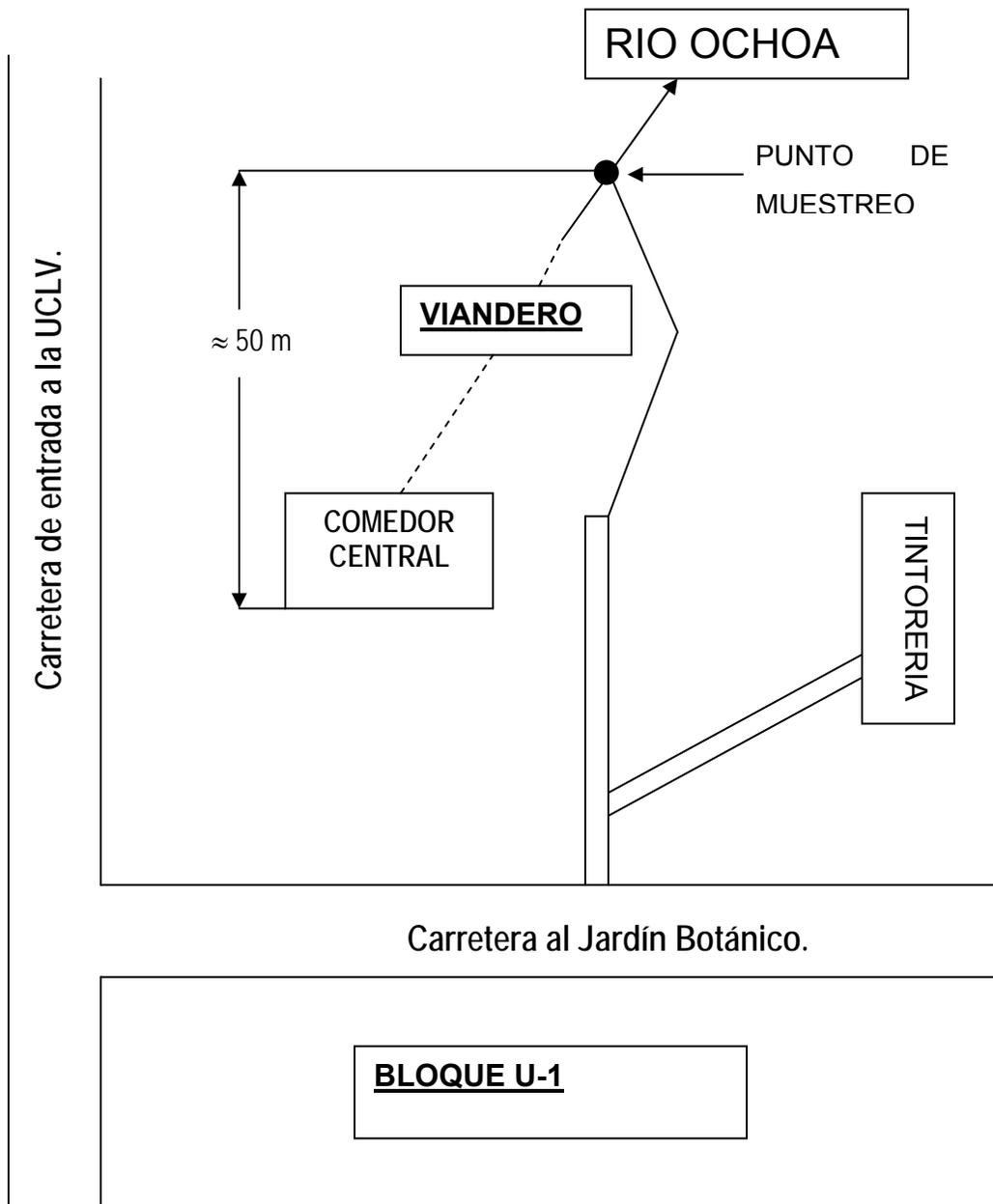


Figura 3.2. Diagrama del punto de muestreo #1. Salida del Comedor Central.

Anexo D.

Análisis efectuados en el punto de muestreo # 1, ubicado a la salida del Comedor Central.

Día: 15 Mes: Febrero Año: 2005

Muestra #:

1

Tiempo de muestreo: 3:20 horas Punto de Muestreo: Efluente Comedor Central.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	11:10	27,90	470	6,00	950
2	11:35	28,30	450	6,80	910
3	12:00	29,10	370	6,20	740
4	12:25	28,00	370	6,30	740
5	1:00	28,50	450	6,30	910
6	1:25	27,80	450	6,00	910
7	1:50	28,70	420	6,00	850
8	2:15	28,70	390	5,90	780
9	2:40	28,50	510	5,70	1030
Promedio	3,20	28,39	431,1	6,13	868,89

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	1055,49
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	808
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	8
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	1380
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	742
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	638
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	588
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	372
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	216
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	427,8
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	22
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	46,7
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	61,6
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	869
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	6,0

Temperatura (°C)	Electrométrico.	28,4
------------------	-----------------	------

Día: 16 Mes: Febrero Año: 2005

Muestra #:

2

Tiempo de muestreo: 3:20 horas Punto de Muestreo: Efluente Comedor Central.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	10:50	25,00	570	5,30	1150
2	11:15	25,00	490	5,40	990
3	11:40	25,20	420	5,30	840
4	12:05	26,20	680	5,40	1360
5	12:30	28,10	520	5,30	1060
6	12:55	28,20	500	5,30	1010
7	1:20	28,40	500	5,20	1000
8	1:45	28,60	680	5,30	1370
9	2:10	28,70	610	5,10	1230
Promedio	3,20	27,04	552,22	5,29	1112,22

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	1440,52
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	*
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	2,6
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	1754
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	1052
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	702
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	370
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	228
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	142
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	502,2
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	59
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	4,72
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	76,54
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	912,2
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	5,3
Temperatura (°C)	Electrométrico.	27,1

Día: 22 Mes: Febrero Año: 2005

Muestra #:

3

Tiempo de muestreo: 3:20 horas Punto de Muestreo: Efluente Comedor Central.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	10:20	25,20	870	5,60	1740
2	10:45	26,30	640	5,70	1290
3	11:10	26,80	660	5,30	1330
4	11:35	28,50	770	5,00	1560
5	12:00	28,90	670	5,30	1350
6	12:25	28,90	1930	5,20	3880
7	12:50	30,50	1320	5,40	2660
8	1:15	29,40	820	5,40	1660
9	1:40	29,40	2980	5,30	5980
Promedio	3,20	28,21	1184,44	5,36	2383,33

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	1457,48
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	1297
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	9
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	2846
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	1220
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	1626
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	990
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	558
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	432
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	1184
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	20,2
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	1,12
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	78,51
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	2383
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	5,3
Temperatura (°C)	Electrométrico.	28,4

Día: 23 Mes: Febrero Año: 2005

Muestra #:

4

Tiempo de muestreo: 3:20 horas Punto de Muestreo: Efluente Comedor Central.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	10:25	24,70	870	5,50	430
2	10:50	25,50	1240	5,30	620
3	11:15	27,30	1170	5,40	580
4	11:40	28,30	990	5,50	490
5	12:05	28,90	920	5,70	460
6	12:30	29,20	1270	5,70	630
7	12:55	29,10	1110	6,00	550
8	1:20	29,60	1260	5,90	630
9	1:45	31,10	1060	5,90	530
Promedio	3,20	28,19	1098,89	5,66	546,67

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	1164,6
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	1037,5
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	1
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	1354
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	718
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	636
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	416
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	170
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	246
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	546
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	40
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	1,5
Cloruros (mg Cl/L)	Volhart.	69,97
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	1098
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	5,6
Temperatura (°C)	Electrométrico.	28,2

Día: 1 Mes: Marzo Año: 2005

Muestra #:

5

Tiempo de muestreo: 3:20 horas

Punto de Muestreo: Efluente Comedor

Central.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	10:50	27,60	690	5,60	1380
2	11:15	27,60	650	5,30	1300
3	11:40	27,60	570	5,60	1140
4	12:05	27,90	640	5,60	1290
5	12:30	28,60	600	5,90	1210
6	12:55	27,70	890	6,00	1780
7	1:20	27,50	620	5,90	1240
8	1:45	27,50	640	5,70	1280
9	2:10	27,60	590	5,70	1190
Promedio	3,20	27,73	654,44	5,7	1312,22

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	1026,54
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	914,6
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	7
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	1584
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	880
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	704
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	466
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	273
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	193
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	654
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	2,0
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	4,92
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	76,73
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	1312
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	5,7
Temperatura (°C)	Electrométrico.	27,7

Día: 2 Mes: Marzo Año: 2005

Muestra #:

6

Tiempo de muestreo: 3.20 horas Punto de Muestreo: Efluente Comedor Central.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	10:25	25,20	840	5,40	1700
2	10:50	25,70	690	5,30	1390
3	11:15	26,80	760	5,40	1520
4	11:40	26,20	860	5,60	1720
5	12:05	27,80	710	5,30	1430
6	12:30	28,10	550	5,40	1120
7	12:55	28,90	520	5,60	1050
8	1:20	28,90	1470	5,40	2950
9	1:45	29,20	720	5,30	1450
Promedio	3,20	27,42	791,11	5,41	1592,22

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	1564,51
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	1393,9
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0.6
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	1460
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	678
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	802
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	227
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	213
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	14
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	791
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	48,9
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	3,51
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	76,73
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	1592
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	5,4
Temperatura (°C)	Electrométrico.	27,4

Día: 8 Mes: Marzo Año: 2005

Muestra #:

7

Tiempo de muestreo: 3.20 horas

Punto de Muestreo: Efluente Comedor

Central.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	10:35	26,10	520	6,40	1050
2	11:00	27,60	520	6,30	1050
3	11:25	27,80	550	6,30	1110
4	11:50	28,20	540	6,40	1090
5	12:15	29,60	540	6,40	1080
6	12:40	30,00	550	6,20	1110
7	1:05	30,40	630	6,40	1280
8	1:30	30,40	850	6,30	1710
9	1:55	30,80	670	6,10	1350
Promedio	3,20	28,99	596,67	6,31	1203,33

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	1376,83
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	103,5
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	944
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	313
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	631
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	145
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	144
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	1
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	596
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	6,8
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	3,51
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	75,95
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	1203
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	6,3
Temperatura (°C)	Electrométrico.	29,0

Día: 9 Mes: Marzo Año: 2005

Muestra #:

8

Tiempo de muestreo: 3.20 horas

Punto de Muestreo: Efluente Comedor

Central.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	10:15	26,6	750	6,0	1500
2	10:40	27,2	950	6,0	1900
3	11:05	28,4	930	5,9	1870
4	11:30	29,0	690	6,1	1380
5	11:55	29,4	1060	6,1	2120
6	12:20	29,3	980	5,9	1960
7	12:45	31,1	1260	6,2	2520
8	1:10	32,0	1010	6,2	2020
9	1:35	31,9	760	6,2	1520
Promedio	3,20	29,43	932,22	6,067	1865,56

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	1047,16
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	968
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	7
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	2056
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	950
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	1106
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	688
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	410
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	278
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	932
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	6
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	0,76
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	66,37
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	1866
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	6,1
Temperatura (°C)	Electrométrico.	29,4

Día: 15 Mes: Marzo Año: 2005

Muestra #:

9

Tiempo de muestreo: 3.20 horas Punto de Muestreo: Efluente Comedor Central.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	10:25	27,5	710	7,1	1420
2	10:50	29,0	950	6,8	1900
3	11:15	30,0	1020	6,7	2040
4	11:40	30,3	1030	6,7	2060
5	12:05	29,7	840	6,8	1680
6	12:30	30,4	1060	6,5	2140
7	12:55	32,4	910	6,5	1820
8	1:20	32,7	860	6,3	1730
9	1:45	32,7	1040	6,2	2080
Promedio	3,20	30,52	935,56	6,62	1874,44

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	992,36
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	928,5
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0,2
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	1464
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	356
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	1128
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	84
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	80
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	4
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	936
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	34,6
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	1,068
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	56,33
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	1879
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	6,6
Temperatura (°C)	Electrométrico.	30,5

Anexo E.

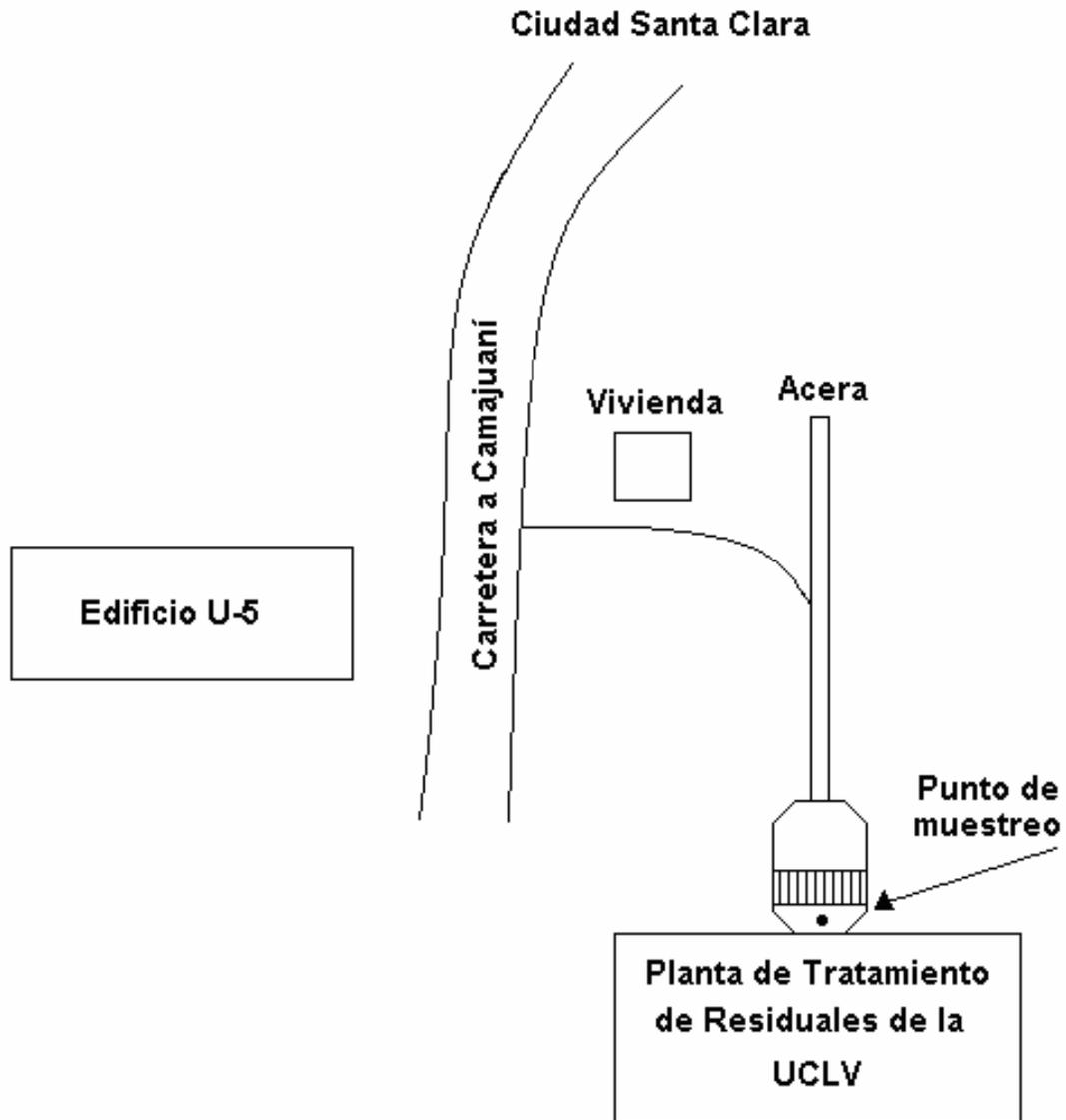


Figura 3.4. Diagrama del punto de muestreo #2. Afluente de la Planta de Tratamiento.

Anexo F.

Análisis realizados en el punto de muestreo #2. Afluente de la Planta de Tratamiento.

Día: 23 **Mes:** Marzo **Año:** 2005

Muestra #:

1

Tiempo de muestreo: 3.20 horas **Punto de Muestreo:** Entrada Planta Tratamiento.

<i>Corrida</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>STD (mg/L)</i>	<i>pH</i>	<i>Conductividad (µS/cm)</i>
1	7:35	24,8	250	8,2	500
2	8:00	24,6	270	8,2	540
3	8:25	24,4	350	8,2	710
4	8:50	24,5	330	8,1	670
5	9:15	24,6	350	8,1	720
6	9:40	24,9	530	8,4	1070
7	10:05	25,2	660	8,3	1330
8	10:30	25,2	700	8,4	1400
9	10:55	25,4	760	8,4	1520
Promedio	3,20	24,84	466,67	8,256	940

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

<i>Ensayo realizado.</i>	<i>Método utilizado.</i>	<i>Resultado.</i>
DQO (mg/L)	Dicromato.	335,87
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	213,25
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	766
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	374
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	392
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	126
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	126
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	0
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	466
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	15,8
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	0,53
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	87,71
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	940

Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	8,3
Temperatura (°C)	Electrométrico.	24,84

Día: 29 Mes: Marzo Año: 2005

Muestra #:

2

Tiempo de muestreo: 3.20 horas Punto de Muestreo: Entrada Planta Tratamiento.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	7:20	25,1	910	8,4	1820
2	7:45	25,2	290	8,1	600
3	8:10	25,2	360	8,3	730
4	8:35	25,0	320	8,0	640
5	9:00	25,1	330	8,0	670
6	9:25	25,2	370	8,0	740
7	9:50	25,4	490	8,2	990
8	10:15	25,5	640	8,2	1280
9	10:40	25,5	703	8,2	1460
Promedio	3,20	25,24	490,33	8.156	992,22

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	339
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	139,87
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0,2
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	684
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	236
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	448
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	144
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	132
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia	12
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	490,0
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	25
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	6,08
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	78,84
Conductividad (µS/cm)	Electrométrico.	992,0
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	8,2

Temperatura (°C)	Electrométrico.	25,2
------------------	-----------------	------

Día: 30 Mes: Marzo Año: 2005

Muestra #:

3

Tiempo de muestreo: 3.20 horas Punto de Muestreo: Entrada Planta Tratamiento.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
1	7:10	24,6	190	7,2	390
2	7:35	24,8	230	7,3	460
3	8:00	24,8	250	7,9	510
4	8:25	24,8	270	7,9	550
5	8:50	24,9	360	8,1	730
6	9:15	25,2	460	8,0	930
7	9:40	25,3	450	8,0	910
8	10:05	25,5	550	7,9	1110
9	10:25	25,6	620	8,0	1240
Promedio	3,20	25,06	375,56	7,81	758,89

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: _____ Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	287
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	245,32
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0,1
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	656
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	246
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	410
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	114
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	108
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	6
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	376,0
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	34,4
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	1,37
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	62,58

Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Electrométrico.	759,0
Alcalinidad ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	7,8
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Electrométrico.	25,1

Día: 5 Mes: Abril Año: 2005

Muestra #:

4

Tiempo de muestreo: 3.20 horas Punto de Muestreo: Entrada Planta Tratamiento.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	STD (mg/L)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	7:25	24,0	210	8,0	430
2	7:50	24,0	360	8,4	360
3	8:15	24,0	260	8,4	260
4	8:40	24,2	320	8,2	320
5	9:05	24,3	600	8,4	600
6	9:30	24,4	580	8,3	580
7	9:55	24,5	520	8,2	520
8	10:20	24,5	720	8,4	720
9	10:45	24,9	1040	8,4	1040
Promedio	3,20	24,31	512,22	8,3	536,67

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	355,6
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	213,36
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	654,0
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	306,0
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	348
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	124
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	120
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	4,0
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	512
Grasas, aceites e hidrocarburos	Gravimétrico.	8,3

(mg/L)		
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	0,76
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	7,66
Conductividad (μS/cm)	Electrométrico.	1031,0
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	8,3
Temperatura (°C)	Electrométrico.	24,3

Día: 6 Mes: Abril Año: 2005

Muestra #:

5

Tiempo de muestreo: 3.20 horas Punto de Muestreo: Entrada Planta Tratamiento.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (μS/cm)
1	7:30	25,2	270	8,1	540
2	7:55	25,2	300	8,4	610
3	8:20	25,3	310	8,5	640
4	8:45	25,0	330	8,3	680
5	9:10	25,2	340	8,2	680
6	9:35	25,3	360	8,1	740
7	10:00	25,2	390	8,1	790
8	10:25	25,3	680	8,2	1370
9	10:50	25,3	790	8,3	1580
Promedio	3,20	25,22	418,89	8,24	847,78

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	235,2
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	164,64
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	576
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	250
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	326
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	124
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	120

Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	4,0
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	348
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	26,7
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	0,84
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	69,65
Conductividad (μS/cm)	Electrométrico.	848,0
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	-
pH (unidades)	Electrométrico.	8,2
Temperatura (°C)	Electrométrico.	25,2

Día: 19 Mes: Abril Año: 2005

Muestra #:

6

Tiempo de muestreo: 3.20 horas Punto de Muestreo: Entrada Planta Tratamiento.

Corrida	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	STD (mg/L)	pH	Conductividad (μS/cm)
1	7:30	23,6	250	8,0	500
2	7:55	24,0	270	8,1	560
3	8:20	24,0	280	8,3	560
4	8:45	24,0	330	8,2	680
5	9:10	24,0	450	8,2	910
6	9:35	24,1	640	8,2	1290
7	10:00	23,7	810	8,3	1630
8	10:25	24,1	920	8,4	1850
9	10:50	24,1	900	8,4	1810
Promedio	3,20	23,96	538,89	8,23	1087,78

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

Ensayo realizado.	Método utilizado.	Resultado.
DQO (mg/L)	Dicromato.	898,56
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	443,3
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	956
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	688

Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	268
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	264
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	264
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	0
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	538
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	24,4
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	14,57
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	91,66
Conductividad (μS/cm)	Electrométrico.	1038
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	467,5 a pH 4,4
pH (unidades)	Electrométrico.	8,23
Temperatura (°C)	Electrométrico.	23,9

Día: 20 **Mes:** Abril **Año:** 2005

Muestra #:

7

Tiempo de muestreo: 3.20 horas **Punto de Muestreo:** Entrada Planta Tratamiento.

<i>Corrida</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>STD (mg/L)</i>	<i>pH</i>	<i>Conductividad (μS/cm)</i>
1	7:35	23,1	240	8,1	490
2	8:00	23,7	280	8,3	570
3	8:25	23,2	330	8,3	670
4	8:50	23,7	350	8,2	710
5	9:15	23,7	490	8,1	990
6	9:40	23,4	550	8,1	1110
7	10:05	23,8	530	7,9	1070
8	10:30	23,7	590	8,0	1180
9	10:55	23,7	880	8,3	1760
Promedio	3,20	23,56	471,11	8,14	950

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.Tipo de muestra: Residual líquido.

<i>Ensayo realizado.</i>	<i>Método utilizado.</i>	<i>Resultado.</i>
DQO (mg/L)	Dicromato.	580,32
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	281,26
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	606
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	416
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	190
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	134
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	118
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	16
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	471
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	177
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	10,38
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	72,27
Conductividad (μS/cm)	Electrométrico.	950
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	367,5 a pH 4,2
pH (unidades)	Electrométrico.	8,14
Temperatura (°C)	Electrométrico.	23,56

Día: 4 Mes: Abril Año: 2005

Muestra #:

8Tiempo de muestreo: 3.20 horas Punto de Muestreo: Entrada PlantaTratamiento.

<i>Corrida</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>STD (mg/L)</i>	<i>pH</i>	<i>Conductividad (μS/cm)</i>
1	7:30	25,5	350	8,3	710
2	7:55	25,5	400	8,4	810
3	8:20	25,4	380	8,4	760
4	8:45	25,3	520	8,4	1040
5	9:10	25,3	550	8,3	1100
6	9:35	25,3	520	8,3	1050
7	10:00	25,3	530	8,3	1070
8	10:25	25,4	570	8,3	1150

9	10:50	25,5	730	8,2	1460
Promedio	3,20	25,39	505,56	8,32	1016,67

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

<i>Ensayo realizado.</i>	<i>Método utilizado.</i>	<i>Resultado.</i>
DQO (mg/L)	Dicromato.	475
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	268
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	502
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	278
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	224
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	114
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	104
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	8
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	505,56
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	32,0
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	20,52
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	93,29
Conductividad (μS/cm)	Electrométrico.	1016,67
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	392,5 a pH 4,5
pH (unidades)	Electrométrico.	8,32
Temperatura (°C)	Electrométrico.	25,39

Día: 5 **Mes:** Abril **Año:** 2005

Muestra #:

9

Tiempo de muestreo: 3.20 horas **Punto de Muestreo:** Entrada Planta Tratamiento.

<i>Corrida</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>STD (mg/L)</i>	<i>pH</i>	<i>Conductividad (μS/cm)</i>
1	7:30	25,5	370	8,4	740
2	7:55	25,6	450	8,5	900
3	8:20	25,4	340	8,4	700
4	8:45	25,3	470	8,4	940
5	9:10	25,5	510	8,3	1020

6	9:35	25,6	410	8,3	830
7	10:00	25,6	890	8,2	1780
8	10:25	25,5	1090	8,1	2190
9	10:50	25,2	900	8,0	1800
Promedio	3,20	25,47	603,33	8,29	1211,11

Ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Tipo de muestra: Residual líquido.

<i>Ensayo realizado.</i>	<i>Método utilizado.</i>	<i>Resultado.</i>
DQO (mg/L)	Dicromato.	1311,55
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	Winkler e incubación.	838
O ₂ disuelto (mg de O ₂ /L)	Winkler.	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	Cono Imhoff.	0
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	660
Sólidos totales volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	500
Sólidos totales fijos (mg/L)	Por diferencia.	160
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico.	192
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	Gravimétrico.	184
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	Por diferencia.	8
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Electrométrico.	603,33
Grasas, aceites e hidrocarburos (mg/L)	Gravimétrico.	83,6
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotométrico.	21,06
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Volhart.	73,91
Conductividad (μS/cm)	Electrométrico.	1211,11
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Potenciométrico.	420 a pH 4,5
pH (unidades)	Electrométrico.	8,29
Temperatura (°C)	Electrométrico.	25,47

Anexo G. Estimación del flujo de residuales afluente a la Planta de Tratamiento.

<i>Residencias</i>	<i>Cantidad de personas</i>	<i>Aporte (L/d)</i>
U-1	354	80358
U-2	338	76726
U-3 estudiantes	174	39498
U-3 trabajadores	70	15890
U-5	86	19522
Total	1022	231994

<i>Facultades</i>	<i>Cantidad de estudiantes</i>	<i>Aporte (L/d)</i>
Ciencias Sociales	173	9822,1
Ciencias Empresariales	1627	92372,9
Derecho	388	22028
Eléctrica	772	43830,3
Humanidades	304	17259,6
MFC	336	19076,4
Mecánica	228	12944,7
Psicología	250	3750
Química-Farmacia	291	16521,5
Total	4369	248050

<i>Facultades</i>	<i>Cantidad de trabajadores</i>	<i>Aporte (L/d)</i>
Ciencias Sociales	85	9690
Ciencias Empresariales	122	13908
Derecho	33	3762
Eléctrica	93	10602
Humanidades	81	9234
MFC	119	13566
Mecánica	116	13224
Psicología	41	4674
Química-Farmacia	134	15276
Total	824	93936

<i>Otros Centros</i>	<i>Cantidad de trabajadores</i>	<i>Aporte (L/d)</i>
Biblioteca Central	47	5358
Rectorado	77	8778
CBQ	98	11172
U-4	475	54150
Total	697	79458

Anexo H.

Técnicas analíticas.

<i>Determinación.</i>	<i>Símbolo.</i>	<i>Unidades.</i>	<i>Fundamento del método.</i>
Potencial de hidrógeno	pH	Unidades de pH.	Método potenciométrico.
Conductividad eléctrica a 25° C.	CE	µS/cm.	Método conductimétrico.
Demanda química de oxígeno al dicromato.	DQO	mg O ₂ /L	Valoración redox con Ag ₂ SO ₄ como catalizador.
Demanda biológica de oxígeno a 20 °C/5 días	DBO ₅	mg O ₂ /L	Incubación y determinación de oxígeno disuelto.
Nitrógeno total.	Nt	mg N/L	Digestión en medio ácido y valoración ácido-base.
Fósforo total.	Pt	mg P/L	Digestión ácida y colorimetría con molibdato de amonio.
Cloruros.	Cl.	mg Cl. ⁻ /L	Remoción de color y método de Volhart.
Sólidos totales.	ST	mg/L	Método gravimétrico.
Sólidos totales volátiles.	STV	mg/L	Método gravimétrico.
Sólidos totales fijos.	STF	mg/L	Por diferencia.
Sólidos suspendidos totales.	SST	mg/L	Método gravimétrico.
Sólidos suspendidos volátiles.	SSV	mg/L	Método gravimétrico.
Sólidos suspendidos fijos.	SSF	mg/L	Por diferencia.
Sólidos sedimentables.	SS	mg/L	Método gravimétrico.
Grasa.	Grasa.	mg/L	Sovlhev (extracción en CCl ₄).
Alcalinidad total.	AlK	mg-HCO ₃ /L	Valoración ácido-base.