



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE UNA  
INDUSTRIA FARMACÉUTICA NACIONAL, SEGÚN EL REGLAMENTO DE  
LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA  
DISPOSICIÓN DE LODOS Y PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO  
DE DESECHOS**

**Ednar Pável Ramírez Lorenzana**

Asesorado por la Licda. Ruth María Eugenia Salazar

Guatemala, octubre de 2007



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE UNA  
INDUSTRIA FARMACÉUTICA NACIONAL, SEGÚN EL REGLAMENTO DE LAS  
DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE  
LODOS Y PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE DESECHOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**EDNAR PÁVEL RAMÍREZ LORENZANA**

ASESORADO POR LA LICDA. RUTH MARÍA EUGENIA SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2007



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Martiza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Renato Ponciano Sandoval
EXAMINADOR	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE UNA INDUSTRIA FARMACÉUTICA NACIONAL, SEGÚN EL REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS Y PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE DESECHOS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 25 de septiembre de 2006.

**Ednar Pável Ramírez Lorenzana**



## ACTO QUE DEDICO A

**Dios** Fuente de vida.

**A mis padres** Ángel Ramiro Ramírez Morales  
Edna Bernell Lorenzana Padilla de Ramírez  
Por todo su apoyo y sobre todo por ser excelentes modelos de  
esfuerzo, sabiduría y perseverancia.

**Mis hermanos** Rommy, Silvana, Gina y Yuri Ramírez Lorenzana, gracias por  
su amor y apoyo incondicional.

**Mis sobrinos** Andrea, Luis Manuel, Ghalia, Kevin, Astrid, Luis Felipe, con  
mucho cariño.

**Mis Amigos** Que en su oportunidad y sin dudarlo, me han brindado su  
ayuda.

**Universidad  
de San Carlos  
de Guatemala** Por proporcionarme las herramientas para emprender un  
camino lleno de desafíos.



## **AGRADECIMIENTOS A**

### **Industrias Bioquimicas**

Por permitirme realizar mi trabajo de graduación, su colaboración y valiosa participación, en especial a: Licda. Claudia Corado, Licda. Ruth Salazar, Licda. Maria Ines Castellanos e Inga. Nancy Rivera.

### **Mis asesoras**

Inga. Lorena Pineda y Licda. Ruth Salazar, por haberme guiado a lo largo de este trabajo de graduación.

### **Mi revisor**

Ing. Renato Ponciano, por su paciencia y colaboración.

### **Cada una de las personas que hicieron posible este trabajo de graduación**

Por sus aportes y conocimientos, por todos los consejos, ayuda y comprensión. Muchas Gracias.



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIOS</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XIII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XIX</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción de una planta de tratamiento de aguas residuales	1
1.1.1. Tratamiento primario	1
1.1.1.1. Fase de hidrólisis	2
1.1.1.2. Fase de acidificación	2
1.1.1.3. Fase metanogénica	2
1.1.2. Tratamiento secundario	2
1.2. Análisis fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos	3
1.2.1. Acidez	3
1.2.2. Temperatura	4
1.2.3. Color	4
1.2.4. Nutrientes (fósforo y nitrógeno)	5
1.2.5. Aceites y grasas	5
1.2.6. Sólidos sedimentables	6
1.2.7. Sólidos suspendidos	6
1.2.8. Demanda química de oxígeno	6
1.2.9. Demanda bioquímica de oxígeno	7
1.2.10. Coliformes Fecales	8

1.3. Fertirriego y fertilización	8
1.4. Características que un fertilizante orgánico debe poseer	9
1.4.1. Color del fertilizante	9
1.4.2. Contenido de material orgánico en el fertilizante	9
1.4.3. Efectos de la materia orgánica en un fertilizante	9
1.4.4. Acidez de un fertilizante orgánico	10
1.5. Arena como suelo o sustrato	12
1.6. Actividad microbiológica de los suelos	13
<b>2. MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>15</b>
2.1. Uso de vertederos para la medición de flujos en canales abiertos	15
2.1.1. Ecuación teórica de un vertedero de ranura rectangular	16
2.1.2. Criterios utilizados para el diseño	17
2.1.3. Calibración de un vertedero	17
2.1.4. Método gravimétrico	17
2.2. Relación entre el caudal y la DBO	18
2.3. Determinación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas	19
2.4. Determinación experimental de la actividad microbiológica en el lodo	20
2.5. Determinación experimental del crecimiento biológico en el lodo	21
2.6. Desinfección de superficies con luz ultravioleta (U.V)	23
2.7. Método para la toma económica de decisiones	24
2.7.1. Valor presente neto (VPN)	24
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>27</b>
3.1. Resultados de la fase de investigación	27
3.1.1. Utilización de agua para reuso	28
3.2. Resultados de la fase de servicio técnico profesional	30

3.3. Resultados de la fase de docencia	34
<b>4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>37</b>
4.1. Discusión de resultados de la fase de investigación	37
4.2. Discusión de resultados de la fase de servicio técnico profesional	42
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>47</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>49</b>
<b>APÉNDICE</b>	<b>51</b>
A. Método de toma de decisiones	51
B. Puntos para toma de muestra	54
C. Construcción del vertedero	55



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Flujo sobre un vertedero, geometría de ranura	16
2.	Descripción de los caudales en función de las horas de descarga	30
3.	Determinación del modelo matemático	31
4.	Aumento del peso seco de la planta Vrs. porcentaje de lodo en maceta	32
5.	Aumento de la altura de la planta Vrs. porcentaje de lodo en maceta	33
6.	Curva de comportamiento microbiológico a diferentes concentraciones de lodo	34

### TABLAS

I.	Clasificación general de los suelos	10
II.	Contenido de macro-nutrientes	11
III.	Relación entre sustrato y lodo sobre una base de 100 g	22
IV.	Resultados de los análisis a las aguas residuales industriales Sanitarias según Acuerdo gubernamental, 236-2006	27
V.	Parámetros y límites máximos permisibles para reuso	28
VI.	Eficiencias parciales y global	29
VII.	Relación entre DBO y DQO	29
VIII.	Calibración del vertedero rectangular, relación entre altura y caudal	30

IX.	Relaciones biológicas entre la altura y peso ganado en el tiempo, en función de la concentración de lodo en maceta	31
X.	Características químicas del lodo	32
XI.	Recuento de bacterias a diferentes concentraciones de lodo expuesto a radiación U.V.	33
XII	Proporción de lodo utilizado para enriquecer el medio de cultivo	40

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>R.A.F.A.</b>	Reactor anaeróbico de flujo ascendente
<b>Q</b>	Caudal
<b>L</b>	Longitud de la cresta
<b>g</b>	Gravedad
<b>Ht</b>	Altura del total de la superficie del líquido
<b>Hc</b>	Altura de la cresta (pies)
<b>H</b>	Diferencia entre Ht y Hc
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>CO</b>	Carga orgánica
<b>n%</b>	Eficiencia
<b>COi</b>	Carga orgánica a la entrada del tratamiento
<b>COf</b>	Carga orgánica a la salida del tratamiento

<b>UFC</b>	Unidades formadoras de colonias
<b>VPN</b>	Valor presente neto.
<b>LMP</b>	Límite máximo permisible

## **GLOSARIO**

<b>Afluente</b>	El Agua captado por un ente generador.
<b>Aguas residuales</b>	Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades fueron modificadas.
<b>Cabeza (H)</b>	Profundidad del líquido, medida desde la cresta hasta la superficie del líquido.
<b>Dilución</b>	Proceso que consiste en agregar un volumen de agua a propósito de disminuir la concentración de una solución.
<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	La medida indirecta de la materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados.
<b>Demanda química de oxígeno</b>	La medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

**Efluente de aguas  
residuales**

Las aguas residuales descargadas por un ente generador.

**Eutrofización**

El proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.

**Fertirriego**

La práctica agrícola que permite el reuso de un efluente de aguas residuales, que no requiere tratamiento, a fin de aprovechar los diversos nutrientes que posee para destinarlos en la recuperación y mejoramiento de suelos así como en fertilización de cultivos que no se consuman crudos o precocidos.

**Lodos**

Los sólidos con un contenido variable de humedad proveniente del tratamiento de aguas residuales.

**Materia orgánica**

Conjunto de componentes orgánicos en descomposición que se incorporan al suelo para enriquecerlo en nutrientes.

<b>Parámetro</b>	La variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso y/o lodos, asignándole un valor.
<b>Punto de descarga</b>	El sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.
<b>Vertedero</b>	Canal de área cuadrada, rectangular o semicircular, con una cresta en forma de presa, utilizada para la medición de caudales.
<b>Reuso</b>	El aprovechamiento de un efluente tratado o no.
<b>Solución salina</b>	Solución realizada con agua y cloruro de sodio al 59%, con el fin de mantener las características de las bacterias contenidas en ella.
<b>Suelo</b>	Fuente de sustento de la vida vegetal y animal.
<b>Tratamiento de aguas residuales</b>	Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizados para mejorar las características de las aguas residuales.



## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales sanitarias industriales, de una industria farmacéutica nacional comparando los resultados de análisis contra el reglamento de descarga y reuso de aguas y de la disposición de lodos.

Se utilizaron los métodos normalizados de análisis de aguas y aguas de desecho para la caracterización de los parámetros requeridos por la ley. Con la caracterización se determinó: el pH, temperatura, sólidos sedimentables, sólidos disueltos, DO, DBO, DQO, coliformes totales y color, determinando que ninguno de los parámetros excede los límites requeridos por la ley.

Se determinó la eficiencia de la planta de tratamiento de agua en función de la cantidad de carga orgánica que es capaz de remover en los diferentes tratamientos físicos y biológicos, determinando una eficiencia del 59.09%

Para el reuso del agua tratada, se determinó que dadas sus características y según la ley, este efluente se puede utilizar debido a que los nutrientes que posee, son propicios para riego extensivo e intensivo, a manera de fertiriego, para recuperación y mejoramiento del suelo, y como fertilizante de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial.

Se encontró la forma de aprovechamiento del lodo, utilizándolo como fertilizante, demostrando que posee en su composición química los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta y enriquecimiento de suelos y además, que los mismos están disponibles biológicamente propiciando el crecimiento de un cultivo ordinario como el frijol común.

Además de encontrarse que la utilización de ambos desechos (tanto el agua como el lodo) son económicamente y técnicamente viables.

# OBJETIVOS

## FASE DE INVESTIGACIÓN

### **Generales**

1. Evaluar el cumplimiento de los resultados de los análisis realizados a las aguas residuales industriales-sanitarias de una industria farmacéutica nacional en relación a los parámetros establecidos por el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Acuerdo gubernamental, 236-2006)
2. Determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales.
3. Proponer opciones para la reutilización de desechos.

### **Específicos**

1. Estudiar e investigar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.
2. Estudiar e investigar métodos de análisis de agua residual y así determinar los parámetros que se está en capacidad de realizar.
3. Estudiar e investigar los diferentes sistemas de medición de caudales en canales abiertos para el cálculo de cargas orgánicas.

4. Estudiar e investigar las opciones para el aprovechamiento de los desechos de la planta de tratamiento de aguas (lodos y agua tratada) y determinar que uso se les puede dar.

## FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

### **General**

Proponer una forma efectiva para el aprovechamiento de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas (lodos y agua tratada).

### **Específicos**

1. Determinar las características del agua para determinar opciones para su reutilización y/o aprovechamiento.
2. Medición de flujos para determinar las cargas orgánicas que produce la planta y la cantidad de agua que puede ser reutilizada.
3. Determinar la disponibilidad química de los nutrientes
4. Demostrar la eficacia y la posibilidad de utilizar el lodo residual como fertilizante.
5. Demostrar que los nutrientes del lodo están disponibles biológicamente.

## FASE DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

### **General**

Capacitar al personal relacionado con la planta de tratamiento de aguas acerca del mantenimiento, buen uso de la planta, toma de muestras, caracterización de muestras y medición de caudales.

### **Específicos**

1. Capacitar a los operarios de la planta acerca de la limpieza y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas.
2. Capacitar a personal del laboratorio asignado para la caracterización de muestras (biológicas, físico-químicas y microbiológicas).
3. Creación de un sistema de gestión para preparar al personal involucrado a inspecciones internas y externas.
4. Dar a conocer a la Gerencia General, Gerencia de Servicios de Apoyo, Aseguramiento de la Calidad y Gestión de Calidad los resultados de la evaluación y la importancia de mantener en buenas condiciones la gestión y documentación de la planta de tratamiento de aguas.



## INTRODUCCIÓN

La importancia de utilizar un recurso vital como el agua de manera racional, se ha hecho más patente actualmente, en vista a que su contaminación día a día se agrava por diferentes razones, entre las que se pueden mencionar: la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales en general. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos posteriores que se quieran darle.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) como medida de regulación para el uso del agua, emitió el Acuerdo Gubernamental 236-2006, el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, el cual indica los parámetros que los entes generadores de aguas residuales deben cumplir, con el fin de demostrar que no son entes contaminadores y el control que tienen estos sobre sus aguas residuales, por esta razón, es necesario aplicar los métodos estandarizados para el análisis de agua de desecho, y de esta manera, demostrar el cumplimiento de los parámetros mencionados en la ley.

Se ha realizado el estudio para determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas y verificar que los parámetros exigidos por el nuevo reglamento están siendo cumplidos.

En las plantas de tratamientos de aguas se obtienen dos desechos: el agua tratada que por los procesos biológicos que ha sufrido está enriquecida con nutrientes; y el lodo de desecho, que de igual manera, en él se depositan los nutrientes que no han sido eliminados por la disolución en el agua.

El objetivo del presente proyecto, es ofrecer una propuesta efectiva, rentable y ecológica para que estos dos desechos se puedan aprovechar.

Se buscará el aprovechamiento del lodo, demostrando que este puede ser utilizado como un fertilizante (abono natural), demostrando biológicamente, por medio de un cultivo como el frijol común (*Phaseolus vulgaris*), tratando de observar como la presencia del lodo propicia el crecimiento de la planta, desde la semilla y su crecimiento durante sus primeros 60 días de vida.

Un ensayo microbiológico demostrará la capacidad de los microorganismos beneficiosos para el suelo como la rhizobium etil, para desarrollarse en este sustrato o fertilizante orgánico, con el fin de mejorar la actividad microbiológica del suelo.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales**

Generalmente, las aguas residuales domésticas e industriales son conducidas separadamente hasta los lugares de tratamiento, en virtud de que sus características son diferentes y que, por lo tanto, sus procesos de tratamiento, también lo son diferentes.

#### **1.1.1. Tratamiento primario:**

Las aguas domésticas que entran a una planta de tratamiento con mecanismos hidráulicos, contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas o tuberías. Estos materiales son eliminados por medio de canales provistos con enrejados.

Luego, las aguas domésticas son tratadas en plantas de aireación extendida, con el objetivo de llevar a cabo la oxidación biológica, tratamiento que corresponde a un tratamiento secundario.

Las aguas industriales por el contrario, pasan a un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, en este reactor (R.A.F.A.) se da el proceso de digestión, el cual 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, y las bacterias son anaerobias, esto es, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones las cuales se explica a continuación:

#### **1.1.1.1. Fase de hidrólisis**

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono.

Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.

#### **1.1.1.2. Fase de acidificación**

Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético  $\text{CH}_3\text{-COOH}$  y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono.

#### **1.1.1.3. Fase metanogénica**

Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias, por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre.

La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal substrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el metano y el dióxido de carbono.

La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre un 45 y un 60 por ciento.

#### **1.1.2. Tratamiento secundario:**

Una planta aeróbica es considerada como tratamiento secundario, esta reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia

de oxígeno, disuelto por una bomba de succión de aire que la provee de oxígeno de manera automática.

Este tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos.

En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y se elimina por medio de un tanque de almacenamiento de lodos, se trata de un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de lodo quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado, llamadas floc, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El floc absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos. En teoría, la reducción de la DBO<sub>5</sub> fluctúa entre el 60 y el 85 por ciento.

Descripción e importancia de los análisis fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos que se le realizan al agua para determinar su calidad residual.

## **1.2. Análisis fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos**

### **1.2.1. Acidez**

Para medir la acidez del agua, son utilizados instrumentos potenciométricos (pH metro) capaces de reproducir pH desde valores de 0.02 pH unidades, los cuales utilizan un electrodo indicador sensible a la actividad del ion hidrogeno, el electrodo de vidrio, y otros electrodos adecuados.

La importancia de la medición del pH, es debido a que la mayoría de la vida biológica vive en condiciones de intervalos de pH muy estrechos, considerando idóneo un pH neutro.

### **1.2.2. Temperatura**

Debido a que esta medición se debe realizar in situ, lo más práctico es utilizar un termómetro calibrado convencional de mercurio.

La importancia de su medición y control, se debe a que a muy altas o bajas temperaturas se altera la vida acuática, algunas reacciones químicas dependen de las concentraciones de oxígeno, y como es sabido a mayor temperatura, menor solubilidad de gases como el indispensable oxígeno.

### **1.2.3. Color**

El color se determina mediante comparación visual de la muestra con concentraciones conocidas de soluciones coloreadas, el método patrón de medida de color es el de cobalto-platino, siendo la unidad de color el producido por un miligramo de platino/l en forma de ión cloroplatinato. El índice de cobalto-platino, puede variarse para equiparar tonalidades en casos especiales.

La importancia de su medición es que el color es un indicador superficial visual de la contaminación del agua, a mayor coloración mas probabilidades de poseer sólidos o líquidos que acentúan el color.

#### **1.2.4. Nutrientes (fósforo y nitrógeno)**

Los desechos como la urea y los detergentes de polifosfatos son fuentes de nitrógeno y fósforo respectivamente, los cuales son nutrientes esenciales en la cadena alimenticia, que en cantidades excesivas pueden causar un efecto negativo en cuerpos receptores. Tal es el caso de la eutrofización, que se debe al aumento de nutrientes procedentes del suelo como consecuencia de actividades humanas. El aporte de fósforo y nitrógeno disuelto a los lagos y ríos se ve aumentado por la eliminación de aguas residuales industriales y domésticas, por lo que la reducción de los anteriores es indispensable en el tratamiento de agua.

#### **1.2.5. Aceites y grasas**

En la determinación de aceite y grasas no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica, más bien, se determinan cuantitativamente grupos de sustancias con características físicas similares sobre la base de su solubilidad en hexano. Aceite y grasa es cualquier material recuperado como sustancia soluble en hexano por medio de decantación.

Es importante regular este parámetro debido a que son compuestos orgánicos muy estables que no se descomponen fácilmente por las bacterias, interfieren en la vida biológica, acumulándose como una capa flotante superficial que evita la dilución del oxígeno ambiental indispensable para que se lleven a cabo los procesos biológicos como la respiración y la fotosíntesis de bacterias depuradoras, plantas y animales acuáticos.

### **1.2.6. Sólidos sedimentables**

Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas, así como de los residuos domésticos e industriales, pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (ml/l) o de un peso (mg/l). Se trata de determinar la cantidad de sólidos que se sedimentan después de 1 hora contenidos en un cono imhoff, cono provisto con una escala de medición en (ml/l).

Al medir los sólidos sedimentables se obtiene una idea de la cantidad de lodos que serán producto de los desechos del agua en el tratamiento.

### **1.2.7. Sólidos suspendidos**

Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103-105°C. El aumento del peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. Si este material obtura el filtro y prolonga la operación de filtrado, la diferencia entre el total de sólidos y el total de sólidos disueltos puede proporcionar un cálculo aproximado de los sólidos totales en suspensión.

Estos serán la cantidad de sólidos que son desechados por medio del agua por estar contenidos o diluidos en ella mediante el tratamiento.

### **1.2.8. Demanda química de oxígeno (DQO)**

Se emplea para medir el contenido de materia orgánica e inorgánica en las aguas. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante en medio ácido.

Para las muestras de una fuente específica, el DQO puede relacionarse empíricamente con el DBO. La prueba es útil para monitoreo y control después de haber establecido la correlación entre la DQO y la DBO.

Su importancia reside en obtener resultados en tiempos más cortos que la prueba de DBO, cuando es conocida la correlación entre la DBO y la DQO, es fácil aproximar el valor de la DBO a partir de este.

### **1.2.9. Demanda bioquímica de oxígeno**

El método consiste en llenar con muestra, hasta rebosar un frasco hermético del tamaño especificado, e incubarlo a temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación, y el DBO se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final por unidad de volumen. La DBO resulta ser la medida indirecta del contenido de materia orgánica contenida en el efluente.

Es importante determinarlo en el tratamiento de aguas residuales porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

Valores altos de DBO después de un tratamiento aeróbico, indican que la cantidad de materia orgánica por litro es muy alta y que por lo tanto, contaminará al cuerpo receptor, aportando material orgánico que puede no ser consumida por los organismos depuradores que se encuentren en el cuerpo receptor promoviendo su acumulación.

### **1.2.10. Coliformes fecales**

Los miembros del grupo coliforme que se encuentran en las heces de algunos animales de sangre caliente, comparados con los procedentes de otras fuentes ambientales, han reafirmado la importancia de determinar los coliformes fecales. La prueba puede hacerse con uno de los métodos de tubos múltiples en medio de cultivo con triptosa y lactosa.

Se busca la reducción de este tipo de bacterias debido a que estas son principales responsables de enfermedades al ser ingeridas por el ser humano u otros seres vivos de sangre caliente.

### **1.3. Fertirriego y fertilización**

El fertirriego se trata de la utilización de los desechos líquidos provenientes de un proceso, y representa una contribución a los componentes químicos nutritivos que necesitan los cultivos para desarrollarse. La efectividad del fertirriego depende de las características químicas de los desechos presentes en el agua para riego. Se puede también agregar los nutrientes químicos al agua de calidad antes de regar los cultivos. El fin del fertirriego es que los nutrientes sean incorporados al suelo o a las plantas por medio de las raíces para desarrollar su crecimiento y características bioquímicas.

La fertilización se refiere a la incorporación de un fertilizante ya sea natural o sintético utilizado con el fin de enriquecer el suelo y favorecer el crecimiento vegetal. Las plantas no necesitan compuestos complejos. Sólo exigen una docena de elementos químicos, que deben presentarse en una forma que la planta pueda absorber.

## **1.4. Características que un fertilizante orgánico debe poseer**

### **1.4.1. Color del fertilizante**

El color del un abono orgánico y su uniformidad, es la característica mas visible y una de las más importantes como elemento de descripción e identificación, el color de éste se debe a los coloides orgánicos de la materia orgánica que generalmente proporcionan un color obscuro a negro.

### **1.4.2. Contenido de Material orgánico en el fertilizante**

La materia orgánica contiene del 56 – 58 % de carbono y del 1.7 al 22% de nitrógeno, y es una mezcla de ligninas alteradas con proteínas desintegradas y sintetizadas por las bacterias.

La materia orgánica posee un color negro. Esponja la tierra aumentando el volumen de poros y mejora sus condiciones mecánicas y culturales: aumenta el poder absorbente para los fertilizantes y la capacidad de retención para el agua e intensifica las actividades de la flora microbiana.

### **1.4.3. Efectos de la materia orgánica en un fertilizante:**

- Le da granulación a la tierra haciéndola más porosa, permeable y fácil de trabajar.
- Hace que los suelos de color claro se vuelvan oscuros y por lo tanto absorban una cantidad mayor de radiaciones solares.

- Defiende los suelos contra la erosión porque evita la dispersión de las partículas minerales, tales como limas, arcillas y arenas.
- Mejora la aireación o circulación del aire en el suelo, por eso el suelo orgánico se llama “Suelo vivo”
- Ayuda al suelo a almacenar alimentos para las plantas.

#### 1.4.4. Acidez de un fertilizante orgánico

Cuando se aporta acidez a un suelo hace que la planta no pueda obtener los elementos necesarios para regular la reacción natural del protoplasma de las células y el exceso de alcalinidad dificulta la asimilación de los fertilizantes. Cuando hay acidez inferior a 4.5 y alcalinidades superiores de 8.5 por contribución o no del fertilizante, son siempre perjudiciales.

**Tabla I. Clasificación general de los suelos**

Clasificación	pH
Muy ácidos	< 4.5
Ácidos	4.6 - 5.5
Semiácidos	5.6 - 6.4
Neutros	6.5 - 7.2
Semialcalinos	7.3 - 8.0
Alcalinos	8.1 - 8.5
Muy alcalinos	8.6 - 9.0
Fuertemente alcalinos	> 9.0

Fuente: <sup>6</sup> Flores, Jorge, Bromatología animal, estudio del suelo

**Tabla II. Contenido de macro - nutrientes**

macro - nutriente	Simbolo	Función
Nitrógeno	N	Promueve el desarrollo de las hojas y crecimiento de los brotes.
Fósforo	P	Contribuye a la formación de las flores, frutos y raíces.
Potasio	K	Favorece la resistencia de la planta a las enfermedades y la mejora de la calidad del fruto.
Calcio	Ca	Fortalece la estructura de la planta.
Magnesio	Mg	Participa en la construcción de la clorofila (elemento que hace verdes a las plantas).

Fuente: <sup>6</sup> Flores, Jorge, Bromatología animal, estudio del suelo

De modo general, los micro - nutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe) actúan como “catalizadores” de procesos químicos para formar parte de las enzimas, sin las cuales las reacciones que permiten la nutrición de las plantas no ocurrirían en la cantidad necesaria.

Es importante mencionar que la mayor parte de los nutrientes de las plantas no vienen del la fertilización del suelo, el Carbono (C), el oxígeno (O) y el hidrógeno (H), responsables de casi el 95% del peso de la materia seca de los vegetales, son abastecidos por el agua y el aire <sup>6</sup>.

Un suelo poroso con una buena cantidad de materia orgánica y humedad permite que el agua y el aire circulen por él y entreguen a la planta todo lo que ella necesita para crecer, de igual manera es importante que en el suelo, se

<sup>6</sup>Flores, Jorge, Bromatología animal, estudio del suelo, Limusa, Tercera edición. México 1977”

encuentren los macro y micro nutrientes que suministra, sin los cuales los vegetales no se desarrollarían.

“En general los cultivos pueden absorber algunos nutrientes que existen en el suelo en niveles de menos de 0.2 partes por millón, mientras otros nutrientes a menudo son difíciles de absorber a una concentración 100 veces mayor. Existe poca relación entre la habilidad física de la planta para absorber un nutriente y la concentración del nutriente en el suelo”<sup>8</sup>.

Además, las plantas no absorben los varios nutrientes principalmente según los niveles presentes en el suelo, sino más bien de acuerdo con las propias necesidades de la planta.

### **1.5. Arena como suelo o sustrato**

Se ha utilizado la arena como sustrato debido a que no aportan un contenido nutricional a la planta y de esta manera el crecimiento dependería únicamente del aporte orgánico del fertilizante.

En términos generales, se llama suelo a toda superficie que no esta cubierta por el agua de los ríos, lagos o mares y que permite en ella el crecimiento de las plantas (bosques, matorrales, praderas, etc.) pero en esta misma superficie se encuentran grandes extensiones de arena, en las cuales difícilmente crece vegetación. Reciben el nombre genérico de desierto, y algunos de ellos son susceptibles de aprovechamiento y de integración a las superficies cultivadas, y promontorios o extensiones de rocas, en las cuales tampoco crecen las plantas,

<sup>8</sup>. Primavesi, Ana (1982) Manejo Ecológico del Suelo, La Agricultura en Regiones Tropicales, Quinta Edición, Buenos Aires, Librería “El Ateneo” Editorial.

y que, desde el punto de vista agrícola, es imposible su aprovechamiento debido al poco o la ausencia de contenido de nutrientes.

### **1.6. Actividad microbiológica de los suelos**

Los microorganismos del suelo, son los componentes más importantes de éste. Constituyen su parte viva y son los responsables de la dinámica de transformación y desarrollo. En un solo gramo de tierra, encontramos millones de microorganismos beneficiosos para los cultivos.

Estos microorganismos beneficiosos que se encuentran en el suelo, son: bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios. Un suelo fértil es aquel que contiene una reserva adecuada de elementos nutritivos disponibles para la planta, o una población microbiana que libere nutrientes que permitan un buen desarrollo vegetal.

Algunas bacterias, como la rhizobium etil, han demostrado una gran capacidad en la fijación biológica de nitrógeno libre del suelo o la atmósfera.

Estas bacterias elaboran una serie de metabolitos como vitaminas, enzimas y otros compuestos beneficiosos para la planta, que van a ser absorbidos por las raíces. Todos estos nutrientes estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Con la aplicación de productos que llevan estas bacterias, se aumenta también la porosidad y capacidad de retención del suelo.

Sus colonias permanecen adheridas en las partículas del suelo y sobre las raíces de las plantas, ya que así les aportan sustancias orgánicas que son utilizadas como alimento.



## **2. MARCO METODOLÓGICO**

En esta sección se establecen los métodos que han sido implementados e utilizados para llegar a los objetivos propuestos anteriormente.

El principal objetivo técnico es determinar el caudal en el punto del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, para ello se decidió diseñar y calibrar un vertedero rectangular, luego se implementó un método analítico para el cálculo de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), consiguiente a ello, se determinó el método para determinar la carga orgánica y de esta manera determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas. Sabida la calidad del agua y las características de los lodos que se acumulan en un depósito específico para ello (el producto de la degradación biológica), se desarrollo un método experimental para el aprovechamiento del lodo. El fin de ello, fue verificar que mediante el uso del lodo como fertilizante se permite el crecimiento de microbiológico y vegetal.

Los métodos utilizados se explican a continuación:

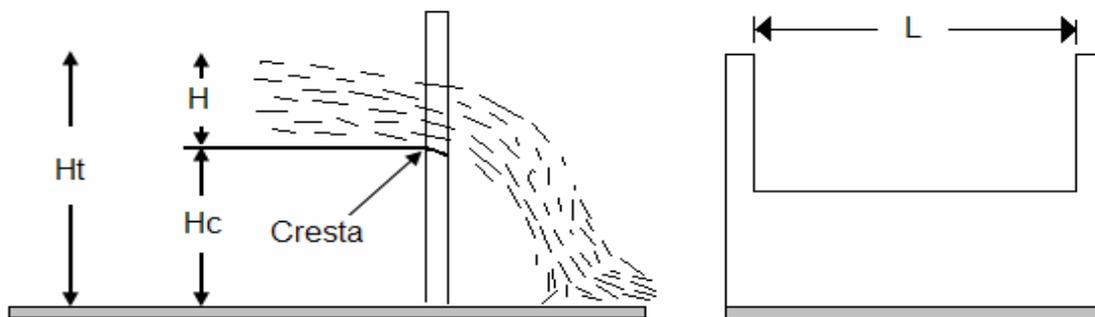
### **2.1. Uso de vertederos para la medición de flujos en canales abiertos**

Para la medición de flujos en canales abiertos lo más común es utilizar vertederos. Estos dispositivos provocan un cambio de la corriente, lo cual a su vez hace que cambie el nivel de la superficie del fluido. El nivel de la superficie resultante en relación con alguna característica del dispositivo esta relacionada con la cantidad de flujo.

Un vertedero es simplemente una barrera o presa colocada en el canal para que el fluido se mantenga detrás del vertedero y después caiga a través de una

ranura cortada en la cara del vertedero, ranura que puede ser de forma variable (rectangular o triangular). En el siguiente diagrama se muestra un ejemplo de vertedero rectangular:

**Figura 1. Flujo sobre un vertedero y geometría de la ranura**



Fuente: ref. 7, pág.400 y 401

**2.1.1. La ecuación teórica de descarga sobre un vertedero de ranura rectangular es:**

$$Q = \frac{2}{3} * L \sqrt{(2gH^3)} \quad \text{De donde} \quad H = Ht - Hc \quad ^7$$

Donde:

Q= caudal (pies<sup>3</sup>/s)

L= longitud de cresta entre los lados de la ranura (pies)

g= gravedad (32.2pies/s<sup>2</sup>)

Ht=altura del total de la superficie del líquido (pies)

Hc=altura de la cresta (pies)

H= diferencia entre Ht y Hc (pies)

<sup>7</sup> Mott, Robert, Mecánica de fluidos aplicada, Prentice Hall, Cuarta edición, México 1996.

### **2.1.2. Criterios utilizados para el diseño:**

- La distancia hacia arriba para la lectura de  $H$ , es aproximadamente seis veces la cabeza  $H$  máxima esperada.
- El volumen de la cresta a la base del vertedero es de 4 a 5 veces el caudal máximo esperado.
- El vertedero triangular se utiliza principalmente para velocidades de flujo bajas, puesto que la ranura en  $V$  provoca una cabeza  $H$  más grande que la que se puede obtener con la ranura rectangular.
- El espesor de la cresta no debe ser mayor de 2 mm.

### **2.1.3. Calibración de un vertedero**

Se trata de determinar en función de una variable, el caudal del efluente de un vertedero independientemente de la forma de su ranura. El objetivo es obtener una relación directa entre el caudal y el nivel de la superficie del líquido ( $H$ ) contenido en el vertedero. Al variar a propósito el nivel ( $H$ ) de la superficie, varía también el caudal, obteniendo así, un caudal por cada nivel alcanzado. Así se obtiene un modelo matemático estándar que permite calcular mediante él, el resultado del caudal con solo introducir el valor del nivel de la superficie ( $H$ ) (variable) a la ecuación del modelo matemático.

### **2.1.4. Método gravimétrico**

Este método trata de utilizar un recipiente calibrado con un volumen definido, medir el tiempo que este tarda en llenarse y de esta manera obtener

una razón o caudal que proviene de la fuente. El caudal es el resultado del cociente entre el volumen del recipiente y el tiempo que demora en llenarse, medido en unidades de volumen/unidad de tiempo (l/s).

Para calibrar el vertedero, se realizó lo mencionado anteriormente, midiendo el caudal que sale del vertedero y haciendo una relación entre la altura que alcanza y el caudal respectivo, se realizó una curva de correlación determinando un modelo matemático que describe el dicho comportamiento.

Este método es adecuado para caudales pequeños y la medición se puede realizar por peso (gravimétrico) o por volumen (volumétrico).

Cabe mencionar que este método fue utilizado para la medición de caudales y para la calibración del vertedero.

## **2.2. Relación entre el caudal y la DBO:**

La carga orgánica del efluente de un ente generador, es el resultado de multiplicar el caudal por la concentración de material orgánico (DBO) que posee un efluente.

La ecuación se define:

$$CO = Q * DBO$$

CO= carga orgánica (kg/día)

Q= caudal (m<sup>3</sup>/día)

DBO= demanda bioquímica de oxígeno en (kg/m<sup>3</sup>)

Nota: Por medio de la DBO y el caudal, se determina la carga orgánica (CO), es por ello que se debe de medir el caudal a la salida del tratamiento, sin este dato ( $m^3/día$ ), no sería posible la medición de la carga orgánica.

Calculado el caudal, la DBO y la carga orgánica, se puede determinar la eficiencia de una unidad de tratamiento de agua residual de la siguiente manera:

### **2.3. Método utilizado para determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas:**

La eficiencia de una planta de tratamiento de aguas, esta determinado en función de la cantidad de carga orgánica que está en capacidad de remover, es decir, si una planta para el tratamiento de agua residual produce 100 Kg de carga orgánica (según cálculo de DBO y caudal), a la entrada del tratamiento, y a la salida del tratamiento es de 30 Kg, el balance de masa indica que la planta de tratamiento de agua fue capaz de retener un 70 % de la materia orgánica, por lo que se presume que la planta de tratamiento es un 70% eficiente. De aquí se determina la ecuación para determinar la eficiencia para una planta de aguas residuales:

$$n\% = \frac{COi - COf}{COi} * 100$$

Donde:

$n\%$  = Eficiencia

$COi$  = Carga orgánica a la entrada del tratamiento (Kg)

$COf$  = Carga orgánica a la salida del tratamiento (Kg)

#### **2.4. Método para determinar la actividad microbiológica en el lodo o fertilizante orgánico:**

Se empezará por describir la fijación biológica del nitrógeno, mediante la bacteria de interés, la bacteria rhizobium, éstas son bacterias simbióticas que colonizan y forman nódulos en las raíces de las leguminosas como el trébol, la alfalfa o el frijol. Las bacterias obtienen alimento de la planta y ésta a cambio, recibe compuestos nitrogenados en abundancia. A veces se inoculan determinadas especies de rhizobium para incrementar la actividad microbiológica del suelo y así beneficiar las cosechas de leguminosas. Éstas se cultivan en muchos casos, para que aporten a la tierra el nitrógeno que han agotado otras cosechas. Las bacterias rhizobium, toman el nitrógeno atmosférico y lo transforman en nitrógeno orgánico que es esencial para el crecimiento de la planta.

El método que se utilizará es un procedimiento experimental fundamentado científicamente, que trata de demostrar que el lodo residual de la planta de tratamiento orgánico, aporta beneficios al suelo, como lo es aumentar la actividad microbiológica de los suelos, enriqueciendo su concentración en macro y micro nutrientes esenciales ayudando al crecimiento de las planta.

El medio de cultivo que utiliza la bacteria rhizobium es llamado ELMA, por las iniciales de sus componentes principales. Este es un medio de cultivo selectivo para el crecimiento de rhizobium, sus componentes son: extracto de levadura, manitol, sulfato de magnesio, agar y agua estéril. Se utiliza como titulante, azul de bromotimol, el cual, es azul en soluciones alcalinas y reacciona tornándose amarillo en presencia de acidez, debido a la fermentación aeróbica ácida que realizan las rhizobium, las colonias se tiñen de color amarillo.

El ensayo trató de enriquecer químicamente el medio de cultivo (ELMA) con diferentes concentraciones de lodo por cada caja de petri, y de esta manera determinar el crecimiento que éstas eran capaces de desarrollar en un periodo de incubación de 48 horas. De esta manera se determina si el lodo proporciona un ambiente adecuado para el desarrollo de los microorganismos.

Después de la incubación microbiológica del rhizobium a la temperatura ambiente 25°C (temperatura estándar de incubación), se hace el recuento de unidades de bacterias formadoras de colonias (UFC) con el fin de determinar su comportamiento en el medio de cultivo. Este recuento tiene el objetivo establecer dos criterios: de propiciar el crecimiento, o por el contrario, inhibir del crecimiento bacteriano.

Por medio de un lente de aumento especial para cajas de petri (5x), se hace el recuento, de las bacterias formadoras de colonias que presentan algún crecimiento en el medio de cultivo.

## **2.5. Método para determinar el crecimiento biológico en el lodo:**

Debido a los procesos al que son sometido los desechos orgánicos en la planta de tratamiento de aguas, se obtiene un subproducto llamado lodo activado, que básicamente son los desechos sólidos y líquidos obtenidos de los sanitarios y aguas de uso industrial. Los principales son: papel sanitario, urea, heces, detergentes polifosfatados y otros, los cuales debido a la acción bacteriana aeróbica y anaeróbica que se encuentran en el tratamiento de desechos, son reducidos a formas mas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos.

Los lodos activados, luego de ser sometidos a un secado uniforme, sin exposición al sol (para evitar la descomposición de su contenido químico), se transforma en una masa con altas características nutritivas y contenido orgánico (las características químicas del lodo se presentan en la tabla IV de resultados).

En el ensayo biológico se trató de propiciar el crecimiento del fríjol común, desde la semilla hasta que llega a ser una planta adulta (2 meses de crecimiento).

Se sembraron 8 semillas en cada maceta con diferentes concentraciones de sustrato (arena) y lodo seco a manera de fertilizante, agregando una cantidad de 10 ml diarios de agua purificada.

Se varió la relación entre sustrato y lodo sobre una base de 100g en total, de la siguiente manera:

**Tabla III. Relación entre sustrato y lodo sobre una base de 100g**

MACETA No.	ARENA (g)	LODO SECO (g)
1	0	100
2	10	90
3	20	80
4	30	70
5	40	60
6	50	50
7	60	40
8	70	30
9	80	20
10	90	10
11	100	0

Se midió cada quince días el crecimiento de una única planta de cada maceta y se utilizaban las 7 restantes para medir el aumento de su peso seco

(una cada 15 días) con el fin de determinar la altura y el peso en materia seca de la planta, obteniendo los resultados de la tabla IV y V respectivamente.

## **2.6. Método para desinfección de superficies con luz ultravioleta (U.V.)**

Con el fin de eliminar la mayor cantidad de carga microbiana que se encontraba en el lodo y de esa manera inocular únicamente la bacteria rhizobium, observando el crecimiento exclusivo de dicha bacteria en el medio de cultivo, fue necesario exponer el lodo a una desinfección ultravioleta, método que se explica a continuación.

La desinfección de superficies por radiación ultravioleta (U.V.) es un procedimiento físico, que no altera la composición química, del objeto a exposición. La seguridad de la desinfección U.V. está probada científicamente y constituye una alternativa segura, eficaz y ecológica.

La radiación U.V. constituye una de las franjas del espectro electromagnético y posee mayor energía que la luz visible. La irradiación de los gérmenes presentes en un objeto o superficie con rayos U.V. provoca una serie de daños en su molécula de ADN, que impiden la división celular y causan su muerte.

La luz ultravioleta, a la onda germicida de 253.7 nanómetros y un tiempo de exposición corto, altera el material genético (DNA) en las células para que los microbios, virus, mozo, alga y otros microorganismos no puedan reproducirse. Los microorganismos están considerados muertos y se les elimina el riesgo de enfermedad en casos como alimentos y purificación de agua.

La principal aplicación de los equipos U.V. es la desinfección de agua. Cualquier industria que utilice agua en su proceso industrial es susceptible de

usar estos equipos. Los equipos U.V. también están indicados para tratamientos de aire y desinfección de superficies.

El objetivo de la aplicación de la radiación U.V al los lodos, es de observar el crecimiento de la bacteria rhizobium exclusivamente, sin la interferencia de otras cargas microbiológicas que pudieran intervenir en el ensayo.

## **2.7. Método para la toma de decisiones**

Se utilizará un método económico con el fin de establecer si el aprovechamiento del lodo como fertilizante puede resultar rentable para la empresa y que la inversión de un sistema para la extracción de lodos representa una oportunidad para el aprovechamiento de la venta y uso efectivo de este desecho.

### **2.7.1. Valor presente neto (VPN):**

Este es una alternativa para toma de dediciones de inversión, el cual permite determinar de ante mano si una inversión vale la pena o no, y no hacer así malas inversiones que provoquen en un futuro perdidas.

El valor presente neto puede desplegar en tres posibles respuestas, las cuales pueden ser:

$$VPN < 0$$

$$VPN > 0$$

$$VPN = 0$$

Cuando el  $VPN < 0$ , y el resultado es un valor negativo muy grande alejado de cero, esta previniendo que el proyecto no es rentable, ya que se están

estimando que habrán poco ingresos y que el tiempo en que se pretende recuperar la inversión, no se logrará.

Cuando el  $VPN = 0$  nos está indicando que exactamente se está generando el porcentaje de utilidad que se desea, y cuando el  $VPN > 0$ , está indicando que la opción es rentable y que inclusive podría incrementarse el % de utilidad.



### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados de la fase de investigación

**Tabla IV. Resultados de los análisis realizados a las aguas residuales industriales-sanitarias según, Acuerdo gubernamental, 236-2006.**

Caracterizaciones básicas	Unidades	LMP	Caracterización	Resultado
Temperatura	°C	TCR +/- 7	25.75	Aprobado
Grasas y aceites	miligramos/l	1500	50.8	Aprobado
Material flotante	presente/ausente	presente	ausente	Aprobado
Sólidos suspendidos	miligramos/l	3,500	130	Aprobado
Nitrógeno total	miligramos/l	1400	48	Aprobado
Fósforo total	miligramos/l	700	10	Aprobado
Potencial de hidrógeno	Unidades	de 6 a 9	6.013	Aprobado
Coliformes fecales	Número mas probable en 100 ml unidades platino-cobalto	< 1E8	1.10E+04	Aprobado
Color	unidades platino-cobalto	1500	310	Aprobado
Carga (DBO-5)	kilogramos/día	50,000<EG<250000	8.06	Aprobado
Caracterizaciones requeridas			Parámetro asociado	
DBO	mg/l	311	3,500	Aprobado
Sólidos sedimentables	cm <sup>3</sup> /l en 1 hora	19		
DQO	mg/l	806		
Otras caracterizaciones				
Turbiedad	UNT	141		
Sólidos totales	mg/l	383		
Dureza total	mg/l	114		

Fuente: Análisis realizados por el laboratorio de Química y Microbiología sanitaria.

### 3.1.1. Utilización de agua para reuso

En el reglamento de aguas (acuerdo gubernativo número 236-2006), capítulo VII, Artículo 34 define los parámetros de aguas para reuso, extendiendo cuatro tipos de reuso que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso corresponda.

**Tabla V. Parámetros y límites máximos permisibles para reuso.**

Tipo de reuso	DBO <sub>5</sub>	Coliformes Fecales, NMP
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	> 2E2
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	<1E3
Tipo V	200	<1E3

Fuente: Acuerdo Gubernativo, 236-2006

El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles de la tabla anterior; de acuerdo a los parámetros presentados en la tabla IV, el que más se ajusta es el fertirriego de tipo I Siendo el que mas se ajusta el tipo de fertirriego Tipo I.

TIPO I: reuso para riego agrícola en general: uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el Artículo 35. Se exceptúa de este reuso los cultivos considerados en el tipo II.

La planta de tratamiento de agua presenta las siguientes eficiencias parciales y globales:

**Tabla VI. Eficiencias parciales y global**

PUNTO No.	DBO	DQO	Carga kg/día
1	410	597	10.27
2	537	842	9.43
3	360	681	9.64
4	311	806	8.06
Caudal p1= 0.87 l/s		EFICIENCIA	%
Caudal p2= 0.61 l/s		n1 (P:1,2,3)	51.07
Caudal p3= 0.93 l/s		n2(P:3 y 4)	16.39
Caudal p4= 0.90 l/s		ng (P:1,2 Y 4)	59.09

Fuente: tabla IV

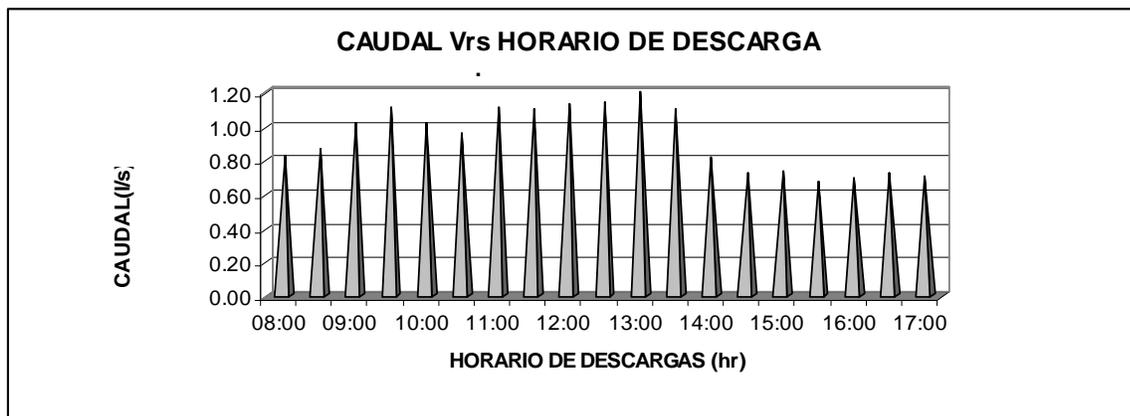
**Tabla VII. Relación entre DBO y DQO**

Caracterizaciones básicas	Unidades	Caracterización Oficial	Muestreo No.1	Muestreo No.2	Promedio
DBO	ml/l	311	292	344	315.67
DQO	ml/l	806	622	702	710
					2.25

Fuente: tabla IV

### 3.2. Resultados de la fase de servicio técnico profesional

**Figura 2. Gráfica descriptiva de los caudales en los respectivos horarios de descarga.**



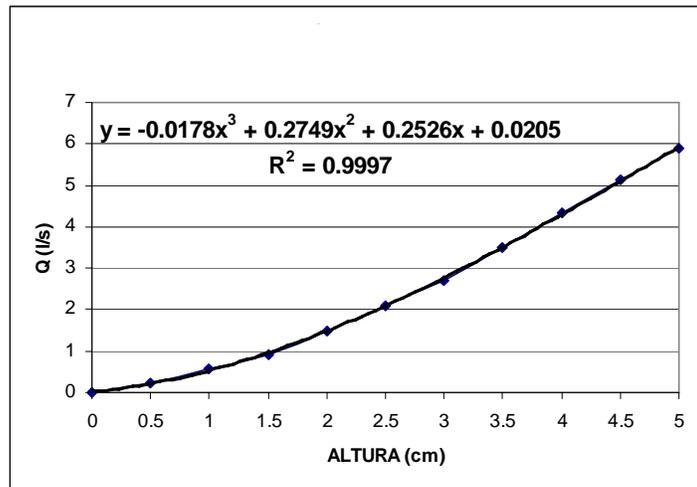
Fuente: datos recolectados en el punto de muestra, Pável Ramírez

NOTA: El punto de muestreo fue el punto de salida del R.A.F.A (Punto 3, Apéndice B)

**Tabla VIII. Calibración del vertedero rectangular, relación entre altura y caudal.**

Volumen (l)	t (seg)	ALTURA (cm)	Q (l/s)
3	0.00	0	0.0
3	13.33	0.5	0.2
3	5.22	1	0.6
3	3.24	1.5	0.9
3	2.00	2	1.5
3	1.43	2.5	2.1
3	1.11	3	2.7
3	0.86	3.5	3.5
3	0.69	4	4.4
3	0.59	4.5	5.1
3	0.51	5	5.9

**Figura 3. Determinación del modelo matemático de calibración**



Fuente: Tabla VIII

**Tabla IX. Relaciones biológicas entre la altura y peso ganado en el tiempo en función de la concentración de lodo en la maceta.**

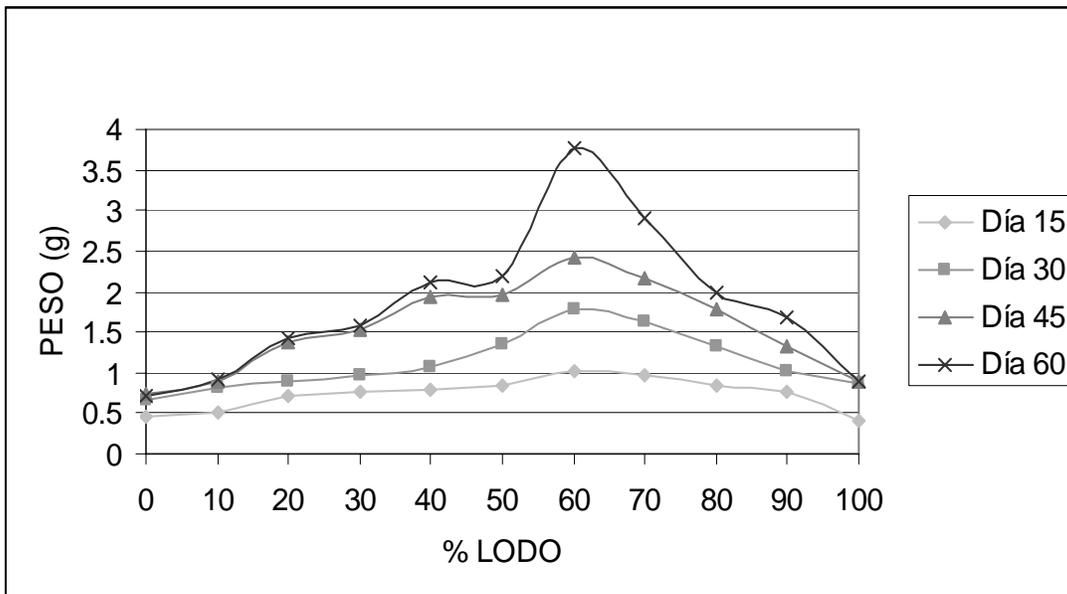
Proporción lodo/arena (g)	Día 15		Día 30		Día 45		Día 60	
	Altura (cm)	Peso (g)						
0/100	1	0.42	6.3	0.86	6.5	0.89	6.8	0.9
10/90	3	0.76	9.5	1.02	12.4	1.33	23	1.67
20/80	3.5	0.84	13.6	1.33	23.6	1.78	26.7	1.98
30/70	4.6	0.96	14.2	1.64	24.7	2.16	37	2.9
40/60	5.3	1.03	15.7	1.78	36.5	2.41	46	3.78
50/50	5.2	0.85	13.6	1.36	25.7	1.96	29.3	2.2
60/40	4.5	0.79	13.2	1.06	26.5	1.94	28.5	2.11
70/30	4.2	0.77	12.3	0.98	21.8	1.52	24	1.59
80/20	3.4	0.71	8	0.9	13.6	1.37	16.3	1.42
90/10	2	0.51	5	0.82	6.3	0.89	8	0.92
100/0	1	0.46	3.2	0.67	4.6	0.73	4.6	0.72

**Tabla X. Características químicas del lodo**

IDENT				Ppm				ppm			%
	pH	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	M.O.
M-1	6.1	2%	144	338	24.96	5.14	0.1	310	30	28.5	32.29

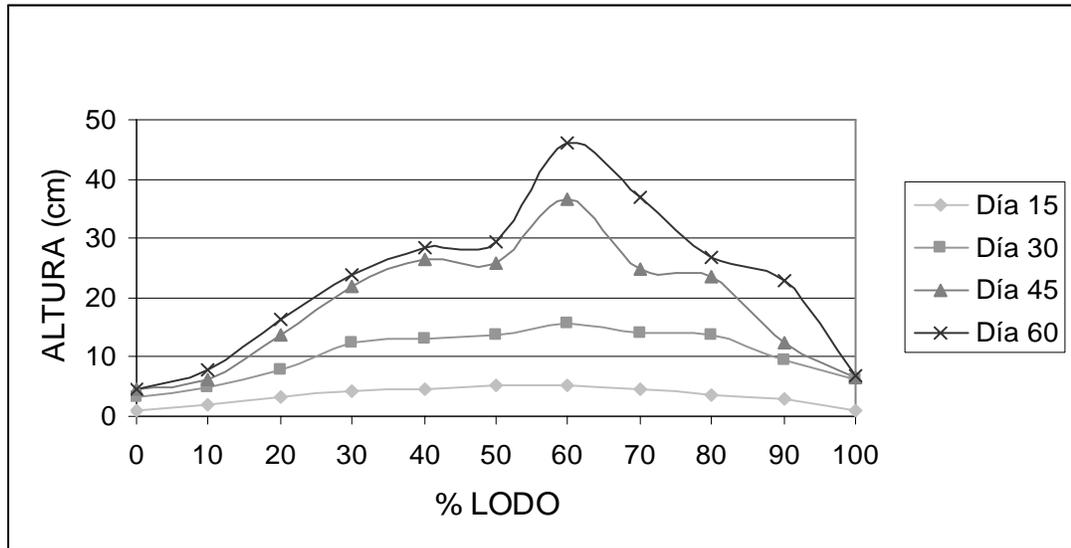
Fuente: registro laboratorio de suelos-planta-agua "salvador Castillo Orellana"

**Figura 4. Aumento del peso seco de la planta Vrs. porcentaje de lodo en maceta.**



Fuente: Tabla IX

**Figura 5. Aumento de la altura de la planta Vrs. Porcentaje de lodo en maceta.**



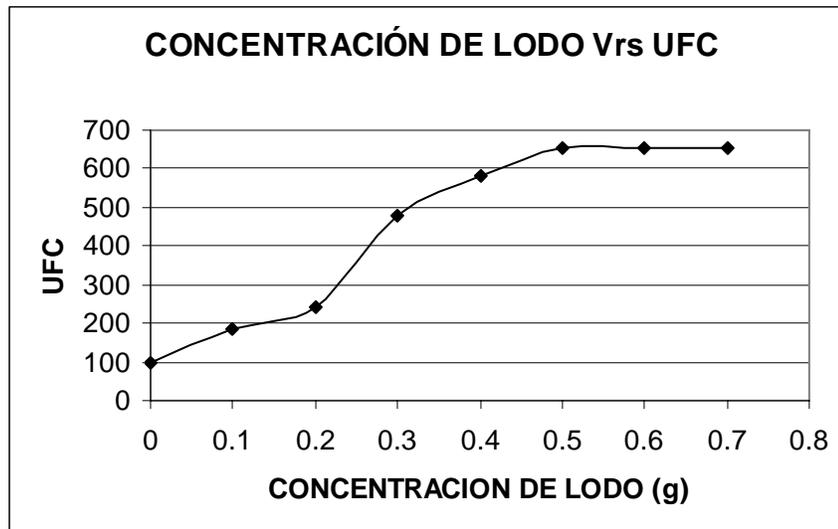
Fuente: Tabla IX

**Tabla XI. Recuento de bacterias en cajas de petri a diferentes concentraciones de lodo expuesto a radiación UV.**

Lodo (g)	NFC
0	100
0.1	185
0.2	240
0.3	480
0.4	580
0.5	652
0.6	655
0.7	653

Fuente: Recuento realizado en el lab. de aseguramiento de calidad, IB, Pável Ramírez

**Figura 6. Curva del comportamiento microbiológico a diferentes concentraciones de lodo.**



Fuente: Tabla XI

### 3.3. Resultados de la fase de docencia

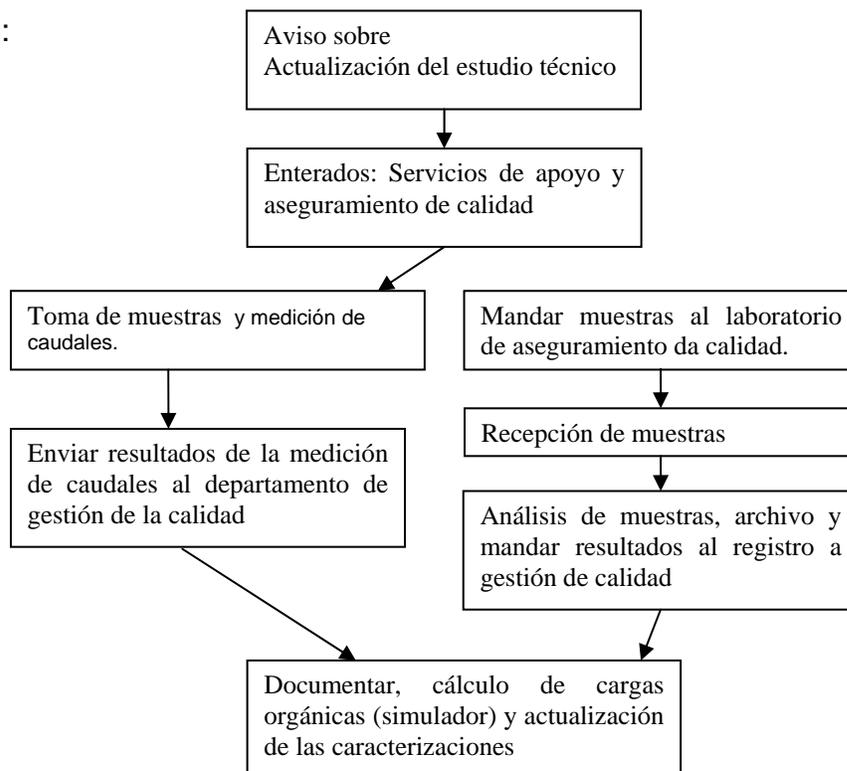
Se impartieron varias capacitaciones a, operarios de la planta de tratamiento de aguas con respecto a la importancia del mantenimiento y modo de uso de la planta de tratamiento mediante inspecciones de los diferentes componentes e interpretación del diagnóstico realizado con respecto a la eficiencia y como utilizar el vertedero construido.

Se discutió con la gerencia la importancia de evaluar constantemente la eficiencia y los parámetros de caracterización de la planta de tratamiento de aguas.

Se compraron los reactivos necesarios para la caracterización y así se realizaron capacitaciones acerca de cómo realizar las pruebas y como interpretarlas, y se dejaron a disposición de la empresa los manuales de los análisis de caracterización de aguas siguientes: Oxígeno disuelto (OD), DBO, DQO, pH, temperatura, color, sólidos sedimentables, sólidos disueltos, grasas y aceites y coliformes fecales.

Se implementó un sistema para la gestión del agua, el cual será realizado periódicamente con el objetivo de cumplir con la actualización y seguimiento de las caracterizaciones de agua.

Las actividades de la gestión serían dirigidas por las diferentes gerencias, y se realizaron simulaciones de las actividades, con el fin de que a la momento de que se realice una auditoría externa por el ministerio de ambiente y recursos naturales, sea de conocimiento las mediadas y registros que se deben presentar. El sistema de gestión quedó implementado de la manera siguiente:





## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Discusión de resultados de la fase de investigación

En la primera columna de la tabla IV, se nombra el parámetro sujeto a medición, en la segunda columna, las dimensionales de la caracterización, en la tercera, el límite máximo permisible, es decir, el valor asignado a los parámetros, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes. Los valores asignados en la tercera columna corresponden a la etapa No. 1 de cumplimiento, en donde se determinan los valores iniciales para el plan de reducción; en la cuarta, el valor obtenido de los análisis realizados y en la quinta columna el criterio de aprobación o desaprobación.

Debido a que ninguno de los parámetros sujetos a medición ha sido excedido, todos se toman con el criterio de aprobado.

Los puntos de toma de muestra se pueden observar en el diagrama de puntos de toma de muestra del Apendice B, en la tabla V, se observan los resultados de los DBO y DQO de los análisis realizados en el laboratorio. La  $\eta_1$  indica la eficiencia del tratamiento anaeróbico (R.A.F.A.) y el sistema de enrejados a la entrada y salida de los mismos, es del 51.07 %, lo cual significa que en esta parte del tratamiento se remueven 10.06 kg de carga orgánica de las 19.7 kilogramos que entran al tratamiento.

De los 9.64 kg restantes que entran al tratamiento aeróbico, se logra eliminar 1.58 kg correspondiendo así una eficiencia para este proceso del  $\eta_2 = 16.39$  %.

Dado los resultados anteriores, se logran determinar la eficiencia global (g) del tratamiento de aguas El total de carga orgánica es de 19.7 kg y a la salida es de 8.06 kg, por lo tanto la eficiencia global es de 59.09%

A pesar de que no se alcanzó ningún límite máximo permisible, se puede observar que la eficiencia global no es tan alta como se esperaría.

Asimismo, la eficiencia del tratamiento aeróbico es muy pobre. Esto se debe a que al realizar los análisis de oxígeno disuelto (análisis implícito en el análisis de DBO) se lograban determinar alrededor de 68 ppm de oxígeno de una muestra sin airear y después de 5 días de incubación se determinaban alrededor de 4 ppm de oxígeno disuelto por litro de agua. Eso significa que el oxígeno contenido en la muestra es casi totalmente agotado por la respiración de las bacterias, por lo que se ve en la necesidad de proveer más oxígeno al tratamiento. El principal problema en un tratamiento aeróbico es que la inyección de oxígeno al agua residual no es suficiente como para saturarla. Esto se logra percibir por el mal olor que se presenta en las zonas de tratamiento aeróbico. Al aumentar la inyección del aire (oxígeno). Se logra mayor cantidad la degradación de la materia orgánica y así mismo, se evita la acumulación de malos olores en las áreas de tratamiento.

De los análisis realizados con respecto al DBO y DQO, se realizaron 3 muestreos, uno de ellos oficial (en un laboratorio externo), obteniendo así tres datos tanto de DBO y DQO para así determinar la proporción entre ambos, mediante estos datos. Para el caso de la salida del tratamiento de agua (punto No. 4 del anexo No.1) la razón entre la DBO y la DQO es de 2.25. Esto ayuda a determinar la DBO a partir de la DQO y viceversa, es decir, del resultado de la DQO. Análisis que se obtiene con mayor rapidez que la DBO. Se puede aproximar que la DBO, la cual sería 2.25 veces menor que la DQO ( $DQO/2.25$ ).

Se puede observar que tanto el crecimiento de la planta como la ganancia de masa son directamente proporcionales y poseen una conducta similar, es decir, a mayor altura, mayor peso ganaba la planta.

De esta manera se logró observar que el aumento en la cantidad del lodo resulta beneficioso para la planta, sobre todo cuando éste se encuentra en un porcentaje del 60%, cuando la altura y el peso de la planta logran sus mejores resultados.

Cuando en la maceta solo se usa como sustrato arena, la planta no encuentra los nutrientes necesarios para desarrollarse. Es por ello que la planta no logra desarrollar más altura ni peso después de un tiempo corto sembrada en la maceta. De igual forma, al utilizar únicamente lodo como sustrato, también resulta perjudicial para la planta, debido a que cuando los nutrientes se presentan en exceso, se hacen visibles síntomas de intoxicación como el amarillamiento de las hojas, además, que al aumentar la cantidad de materia orgánica, que según los resultados de laboratorio son más del 32.% del contenido del lodo, aumenta también la permeabilidad del sustrato, acumulando agua en exceso, también llamada agua de marchitamiento, causando asfixia en las raíces de la planta.<sup>4</sup>

Con respecto al ensayo microbiológico, se seleccionó una cantidad de lodo y se expuso una muestra a radiación ultravioleta y otra en iguales

condiciones sin exposición a luz ultravioleta, con el objetivo cuantificar el poder germicida de la luz U.V.. Fueron sembrados en medio de cultivo ELMA con una

<sup>4</sup>Costello, L. R. et al. Abiotic Diseases of Landscape Plants. University of California. Agriculture and Natural Resources Publication 3420.”

dilución de 1:10 (5g de lodo \* 45 solución salina).

Obteniendo los siguientes resultados:

Cultivo sin radiación ultravioleta 605 UFC

Cultivo con radiación ultravioleta 102 UFC

Determinando una disminución de 6 veces la carga bacteriana para el lodo que fue expuesto a luz ultra violeta.

Se extrajo de una cepa de rhizobium una cantidad de bacterias y se colocó en agua destilada a temperatura ambiente, luego se inoculó en el medio de cultivo ELMA a una dilución de 1:1,000 debido a que diluciones mas pequeñas generan fuertes crecimientos de UFC y hacen imposibles su recuento.

Con el lodo expuesto a radiación, se realizaron 8 diluciones de lodo en agua destilada 1:10 como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla XII. Proporción utilizada para enriquecer el medio de cultivo**

Lodo (g)	Agua destilada (ml)
0.1	0.9
0.2	0.8
0.3	0.7
0.4	0.6
0.5	0.5
0.6	0.4
0.7	0.3

Se diluyeron hasta homogeneidad y se tomo un mililitro de cada solución, sembrándose en el medio de cultivo LEMAR con el rhizobium ya inoculado.

Se tomó una caja de petri (control) solamente con el medio de cultivo, para demostrar que el medio no está contaminado, y otra con el lodo y el medio de cultivo sin inocular para determinar la carga bacteriana del lodo, el ensayo fue realizado In Vitro.

Luego de dejar incubar a temperatura ambiente las cajas inoculadas, se realizó un recuento de número de unidades formadoras de colonias (UFC) en un lente de aumento especializado, obteniendo los resultados de la tabla XI.

Cundo no hay presencia de lodo, la carga bacteriana del lodo es de 102 UFC, lo cual indica que a cada concentración consiguiente debería restársele 102 UFC y presumir de que las restantes corresponden a UFC específicamente de rhizobium.

De igual manera el crecimiento bacteriano que se representa en la figura 5, se puede observar claramente que el lodo favorece las condiciones de crecimiento de las bacterias contenidas en el lodo, hasta que se llega a saturación y la curva se vuelve asintótica. Sin embargo, el mejoramiento en el crecimiento de bacterias es categórico, demostrando que la presencia de lodo en el medio de cultivo, es beneficioso para las bacterias fijadoras de este tipo.

Debido a que el agua de desecho que se obtiene del tratamiento de aguas residuales (sanitarias-industriales) contiene disuelta en ella materia orgánica y nutrientes que favorecería el riego especificado en el Artículo 35 del reglamento de aguas residuales, se recomienda el reuso de ésta agua, como fuente para el riego de los jardines que se encuentran dentro de la empresa, así, propiciando así el ahorro de agua y mejorando las condiciones del suelo por medio de este tipo de fertirriego.

## **4.2. Discusión de resultados de la fase de servicio técnico profesional**

Las dimensiones del vertedero fueron determinadas en función del caudal que se recibía diariamente en la planta de tratamiento de agua, representado por la figura 2. En esta se logra observar la variación del caudal en los diferentes horarios de descarga, esta gráfica fue el resultado de calcular mediante el método volumétrico, las descargas a la salida del R.A.F.A. (punto 3, Apendice B) diariamente por una semana de producción (5 días) y establecer un promedio del caudal que se obtiene por día en el horario específico.

Como se observa en la figura 1, el punto más alto es el que corresponde al caudal producido a las 13:00 hrs con un caudal de 1.20 (l/s).

El vertedero se realizó con lámina de aluminio galvanizada de 1.5 mm de espesor, no fue necesario soldadura ya que se construyó a partir de un solo retazo de lamina como se presenta en la figura 1, Apendice C.

Para la construcción del vertedero fue necesario realizar un canal de ancho y altura definida (25 cm \* 12 cm) que se ajustaran a la salida de la tubería (6 pulgadas) del agua tratada para hacer efectiva su medición; así mismo, la colocación de la ranura se hizo a una distancia "x" de 55 cm, debido a que el volumen de la base del vertedero según criterio de diseño, debe de ser de 4 a 5 veces el caudal máximo que es captado por el vertedero, es decir, 4.8 l a 6 L. De esta manera se determinó un promedio entre ambos, siendo las dimensiones finales, (25\*4\*55) centímetros, lo que representa una base de volumen 5.4 l, volumen que experimentalmente permite la medición de la superficie del líquido sobre la cresta, haciendo perceptible las variaciones que se establecen en la figura 2.

La escala de medición se encuentra marcada en el vertedero desde los 8 a los 16 centímetros atrás de la cresta (para considerar desde variaciones de 2 a 4 cm detrás de la cresta) según criterio de diseño.

La calibración del vertedero se realizó mediante el método volumétrico, dejando la altura constante y al mismo tiempo midiendo el caudal correspondiente para esa altura, obteniendo los resultados de la tabla VIII.

Al graficar los datos de la tabla III se obtienen una curva de calibración, un modelo matemático que permite que a partir de la altura leída en el vertedero, determinar el caudal.

La ecuación resultante es la siguiente:

$$Q = -0.0178H^3 + 0.2749H^2 + 0.2526H + 0.0205$$
$$R^2 = 0.9997$$

Donde:

Q = caudal (l/s)

H= altura leída en el vertedero (cm)



## CONCLUSIONES

1. La industria farmacéutica evaluada, no es un ente contaminante según el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.
2. La eficiencia de la planta de tratamiento de aguas de la industria farmacéutica evaluada es del 59.09%.
3. La relación entre la DBO y la DQO es de 2.25.
4. El lodo contiene químicamente los nutrientes necesarios para que se desarrolle la planta de frijol. Pero se debe de utilizar en las proporciones correctas para optimizar su crecimiento.
5. Utilizando el lodo como fertilizante orgánico, se lograría mejorar la actividad microbiológica de un sustrato.
6. El agua residual se puede utilizar como agua para fertirriego de cultivos intensivos y extensivos debido a sus características químicas.
7. El procesamiento del lodo para transformarlo en abono orgánico comercial, resulta rentable según el método de toma de decisiones utilizado (Apendice A).



## RECOMENDACIONES

1. Se debe mejorar la eficiencia de la remoción de la carga orgánica de la planta aeróbica mediante un chequeo de la inyección de aire y así lograr una mayor eficiencia.
2. Se debe evaluar con regularidad el oxígeno disuelto (OD) de la planta paquete para comprobar que se este proveyendo suficiente oxígeno a las bacterias aeróbicas,
3. Se deben realizar más pruebas en otros cultivos extensivos para determinar la versatilidad del lodo.
4. Se deben realizar pruebas al sustrato antes de aplicar el fertilizante para utilizarlo en una proporción adecuada.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahn, Peter Martin (1993), **Tropical Soils and Fertilizer Use**, Essex, Longman Group UK Ltd. Buckles, Daniel, et al. (1998) **Cover Crops in Hillside Agriculture, Farmer Innovation with Mucuna**, Ottawa, Canada, International Development Research Centre (IDRC) and International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT).
2. APHA, AWWA, WPCF, **Métodos Normalizados**, decimoséptima edición, editoriales Díaz de Santos, Madrid, España 1992.
3. Cooper, Lee et al, **Open – Channel Flow Measurement Technology**, Sigma, USA 2001.
4. Costello, L. R. et al. **Abiotic Diseases of Landscape Plants**. University of California. Agriculture and Natural Resources Publication 3420.
5. Darwich, N. 2003. **Muestreo de Suelos para una Fertilización Precisa**. En: II Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. XI Congreso Nacional de AAPRESID. Tomo 2. Pag. 281-289.
6. Flores, Jorge, **Bromatología Animal, Estudio del Suelo**, Limusa, Tercera edición. México 1977.

7. Ministerio de ambiente y recursos naturales, Acuerdo Gubernativo Número 236-2006, **Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos**. Guatemala 2006.
8. Moshier, A. T. **To Create a Modern Agriculture**, Organization and Planning, New York, Agricultural Development Council, Inc.
9. Mott, Robert, **Mecánica de Fluidos Aplicada**, Prentice Hall, Cuarta edición, México 1996.
10. Primavesi, Ana **Manejo Ecológico del Suelo**, La Agricultura en Regiones Tropicales, Quinta Edición, Librería "El Ateneo", Buenos Aires 1982.
11. Simmons S. Charles, **Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala**, Instituto agropecuario nacional, ministerio de agricultura, editorial José pineda Ibarra, Guatemala 1981.

## APÉNDICE

### A. MÉTODO DE TOMA DE DECISIONES

#### ANÁLISIS ECONÓMICO

Cantidad de lodo en materia seca captado diariamente

290 lb / mes (en base húmeda)

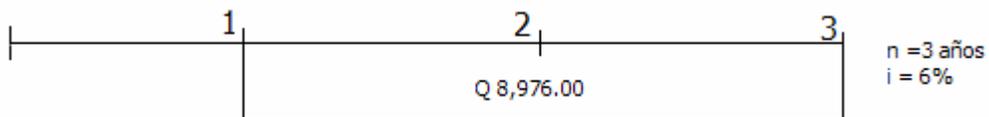
250 lb /mes (en base semi seca)

Diagrama IV

El dinero en el tiempo

ACTUALMENTE

a)



GASTOS:

Precio por libra de desecho con transporte = Q 2.58

$$F = Q 8,976.00 \frac{(1.06)^3 - 1}{0.06} = Q28575.99$$

OPCIÓN ACTUAL (INVERSIÓN DEL PLAN)

## GASTOS FIJOS Y VARIABLES

### COSTOS FIJOS

Bomba para semi-sólidos Q 3,000.00

Tubería y accesorios Q 400.00

Patio de secado Q 650.00

TOTAL Q 4,050.00

### COSTOS VARIABLES

Bolsas para 10 lb, Q 0.40 (250 lb \*12 mes /10 lbs) = Q 120.00

Etiquetas Q 0.15 \* (300 bolsas) = Q 45.00

Aumento de sueldos Q 600.00 (Q50.00, mensual p/ trabajo realizado)

TOTAL Q 765.00 /ANUAL

### GANANCIA

Precio de venta: Q 10.00 c/ 10 lbs

TOTAL Q 3,000.00 /ANUAL

### DEPRECIACIÓN DE LA BOMBA (VIDA ÚTIL)

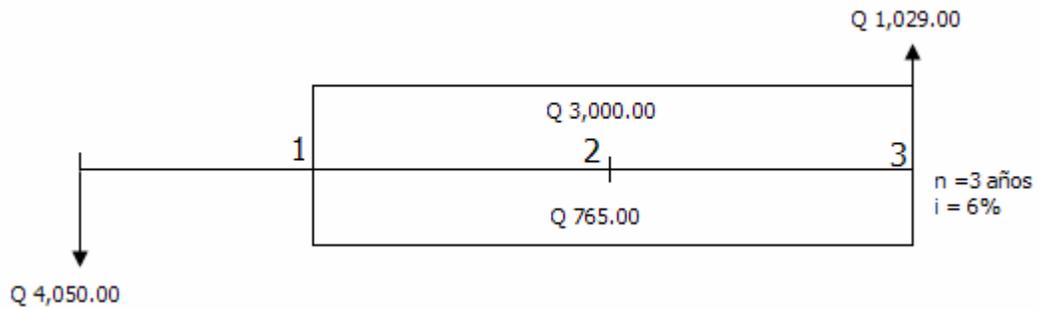
Depreciacion en línea recta = Primer año  $3,000 - 3,000 \cdot .30 =$  Q2,100

Segundo año  $2,100 - 2,100 \cdot .30 =$  Q 1,470

Tercer año  $1470 - 1470 \cdot .30 =$  Q 1,029

El dinero en el tiempo  
PROPUESTA ACTUAL

b)

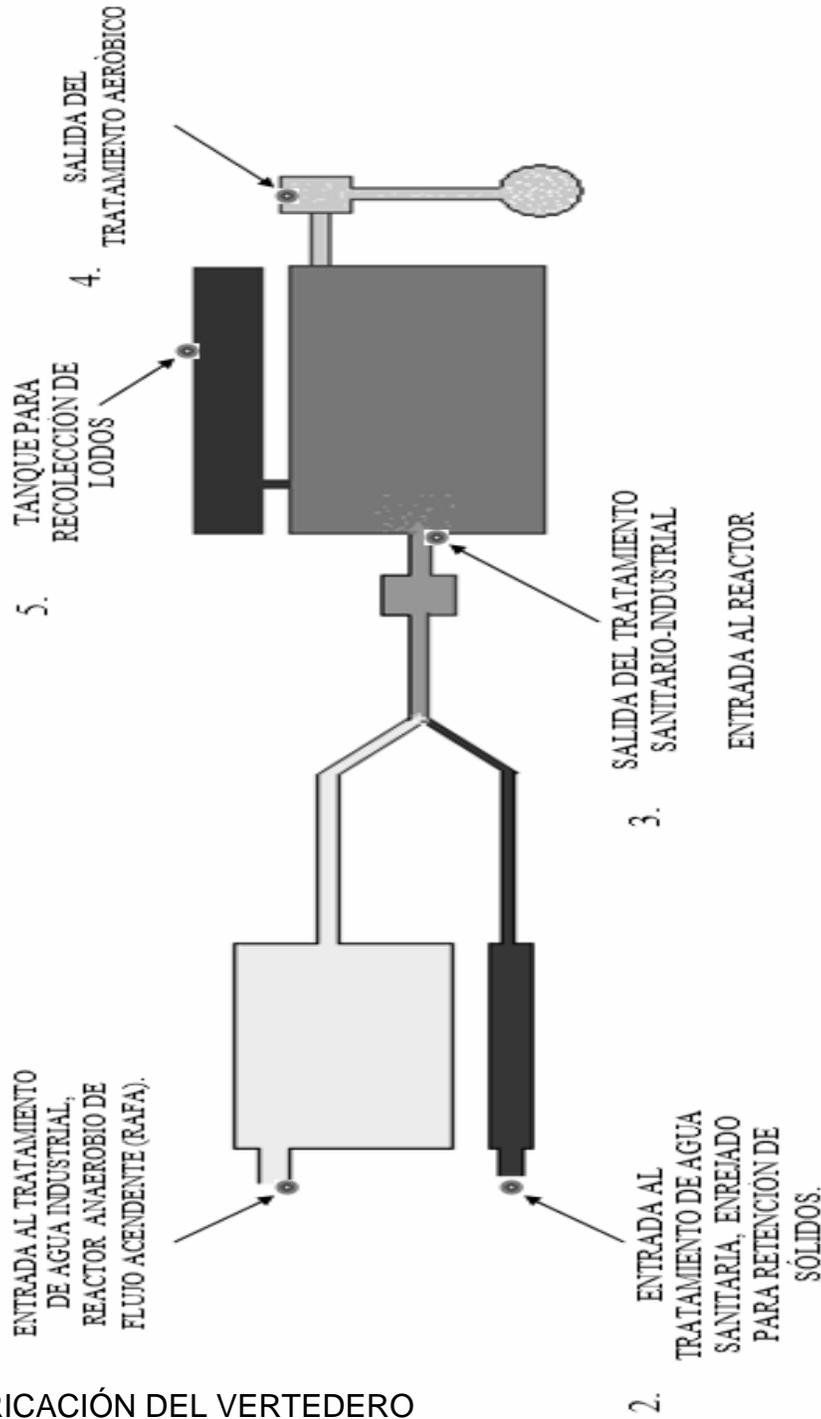


$$\begin{aligned}
 \text{VPN} = & - \text{Q } 4,050.00 - \text{Q } 765 \left[ \frac{(1.06)^3 - 1}{0.06 * (1.06)^3} \right] + \text{Q } 3,000 \left[ \frac{(1.06)^3 - 1}{0.06 * (1.06)^3} \right] \\
 & + 1,029.00 \left[ \frac{1}{(1.06)^3} \right]
 \end{aligned}$$

$$\text{VPN} = \text{Q } 2,812.21$$

B. PUNTOS DE TOMA DE MUESTRA

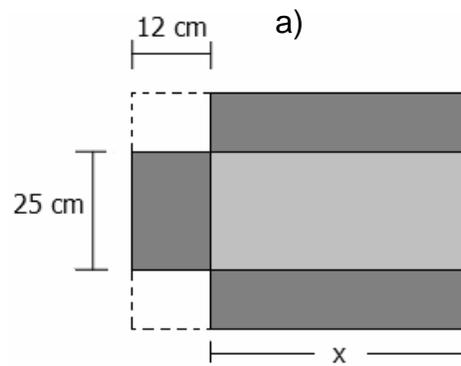
Diagrama II



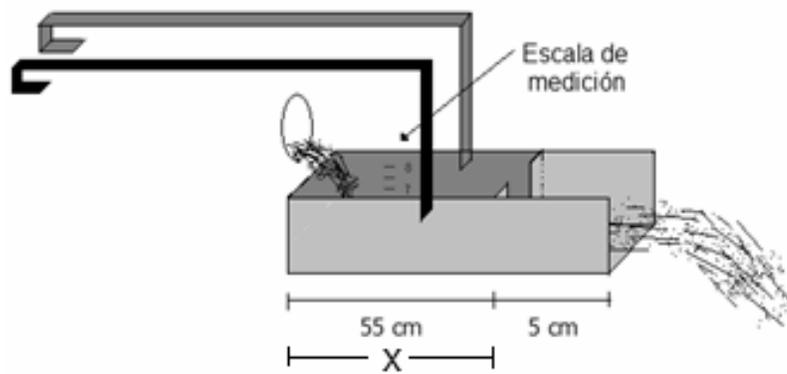
### C. FABRICACIÓN DEL VERTEDERO

Construcción del vertedero en una sola pieza.

DIAGRAMA III



(VISTA 3D) b)



(VISTA FRONTAL) c)

