

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

**Determinación de Coliformes, *Salmonella*, y Helminthos en Lodos de la  
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Nimaajuyu I, Zona 21,  
Guatemala**



**INFORME DE TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Heidi Karina Piérola Kyllmann**

**PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE**

**Bióloga**

**Guatemala, mayo 2003**

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
BIBLIOTECA CENTRAL

DL  
06  
T(2128)

**Junta Directiva**  
**Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia**

**Decano:** M.Sc. Gerardo Leonel Arroyo Catalán

**Secretaria:** Licda. Jannette Sandoval Madrid de Cardona

**Vocal I:** Licda. Gloria Elizabeth Navas Escobedo

**Vocal II:** Lic. Juan Francisco Pérez Sabino

**Vocal III:** Dr. Federico Adolfo Richter Martínez

**Vocal IV:** Br. Carlos Enrique Serrano

**Vocal V:** Br. Claudia Lucía Roca Barreondo

## **Agradecimientos**

Deseo expresar mis agradecimientos a todas las personas e instituciones que contribuyeron a la realización y culminación del presente trabajo de investigación.

A la M.Sc. Karin Herrera, quién me asesoró y guió durante la realización de esta trabajo.

Al Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR) de la Escuela de Química Biológica, por el financiamiento, préstamo de materiales, equipo y espacio físico para el proceso y análisis de laboratorio de las muestras colectadas.

Al Técnico del Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR) Julio César Maas por su valiosa colaboración y enseñanza para el proceso de muestras.

A la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA), por el apoyo financiero y logístico prestado para la ejecución de esta investigación.

Al M.Sc. Hayro García, departamento de Calidad Ambiental (AMSA), quién contribuyó a la obtención del apoyo financiero y logístico, además de proveer asesoramiento.

Al Ingeniero Omar González, departamento de Ejecución de Proyectos (AMSA), quién facilitó el apoyo logístico para la fase de campo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I.

A los Técnicos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, Sr. Urbano Lucas López, Sr. Lucas Sosa Pinto y Sr. Vicente Dubon Orrego, por su apoyo en la fase de muestreo.

A todos mi familia y amigos por su apoyo, comprensión y cariño entregado durante estos años.

*A mis padres, Heidi Ulrike Kyllmann y Juan Luis Piérola*

*A mis hermanas, Ana Lorena Koschewski e Ilse Mercedes Piérola*

*A mi sobrina, Josephine Koschewski*

*Con todo mi amor y agradecimiento.*

## INDICE

I.	Resumen	1
II.	Introducción	3
III.	Antecedentes	
	3.1. Tratamiento de aguas residuales	4
	3.2. Plantas de tratamiento de aguas	4
	3.3. Lodos de desecho	5
	3.3.1. Clasificación	5
	3.3.2. Composición bacteriológica	7
	3.3.3. Tratamiento	8
	3.4. Pruebas para calidad sanitaria	10
	3.4.1. Coliformes fecales, coliformes Totales y <i>Escherichia coli</i>	11
	3.4.2. <i>Salmonella</i>	11
	3.4.3. Helmintos	12
	3.4.4. Posibles infecciones relacionadas	12
	3.5. Legislación relacionada con la disposición de desechos sólidos	13
	3.6. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I	15
IV.	Justificación	17
V.	Objetivos	18
VI.	Hipótesis	19
VII.	Materiales y Métodos	
	7.1. Universo de trabajo	20
	7.1.1. Muestra	20
	7.2. Medios	
	7.2.1. Recursos Humanos	20
	7.2.2. Recursos Institucionales	21
	7.3. Materiales	
	7.3.1. Equipo	21
	7.3.2. Reactivos	22
	7.3.3. Cristalería y materiales	22
	7.4. Métodos	
	7.4.1. Aislamiento e identificación de coliformes fecales, coliformes totales y <i>Escherichia coli</i>	23
	7.4.2. Aislamiento e identificación de <i>Salmonella</i> sp.	24
	7.4.3. Aislamiento e identificación de huevos de helmintos	25
	7.4.4. Diseño Experimental	25
VIII.	Resultados	26
IX.	Discusión de resultados	33
X.	Conclusiones	37
XI.	Recomendaciones	38
XII.	Referencias	39
XIII.	Anexos	42

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de recuentos de coliformes fecales, <i>Salmonella</i> sp. y huevos de helmintos	27
Tabla 2. Cumplimiento de los parámetros analizados según los resultados obtenidos	28

## INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Resultados de coliformes fecales para lodos de la época seca	29
Gráfica 2. Resultados de coliformes fecales para lodos de la época lluviosa	30
Gráfica 3. Comparación de los resultados de coliformes fecales para muestras secas de la época seca y lluviosa	31
Gráfica 4. Comparación de los resultados de coliformes fecales para muestras húmedas de la época seca y lluviosa	32

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Esquema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I	42
Anexo 2. Fotografías de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I	43
Anexo 3. Características fisicoquímicas de diversos tipos de lodos	46
Anexo 4. Tiempo de resistencia de algunos patógenos en suelo y plantas	47
Anexo 5. Características limitantes para descarte de lodos	47
Anexo 6. Posibles aplicaciones de diversos tipos de lodos	48
Anexo 7. Área y frecuencia de aplicación de lodos	48
Anexo 8. Tabla de concentraciones permitidas para coliformes fecales, <i>Salmonella</i> sp. y huevos de helmintos	49

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Área del caudal de entrada de agua con lodos	43
Fotografía 2. Primera área de reja	43
Fotografía 3. Segunda área de reja	43
Fotografía 4. Vista general del área de desarenado	43
Fotografía 5. Trampa de natas o grasas	43
Fotografía 6. Sedimentadores primarios tipo Imhoff, purgados (vaciados)	43
Fotografía 7. Sedimentadores primarios tipo Imhoff, llenos de agua	44
Fotografía 8. Filtros percoladores de roca volcánica y arena	44
Fotografía 9. Área de patios de secado primarios	44
Fotografía 10. Lodo primario en proceso de secado al sol	44
Fotografía 11. Vista general del sedimentador secundario	44
Fotografía 12. Vista detallada del sedimentador secundario	44
Fotografía 13. Patio de secado secundario, lodo seco	45
Fotografía 14. Área del caudal efluente de agua	45
Fotografía 15. Detalle del área de salida del caudal efluente	45
Fotografía 16. Vista general de la planta desde el área de patios de secado	45

## I. Resumen

El agua es uno de los elementos más importantes para el hombre, tanto para su subsistencia diaria como para los procesos industriales. El uso y consumo de esta provoca que ingresen componentes contaminantes a la misma, por lo que es necesario removerlos para su reutilización. Las plantas de tratamiento de aguas residuales, tienen la función de eliminar estos contaminantes de las aguas domésticas. Dentro del proceso de tratamiento de las aguas vertidas, se da la formación de lodos o biosólidos. Estos lodos de desecho contienen un alto contenido orgánico, nutrientes y por tanto son considerados buenos fertilizantes o abonos. Además de estos compuestos, los lodos pueden contener metales pesados y organismos patógenos que son acumulados durante el proceso.

El presente trabajo tuvo como finalidad realizar análisis microbiológicos a lodos secos y húmedos colectados en las épocas seca y lluviosa, procedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I. Esta planta se halla a cargo de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA), a quienes fue entregado por medio de un acuerdo con la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA). La planta cuenta con una infraestructura completa y está en funcionamiento desde 1997, cuando AMSA la rehabilitó. El proceso de tratamiento de las aguas residuales consiste en: remoción física de sólidos suspendidos por medio de filtrado con rejas, trampa de natas o grasas, separación de sólidos suspendidos en sedimentadores primarios tipo Imhoff, separación de contaminantes biológicos en filtros percoladores de roca volcánica y arena, sedimentador secundario. Los lodos que son purgados de los sedimentadores son colocados en patios de secado para secarlos al sol.

La hipótesis planteada fue que: el tratamiento de secado empleado en los lodos de desecho producidos por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I es adecuado para disminuir por debajo de los valores aceptados las concentraciones de coliformes, *Salmonella* sp. y huevos de helmintos. Para la identificación y cuantificación de coliformes totales y fecales se utilizó la técnica de Fermentación en Tubo Múltiple (Número Más Probable) en juego de tres (3) tubos, para *Salmonella* sp. se utilizaron Caldo Base Salmosyst y Agar Rambach. Para la identificación y cuantificación de huevos de helmintos se utilizó la técnica de Stoll modificada, la viabilidad de los huevos se diferenció por medio de tinción con azul de metileno al 0.3%. Con base en los resultados obtenidos se determinó que el proceso de secado al sol es adecuado para disminuir la concentración *Salmonella* y huevos de helmintos por debajo de los límites



establecidos, mas no para coliformes fecales. Además se pudo determinar que la concentración de coliformes fecales fue generalmente mayor para las muestras húmedas respecto de las secas. La concentración de estos microorganismos también fue generalmente mayor para las muestras de la época lluviosa en comparación con la época seca. Por tanto se determinó que la hipótesis planteada no era válida, además se considera que la planta no está funcionando adecuadamente. Los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nimajuyú I no pueden ser utilizados como mejoradores sin restricción de suelos debido a que no cumplen con el límite establecido para coliformes fecales. Se recomienda que la institución establezca un programa de monitoreo de los lodos de la planta e implemente un sistema de esterilización previo al descarte de los mismos. Además debe evaluar cuidadosamente el área de descarte, tomando en cuenta parámetros geográficos, presencia de cuerpos de agua, cultivos, comunidades, entre otros.

El control y vigilancia del buen funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales es responsabilidad de la municipalidad. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), dentro de sus atribuciones, es encargado de prevenir, regular y controlar cualquier actividad que origine un deterioro ambiental, velar y evaluar por la calidad del agua para uso humano y otras actividades, controlar el aprovechamiento del agua, revisar los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas, determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de desechos. Estas atribuciones también son parte de las acciones que tienen las municipalidades a su cargo, algunas también son establecidas como parte del campo de acción del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). En el caso de la planta de Nimajuyú I estas responsabilidades corresponde a los departamentos de Ejecución de Proyectos y Control de Calidad Ambiental y Manejo de Agua de AMSA. Esto se debe a la falta de programas de vigilancia y control, falta de presupuesto de las instituciones responsables para poder llevar estas actividades a cabo y la duplicidad de responsabilidades.

## II. Introducción

Guatemala es un país rico en recursos naturales renovables y no renovables. Uno de los principales recursos renovables y de mayor importancia para la sobrevivencia de los organismos sobre la tierra, es el agua. Los seres humanos necesitan de este precioso líquido para la subsistencia diaria, además de utilizarlo en los procesos de manufactura industrial (1).

El uso del agua provoca que elementos contaminantes ingresen en el ciclo de la misma. Uno de los sistemas creado para su recolección y posterior tratamiento para su reutilización, es el sistema de drenajes. Este procedimiento tiene el objetivo de concentrar el agua en plantas de tratamiento de aguas para su purificación y limpieza (2).

El proceso de tratamiento de aguas residuales produce una serie de subproductos que deben ser desechados, uno de éstos son los lodos de desecho. Los lodos o biosólidos son formados del material sólido que se encuentra en suspensión y disuelto en las aguas residuales tratadas. Este desecho es utilizado de diversas formas, dentro de las cuales podemos mencionar relleno de taludes, relleno sanitario, mejorador de suelos, abono y otras (2).

La disposición final de los lodos no puede hacerse al azar, se deben tomar en cuenta una serie de parámetros, fisicoquímicos y biológicos, de interés ambiental y sanitario. Organismos patógenos como indicadores de sanidad, son un ejemplo de los parámetros a considerar. (2).

Este estudio pretendió a través del análisis microbiológico evaluar la calidad del lodo producido por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, Zona 21, ubicada en la Ciudad de Guatemala. Con base en los resultados obtenidos se determinó si el lodo puede ser utilizado como mejorador de suelos, abono o material de relleno sanitario (3). Por lo que se estudiaron el Grupo coliformes, *Salmonella* sp. y huevos de helmintos como indicadores de la calidad sanitaria de los lodos de desecho de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, Con base en los resultados obtenidos se proveyó a la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA) con información muy valiosa para establecer los usos potenciales de los lodos de desecho producidos por esta planta de tratamiento de aguas residuales (3).

### **III. Antecedentes**

#### **3.1. Tratamiento de aguas residuales**

El sistema de recolección de aguas de desecho se lleva a cabo por una red de drenajes y alcantarillas, que generalmente se encuentran localizada cerca de las viviendas o empresas a las que sirve. El tratamiento de aguas residuales residenciales e industriales colectadas, tiene la funcionalidad de procesar el agua para la eliminación de contaminantes químicos, físicos, biológicos y microbiológicos. Luego de tratada es distribuida para el uso de las comunidades e industrias. (2,4). Como parte de los procesos de sedimentación y filtración se forma y acumula una gran cantidad de subproductos, entre los cuales se encuentra el lodo de desecho. Este es un subproducto de descarte (2,5).

En muchos de los casos las aguas recolectadas, ya sean tratadas o no, son generalmente desechadas directamente en los cauces de los ríos y canales de drenaje. Esto representa un serio problema ambiental y de salud, por lo que las plantas de tratamiento de aguas residuales adquieren un alto valor para salud humana, conservación y preservación de nuestros recursos naturales (6).

#### **3.2. Plantas de tratamiento de aguas**

Las plantas de tratamiento de aguas pueden ser de distintos tipos. La clasificación de las mismas dependerá del tipo de residuos que procesen, por lo que se presentan dos criterios. El primero separa los tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales en de tipo industrial y de tipo domiciliar. En este caso no se hace una diferenciación específica entre las distintas clases de industrias. El segundo criterio las clasifica como plantas de tratamientos de aguas residuales de tipo domiciliar, industria química y farmacéutica, procesamiento y producción de papel, textil, hospitalaria, alimenticia, electrónica, metálica y galvanizados, petroleras y refinerías. En este caso la separación del tipo industrial es sobre la base de los distintos desechos que se producen en cada una, por lo que su tratamiento es distinto según el caso (2,5).

El proceso general de tratamiento de aguas residuales es el siguiente: (2,4) .

- a) **Pretratamiento:** En esta fase se eliminan los sólidos de gran tamaño por medio de la filtración del agua afluente por canales de drenajes con peinetas o rejas.

- b) **Canal de grasas o natas:** Por medio de coagulación, floculación tanto por adición de químicos como por incremento o disminución de las propiedades coligativas de los elementos se separan los compuestos de menor densidad del agua.
- c) **Sedimentadores primarios:** Son tanques de sedimentación en los cuales se deja que los sólidos se acumulen en el fondo por medio de la disminución de la velocidad de corriente o detención del flujo de agua.
- d) **Tanque de arena (Sedimentadores secundarios):** En los tanques de arena, puede utilizarse también piedra volcánica, limo, mezcla de diversos compuestos, se provoca un proceso de precolación o filtración del agua. El agua que escurre es acumulada y transportada, la capa de arena funciona como un filtro natural provocando la acumulación de bacterias, protozoos, que forman una capa de material biológico denominado zooglea, generalmente se desecha o seca en patio.
- e) **Desinfección:** En esta fase el agua es tratada para la eliminación de olores, contaminantes que han persistido, por medio de tratamientos con diversas bacterias aerobias y anaerobias, cloración, fluoración y otros métodos específicos según las necesidades.

Durante el proceso de tratamiento del agua se generan diversos tipos de subproductos y desechos, dentro de los cuales se encuentran los lodos. Los lodos son acumulados en los procesos de sedimentación y filtración, para luego ser tratados para la eliminación de contaminantes orgánicos, inorgánicos, biológicos para poder disponer adecuadamente de ellos. Estos pueden ser tratados de diversas maneras (2,4).

(Anexo 1: Diagrama de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Anexo 2: Fotografías de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I) (5).

### 3.3. Lodos de desecho

En el tratamiento de las aguas residuales una gran parte de los elementos contaminantes se consumen completamente, pero algunos no son completamente degradados. Los sólidos que no se descomponen pasan a ser parte de los desechos sólidos o lodos producidos en las distintas etapas del tratamiento. Estos concentran gran cantidad de los contaminantes presentes en la aguas residuales. Por lo que podemos definir un lodo de desecho como "sólidos acumulados y separados de los líquidos, agua, agua residual, durante un proceso de tratamiento" (2,4).

Los sedimentos que forman los lodos, se componen de material que sedimenta por gravedad, floculación o coagulación. Los procesos de floculación y coagulación se dan por medio del agregado de químicos específicos que alteren las propiedades coligativas de las sustancias que se hallan en suspensión y se requiere sean removidas previo a continuar el proceso de tratamiento (7).

Estos acúmulos de materia sólida debido a sus características y los elementos que los componen pueden o no afectar el área y ambiente donde son depositados. Por lo que es necesario realizar análisis para determinar si son seguros para su utilización (8). En el Anexo 3 se presentan algunas características fisicoquímicas de diversos tipos de lodos.

### 3.3.1. Clasificación

Para una clasificación completa se deben considerar elementos como materiales tóxicos, lixiviados, corrosividad, reactividad, explosividad, inflamabilidad, composición química, biológica, transporte, almacenamiento, disposición final (2,3,4).

Los lodos son clasificados según su procedencia como:

- **domiciliar**
- **industrial**
  - textil
  - química y farmacéutica
  - procesamiento y producción de papel
  - metalomecánica y acabados metálicos
  - industria de electrogalvanizado
  - electrónica
  - procesamiento de alimentos
  - curtido de cuero

Son clasificados según su toxicidad como:

- **prioridad I:** orgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos fácilmente biodegradables, reutilizables como fertilizantes, relleno sanitario, incineración

- **prioridad II:** orgánicos e inorgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos, orgánicos no fácilmente biodegradables, pueden ser reutilizados en compostaje, incineración, relleno sanitario
- **prioridad III:** orgánicos e inorgánicos con altas cantidades de materiales tóxicos, deben ser tratados con mucho cuidado, su reutilización queda limitada

### 3.3.2. Composición bacteriológica

Los principales grupos de microorganismos de interés, patógenos, son bacterias, helmintos, protozoos y virus.

#### a) Bacterias

Las bacterias representan el mayor componente de la comunidad microbiana en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. Se encuentran normalmente valores de  $10^6$  bacterias por mL. Las bacterias ubicuas, provienen del tracto gastrointestinal del hombre o animales (heces fecales), algunas pueden ser patógenas. Uno de los grupos indicadores de contaminación fecal son los coliformes fecales como por ejemplo: *Streptococcus faecalis* y *Escherichia coli* (9,10).

#### b) Helmintos

El grupo de los helmintos incluye los Platelminotos (gusanos planos), Nematelmintos y Céstodos (gusanos cilíndricos). Muchos viven en forma libre en suelo y agua, y no son parásitos. Los parásitos son expulsados en las excretas de los hospederos finales o intermediarios. La forma más resistente, por tanto la de mayor importancia sanitaria, son los huevos de estos parásitos (10,11,12).

Algunas de las más importantes para evaluación sanitaria son *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichuria*, *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus*. Debido a la resistencia de los huevos de *Ascaris* en el ambiente y agua se utilizan como referencia de la eliminación de parásitos en lodos de desecho. Se estima que pueden permanecer en el suelo un promedio de 2 años y un máximo de 7 años (10).

**c) Protozoos**

De los protozoos son grupos de interés los Flagelados, Sarcodina y Ciliados. Estos pueden llegar a ser patógenos gastrointestinales. La fase infectiva son los quistes de las heces. Se encuentran con frecuencia *Giardia lamblia*, *Balantidium coli*, *Entamoeba coli*. Estos organismos son altamente resistentes a humedad, pero sensibles a la desecación (9).

**d) Virus**

Estos no pueden reproducirse fuera de sus hospederos, por lo que se encuentran latentes en los lodos de desecho. Algunos de importancia sanitaria son Adenovirus, Enterovirus, Virus Hepatitis A, Retrovirus, Rotavirus, Poliovirus; Poliomiétilis, Coxsackie A. Se han determinado en abonos virus entéricos bastante resistentes, que pueden ser inactivados por la textura y temperatura del mismo (10).

En el Anexo 4 se encuentra información sobre el tiempo medio y máximo de permanencia de algunos patógenos, como bacterias, virus, quistes de protozoos y huevos de helmintos, en suelos y plantas.

**3.3.3. Tratamiento**

El lodo de desecho es un subproducto del cual hay que disponer o desechar, en el Anexo 5 se presentan algunas de las características limitantes para su descarte. El primer paso, para su disposición final, es la estabilización y eliminación de olores y organismos patógenos. Los principales procesos para su estabilización son la compactación o concentración y desecación (2).

El proceso de compactación o concentración tiene la finalidad de disminuir el volumen de lodo y eliminar la mayor cantidad posible de agua o humedad, para facilitar la desecación final. Dentro de las metodologías utilizadas podemos encontrar: (2,4).

- a) **Espesación por gravedad:** Consiste de un tanque de sedimentación por gravedad con peinetas de movimiento muy lento que presentan estacas. Las estacas tienen la función de compactar el lodo, de modo que se minimice el volumen y aumente la retención del mismo en el tanque.



- b) **Elutriación:** Consiste en lavar el lodo, con el fin de reducir la concentración de amoníaco y contenidos orgánicos facilitando la acción de los compuestos químicos utilizados para el secado.
- c) **Flotación:** Es el proceso por el cual en un tanque se baja la densidad del lodo por presurización del agua en tratamiento y por tanto el lodo puede ser separado en forma mecánica. Se utilizan diversos químicos con el fin de favorecer la formación de una espuma adherente y disminuir la floculación del lodo.
- d) **Digestión:** Consiste en descomponer el material residual por digestión microbiana anaerobia o aerobia, para disminuir los elementos responsables de olores putrefactos. La producción de gas que se genera, una mezcla de amoníaco, metano, dióxido de carbono y sulfuro, puede ser utilizado como combustible para funcionamiento del digestor o de alguna maquinaria del proceso de tratamiento de aguas residuales.
- e) **Filtración al vacío:** Se compacta y concentra el lodo por medio de la eliminación de aire a través de un sistema de vacío.
- f) **Centrifugación:** Por centrifugación se concentran los lodos en el fondo y se remueven después de decantar la fase líquida formada.
- g) **Prensa de rodillos:** Al atravesar el lodo por un sistema de rodillos se seca por presión física, eliminando el agua por escurrimiento.
- h) **Lechos de lodos:** Son estanques de tierra cubierto por grava o arena sobre el cual se deposita el lodo, con el fin de filtrar el agua y desecar el lodo, obteniéndose al final una capa de lodo seco compacto.
- i) **Radiación:** Es el tratamiento de los lodos de desechos con elementos radioactivos o ionizantes para la inactivación microbiana, descomposición de materia orgánica e inorgánica. No se producen residuos radioactivos.

El proceso de desecación tiene la finalidad de eliminar la mayor cantidad posible de agua o humedad, además de disminuir a concentraciones inocuas o eliminar organismos patógenos. Dentro de las metodologías utilizadas para el control de patógenos podemos mencionar:

- a) **Calentamiento (método químico, físico, biológico):** Proceso por medio del cual se elimina la humedad del lodo, además de provocar la destrucción o inactivación de bacterias, virus,



- quistes de protozoos, huevos de helmintos. Esto puede realizarse por la adición de sustancias químicas que eleven la temperatura, descomposición microbiana, secado al sol o por medios eléctricos. Los huevos de helmintos son los más resistentes a este procedimiento (2,4).
- b) **Radiación:** Consiste en irradiar los lodos con sustancias radioactivas o ionizantes provocando la desecación e inactivación de organismos patógenos. Los virus son los más resistentes(2,4).
  - c) **Desinfección química:** Por medio de la adición de diversos reactivos químicos se disminuyen las concentraciones o inactivan organismos patógenos como bacterias, virus, vectores transmisores, además se eliminan olores. Este proceso no es efectivo para eliminación de huevos de helmintos, excepto sea combinado con calentamiento (2,4).
  - d) **Reducción de compuestos orgánicos volátiles:** Por medio de un proceso de calentamiento (químico, físico, biológico), aereación, radiación se eliminan los compuestos orgánicos volátiles que funcionan como fuente de alimento para diversos organismos, olores desagradables, atrayentes de vectores transmisores (2,4).

En el Anexo 6 se presenta información referente a posibles aplicaciones de diversos tipos de lodos y en el Anexo 7 sobre áreas y frecuencia de aplicación de lodos.

### 3.4. Pruebas para calidad sanitaria

Uno de los principales problemas del proceso de disposición final de los lodos de desecho es la contaminación de las áreas utilizadas para tales fines. El proceso de desecho o descarte de los mismos tiene que considerar muchos aspectos como geografía, localización, tipo de suelo, cuerpos de agua, cercanía de comunidades, cultivos del espacio a utilizar. Por lo tanto que deben realizarse análisis toxicológicos y microbiológicos para determinar la salubridad del lodo de desecho, para que no se favorezca la propagación y diseminación de contaminantes (4,9).

Para coliformes fecales la concentración permitida es menor de 1000 NMP (Número Más Probable) de organismos por gramo de muestra. Para *Salmonella* sp. la concentración debe ser menor de 100 NMP por gramo de muestras. El límite permitido de huevos viables de helmintos es menor de 5 por gramo de muestra (3). (Anexo 8 Tabla de concentraciones permitidas para coliformes fecales, *Salmonella* sp. y huevos de helmintos)

### 3.4.1. Coliformes fecales, coliformes Totales y *Escherichia coli*

Las bacterias comensales son ubicuas y se encuentran en gran concentración en las heces de personas saludables, se utilizan con indicadores de contaminación fecal al identificarse su presencia en una muestra. Estas bacterias viven en el tracto gastrointestinal del hombre y de los animales de sangre caliente sin causar enfermedades, sin embargo en algunas ocasiones se presentan cepas patógenas (3).

Existen dos tipos principales de bacterias coliformes, el grupo de los coliformes fecales y los coliformes totales. En el grupo de los coliformes totales se encuentran bacterias que se presentan normalmente en el suelo y aguas no contaminadas. Las del grupo coliformes fecales son propias de las excretas, incluyen bacilos gramnegativos, aeróbicos y anaeróbicos facultativos no esporoformadores, que fermentan la lactosa con producción de gas en un periodo de 24 horas a una temperatura de  $44.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  (3).

Se utilizan como indicadores de contaminación fecal, por ejemplo: coliformes fecales, estreptococos fecales y enterococos. Los coliformes fecales, particularmente *Escherichia coli*, son indicadores definitivos de contaminación fecal. Los coliformes totales proveen de gran información, pues se consideran indicadores presuntivos de contaminación de la muestra. Esto se debe a que una alta concentración de las mismas puede servir como indicador de presencia de otros microorganismos patógenos para el ser humano y algunos animales (3).

Los lodos o excretas utilizadas como abonos o mejoradores de suelos deben ser tratadas con el fin de no propagar y dispersar agentes patógenos que pueden influir o alterar el ecosistema natural, además de contaminar fuentes de agua, hortalizas, suelo y dañar la salud humana (3).

### 3.4.2. *Salmonella*

Es un bacilo gram negativo, puede encontrarse en aguas residuales, aguas industriales, suelo contaminado, heces fecales humanas y animales. Tiene un rango de temperatura entre 5 -  $47^{\circ}\text{C}$  para su crecimiento, aunque las condiciones óptimas son a  $37^{\circ}\text{C}$  y pH 7 (3).

La presencia o detección de coliformes totales es un resultado presuntivo positivo de la presencia de *Salmonella* sp., debido a que presentan características similares. Al igual que los coliformes totales, se presentan diversas variedades, de las cuales algunas son inocuas y otras patógenas. Las principales especies patógenas son *Salmonella typhi* y *Salmonella paratyphi* A, B, C, responsables de septicemia, fiebre entérica y fiebre tifoidea. Lo anterior hace importante el

control sanitario de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, cuando estos son utilizados como abonos o mejoradores de suelos (3).

### 3.4.3. Helmintos

Este grupo incluye a los Platelminotos (gusanos planos), Nematodos y Céstodos (gusanos cilíndricos), con especies patógenas e inócuas. Dentro del grupo de los helmintos se encuentran una gran cantidad que no son parásitos del hombre y viven en forma libre en suelo y agua. El estadio de mayor interés sanitario es el de huevo, por ser la fase de propagación (3,9).

Estudios de las diarreas infecciosas y las parasitosis en Centro América han demostrado que los parásitos, del grupo helmintos, más importantes para la evaluación sanitaria son *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichuria*, uncinarias *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus*. *Ascaris lumbricoides*. Estos se utilizan como indicadores de la eliminación de parásitos por los sistemas de tratamiento debido a su alta resistencia a condiciones ambientales. Puede sobrevivir hasta aproximadamente 7 años en suelos húmedos y sombríos, subterráneos; se puede reducir su sobrevivencia por exposición al sol y desecación (3,9).

### 3.4.4. Posibles infecciones relacionadas (10).

- a) **Categoría I:** los organismos causantes son virus, protozoos y helmintos expulsados en las excretas. Son infecciosos inmediatamente al producirse la excreción, tienen baja infectividad media. La transmisión es principalmente en ambientes domésticos inmediatos, mala higiene personal.
- b) **Categoría II:** los agentes causantes son bacterias excretadas en las heces. Tienen una capacidad de infección inmediata a la excreción, moderadamente persistentes, pueden multiplicarse fuera del hospedero.
- c) **Categoría III:** los agentes causantes son helmintos transmitidos por el suelo, latentes y persistentes. Estos helmintos no requieren hospederos intermediarios. Cuando se utilizan en agricultura aguas residuales no tratadas propagan enfermedades.
- d) **Categoría IV:** las infecciones son causadas por *Taenia saginata* y *Taenia solium*. Son transmitidas al ser ingeridos huevos viables por rumiantes, posiblemente de pastos regados con aguas residuales.

- e) **Categoría V:** comprende los helmintos que requieren de hospederos acuáticos intermediarios, para completar el ciclo vital. Los agentes patógenos pueden necesitar uno o dos hospederos intermediarios acuáticos. Son de distribución geográfica limitada y solo en áreas endémicas aumenta la transmisión.
- f) **Categoría VI:** comprende la enfermedades transmitidas por insectos vectores. Estos vectores proliferan en heces o lodos ricos en materia fecal y pueden acarrear en patas y tracto gastrointestinal gran número de patógenos. El control es evitando su contacto con los mismos.

### **3.5. Legislación relacionada con la disposición de desechos sólidos**

Para Guatemala se encuentran de artículos de diferentes decretos y leyes que tienen relación con la disposición de desechos sólidos y sus efectos. En este caso particular se enumeran a continuación los más relevantes relacionados con lodos.

En el artículo 97 de la Constitución Política de la República determina que el Estado, las municipalidades y los habitantes tienen la obligación de propiciar el desarrollo social, técnico y económico previniendo la contaminación ambiental y mantenimiento del equilibrio ecológico (14).

El Código Municipal establece en el artículo 56 que debe ser creada la comisión de protección del ambiente y patrimonio cultural, siendo la responsable de velar por protección ambiental. En el artículo 112 se establece la responsabilidad de la municipalidad en el establecimiento, funcionamiento y administración del servicio de agua potable y sus correspondientes instalaciones, equipos y red de distribución, alcantarillado y drenajes generales y particulares (13).

La Ley de Sanidad Vegetal y Animal determina en el artículo 6 que el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) tiene la obligación de evitar y prevenir la introducción y difusión de plagas y enfermedades que amenacen la seguridad alimentaria, producción agropecuaria, forestal e hidrobiológica y comercio internacional de la misma. Además es responsable de regular el uso, manejo, fabricación, almacenaje, comercialización, registro, importación, calidad y residuos de sustancias químicas, quimicofarmacéuticas, biológicas y afines para uso específico en actividades agrícolas, pecuarias, forestales e hidrobiológicas (15).

La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, al igual que el Código Municipal, en artículo 1 establece la responsabilidad del Estado, Municipalidades y habitantes para propiciar el desarrollo social, económico, tecnológico previniendo el deterioro ambiental. El artículo 5 define que la descarga y emisión de contaminantes que afecten a los sistemas y elementos deben sujetarse a las normas y reglamentos establecidos. El suelo, subsuelo y límites de aguas nacionales no pueden servir de reservorio de desperdicios contaminados del medio ambiente o radioactivos, según el artículo 6. El artículo 7 define claramente que no está autorizada la disposición de lodos tratados o no contaminados con bacterias, virus, huevos, entre otros. El artículo 12 define que son objetivos específicos de la ley la prevención, regulación y control de cualquier actividad que origine deterioro o contaminación ambiental. El inciso c del artículo 15, establece que el Gobierno tiene la obligación de revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas, determinar en que casos debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora (16).

El Ministerio de Salud en conjunto con otras entidades gubernamentales, tiene la función de establecer los límites de exposición y calidad ambiental permisibles a contaminantes ambientales de origen químico, físico o biológico, según artículo 69 del Código de Salud. Artículo 70: Es responsabilidad del Ministerio de Salud, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Municipalidades y comunidad establecer un sistema de vigilancia de la calidad ambiental sustentado en los límites permisibles de exposición. El artículo 102 determina que es responsabilidad de la Municipalidad el sistema de disposición de desechos sólidos, pero el Ministerio de Salud y Comisión Nacional del Medio Ambiente establecen el lugar. No se pueden disponer los desechos sólidos sin una autorización, con el fin de evitar la contaminación ambiental y detrimento de la salud humana, según artículo 103 (17).

Las leyes y códigos existentes en Guatemala norman la disposición final de desechos sólidos y establecen las responsabilidades de las instituciones involucradas, mas no determinan normas de manejo o límites permisibles de concentración de contaminantes químicos, físicos o biológicos. Los artículos tienen como objetivo evitar el detrimento ambiental y de la salud humana, conservación de los ecosistemas naturales y conservación de los recursos naturales del país. Por lo que podemos establecer la carencia de normas ambientales que determinen los límites

permisibles de contaminantes para lodos o desechos sólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales, debido a lo que utilizamos los criterios internacionales.

### **3.6. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I fue planificada por el Banco Nacional para la Vivienda (BANVI) con el fin de atender el caudal de aguas negras generado por el complejo habitacional de Nimajuyú I (18). (Anexo 1: Diagrama de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Anexo 2: Fotografías de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I)

Esta se halla localizada atrás del Edificio 18-15 "B" hacia el este, colindando al oeste, norte y sur con viviendas de Nimajuyú I, colinda hacia el este con un río que afluye al Río Villa Lobos. El terreno es irregular en la parte superior de la ribera del río y consiste de la combinación de diversos procesos físicos y biológicos (18).

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nimajuyú I cuenta con los siguientes elementos para su funcionamiento: canal de rejas, unidad de retiro de material flotante, tanques Imhoff, filtro percolador, sedimentador secundario, patio de secado de lodos, guardianía, canalización de agua pluviales, caminamientos internos (18).

El proceso utilizado en la planta de Nimajuyú I es el siguiente: (18).

- a) **Canal de rejas:** Consiste en un canal de recolección del afluente del agua que pasa a través de un filtro de rejilla para la remoción de los sólidos más grandes.
- b) **Tratamiento primario:** El caudal proveniente del canal de rejas es sedimentado en tanque Imhoff, con esto se remueve entre 40-60% de los sólidos sedimentables por gravedad. Estos sólidos o lodos son tratados con digestión anaerobia.
- c) **Filtros percoladores:** Este es un proceso biológico por medio del cual se degrada la materia orgánica por oxidación-reducción con la ayuda de bacterias aerobias. El agua pasa a través de un filtro de roca volcánica de diámetros irregulares, de tal forma que se retienen parte de los sólidos que habían presentes.
- d) **Sedimentación secundaria:** El un proceso de sedimentación por gravedad, se realiza en tanques especiales que recolectan el sedimento y decantan el agua a la siguiente etapa.
- e) **Canal afluente:** Luego de haberse llevado a cabo todos los procesos de desinfección el agua es vertida por el canal de afluente de regreso al sistema de agua del país.

f) **Lodos:** Los lodos obtenidos de los tanques Imhoff (sedimentador primario) y los del sedimentador secundario son transportados por los canales de lodo hacia los patios de secado, donde permanecen hasta quedar deshidratados por el sol. Luego del proceso de secado al sol, estos son desechados, en algunos casos son utilizados como relleno de taludes o material de relleno sanitario.

#### IV. Justificación

Los lodos presentan una rica fuente de nutrientes para los suelos, por lo que pueden ser utilizados como abono natural o mejoradores de suelos. La aplicación de los mismos con fines agrícolas o forestales debe ser evaluada, por el peligro de transmisión de enfermedades.

Estos representan una potencial fuente de dispersión de microorganismos patógenos, debido a que concentran gran cantidad de elementos contaminantes, químicos y biológicos, durante su recolección. Por lo que pueden afectar los suelos para agricultura y ganadería, cultivos, aguas de riego, cuerpos de agua subterráneas, cuerpos de agua para consumo y recreación humana. A pesar esto, en Guatemala, los lodos son desechados sin un control específico. Además actualmente no se cuenta con programas de aprovechamiento o reutilización de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, y no existen leyes o reglamentos que regulen la disposición de estos.

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, los lodos producidos son tratados mediante secado por sol y dispersados en áreas cercanas o utilizados como material de relleno de taludes. El proceso de desecación por sol tiene como fin la compactación, deshidratación y disminución de concentraciones de microorganismos patógenos, es bastante efectiva para bacterias, mas no para huevos de helmintos.

El presente trabajo de investigación se centró en los análisis microbiológicos para lodos de desecho con el fin de utilizarlos como mejoradores de suelos. Los parámetros microbiológicos de interés son el Grupo coliformes, *Salmonella* sp. y helmintos. Los métodos a utilizados fueron la Técnica de fermentación en tubo múltiple para coliformes, conteo en placa para *Salmonella* sp. y técnica de Stoll modificada para huevos de helmintos. Se realizaron pruebas con muestras tomadas en las épocas de verano e invierno con el fin de determinar si cumplen con las normas utilizadas.

Con los resultados se proveyó a la autoridad competente, Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA) de información para determinar el uso más adecuado de estos lodos y recomendar el uso de éstos, como mejoradores de suelos. Además sirvió para verificar el adecuado funcionamiento de la planta en este aspecto. Las pruebas utilizadas para determinar la calidad sanitaria de los lodos permitieron formular recomendaciones relacionadas con la disposición final de éstos sin constituirse en una fuente adicional de contaminación del suelo, agua y otros recursos, así como de la salud humana.



## V. Objetivos

1. Determinar y cuantificar coliformes fecales, coliformes totales, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp. y huevos de helmintos viables en muestras de los lodos producidos por la planta de tratamiento de agua, colectadas en la época seca y lluviosa.
2. Evaluar la efectividad del tratamiento de secado al sol llevado a cabo a los lodos producidos por la planta de tratamiento de agua.
3. Identificar aplicaciones potenciales de los lodos producidos por la planta de tratamiento de agua.

## VI. Hipótesis

El tratamiento de secado empleado en los lodos de desecho producidos por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, Zona 21, es adecuado para disminuir por debajo de los valores aceptados las concentraciones del Grupo coliformes, *Salmonella* sp. y huevos de helmintos.

## **VII. Materiales y Métodos**

### **7.1. Universo de trabajo**

El universo de trabajo estuvo constituido por lodos provenientes del tanque de sedimentación y patio de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, Zona 21.

#### **7.1.1. Muestra**

La presente investigación estuvo constituida por 32 muestras compuestas de lodos colectados en cuatro fechas del año (dos en la época seca y dos en la época lluviosa), provenientes de los tanques de sedimentación (lodos húmedos) y patio de secado (lodos secos) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, ubicada en la Zona 21 de la Ciudad de Guatemala. Las muestras fueron analizadas con el fin de determinar la presencia y cuantificación de coliformes fecales, coliformes Totales, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp. y huevos de helmintos.

### **7.2. Medios**

#### **7.2.1. Recursos Humanos**

- Tesista Responsable  
Heidi Karina Piérola Kyllmann
- Asesora de Tesis  
MSc. Karin Herrera
- Co-Asesor de Tesis  
Lic. Hayro García

### 7.2.2. Recursos Institucionales

- Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán (AMSA), Presidencia de la República de Guatemala
- Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Nimajuyú I, Zona 21
- Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
- Bibliotecas de la Universidad de San Carlos de Guatemala
- Bibliotecas de la Universidad del Valle de Guatemala
- Biblioteca de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS)

### 7.3. Materiales

#### 7.3.1. Equipo

Estufa

Hielera

Refrigeradora

Baño María

Stomacher

Autoclave

Balanza semianalítica

Pipeta automática con capacidad de 10 ml

Pipeta automática con capacidad de 1.0 ml

Pipeta automática con capacidad de 0.1 ml

Campana de flujo laminar con luz ultravioleta

Microscopio binocular con objetivos 10X, 40X y 100X

Incubadora con rango de temperatura de  $45.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$

Incubadora con rango de temperatura de  $35.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
BIBLIOTECA CENTRAL

### 7.3.2. Reactivos

Agua Destilada

Agua Destilada Estéril

Agua Peptonada al 0.01 %

Caldo *E. Coli*

Caldo Lauril Sulfato Triptosa

Caldo Bilis Verde Brillante

Hidróxido de Sodio 0.1N

Azul de Metileno al 0.3 %

Agar de Levine Eosina y Azul de Metileno (L-EMB)

Salmosyst Caldo Base

Salmosyst Suplemento Selectivo Tabletetas

Agar Rambach

### 7.3.3. Cristalería y materiales

40 vidrios de reloj

100 campanillas de Durham

300 tubos de ensayo de vidrio con tapón de rosca, resistentes a autoclave

5 gradillas de plástico con capacidad de 40 tubos de ensayo

40 frascos plásticos de boca ancha con tapón de rosca , con capacidad aproximada de ¼ de galón

100 portaobjetos de vidrio, de 3 x 1" de tamaño

100 cubreobjetos de vidrio, de 22x40mm de tamaño

40 frascos de vidrio de boca ancha con tapón de rosca, con capacidad aproximada de 100 ml

varillas de vidrio

pipetas de vidrio con capacidad de 10 ml

puntas para pipeta automática con capacidad de 1.0 ml

puntas para pipeta automática con capacidad de 0.1 ml

elenmeyer de vidrio con capacidad para 250 ml, 500 ml, 1000 ml

cajas de petri plásticas desechables

aza de nicromo en argolla

100 bajalenguas de madera estériles

100 bolsas ziploc  
papel encerado  
papel aluminio  
tijeras  
pinza  
espátula  
masking tape  
cordel  
marcador indeleble  
papel para envolver kraft  
libreta de campo  
libreta de laboratorio  
lápiz  
lapicero  
guantes descartables  
mascarilla descartable

#### 7.4. Métodos

##### 7.4.1. Aislamiento e identificación de coliformes fecales, coliformes Totales y *Escherichia coli*

Se utilizó la Técnica de Fermentación en Tubo Múltiple (Número Más Probable) en juego de tres (3) tubos, para el Grupo coliformes.

- a) Pesar asépticamente 25.0 gr de muestra, agregar esta cantidad a 225 ml de Agua Peptonada al 0.01%, estéril.
- b) Mezclar la muestra por medio de movimientos circulares durante 1-2 minutos para su homogenización.
- c) Tomar una muestra de 10 ml de la suspensión e inocular en un tubo de ensayo conteniendo Caldo Lauril Sulfato Triptosa y una Campanilla de Durham. Se realiza por triplicado.
- d) Repetir el procedimiento para muestras de 1.0 ml y 0.1 ml de la suspensión. Cada serie se realiza por triplicado.

- e) Incubar los tubos de ensayo inoculados a 35°C por un periodo de 24 horas.
- f) Después de 24 horas observar la formación de gas, lo cual es una reacción presuntiva positiva.
- g) Tomar una asada con un asa estéril del tubo de ensayo con reacción presuntiva positiva e inocular en un tubo con Caldo Bilis Verde Brillante con Campanilla de Durham, se incuban a 35°C por 24-48 horas. A partir del número de tubos de ensayo que reporten una reacción positiva determinar el NMP para coliformes totales.
- h) Tomar una asada con un asa estéril del tubo de ensayo con reacción presuntiva positiva en un tubo de ensayo con Caldo *E. coli* con Campanilla de Durham, incubar a 44.5°C por 24 horas. A partir del número de tubos de ensayo que reporten una reacción positiva determinar el NMP para coliformes fecales.
- i) De los tubos inoculados positivos para Caldo *E. coli* tomar una asada y sembrar en estrías en cajas de petri con Agar L-EMB.
- j) Incubar las cajas de petri con Agar L-EMB a 35°C por 24 horas.
- k) Contar las colonias con centro oscuro o sin brillo metálico, como positivas para *E. coli*.
- l) Realizar las pruebas bioquímicas confirmatorias necesarias.

#### 7.4.2. Aislamiento e identificación de *Salmonella* sp.

- a) Pesar asépticamente 25.0 gr de muestra, agregar esta cantidad a 225 ml de Caldo Base Salmosyst.
- b) Mezclar la muestra por medio de movimientos circulares durante 1-2 minutos para homogenización.
- c) Incubar los frascos a 35°C por un periodo de 6 a 8 horas.
- d) Homogenizar por medio de movimientos circulares.
- e) Tomar una muestra de 10 ml de la suspensión y colocar en un tubo de ensayo estéril. Agregar una Tableta de Suplemento Selectivo Salmosyst.
- f) Incubar los tubos de ensayo a 35°C por un periodo de 24 horas.
- g) Inocular una asada y sembrar en estrías en cajas de petri con Agar Rambach.
- h) Incubar cajas de petri a 35°C por un periodo de 24 horas.
- i) Contar las colonias de color rojo, como positivas para *Salmonella* sp.

### 7.4.3. Aislamiento e identificación de huevos de helmintos

Se utilizó la Técnica de Stoll modificada.

- a) Preparar una suspensión de Hidróxido de Sodio 0.1N al 10% según el Método de Stoll Modificado.
- b) Agitar vigorosamente sin formar remolino.
- c) Reposar 5 minutos, luego agitar de nuevo.
- d) Tomar 0.04 ml de la suspensión y colocar en un portaobjetos de 3 x 1".
- e) Agregar una gota de Azul de Metileno al 0.3% y cubrir con una lámina cubreobjetos de 22x40mm
- f) Con la ayuda de microscopio binocular a un aumento de 100x observar y cuantificar los huevos. Los huevos no viables toman el color del Azul de metileno y presentan cambios en la morfología.
- g) Cuantificar los huevos viables encontrados. El número determinado se multiplica por el factor 250.
- h) El resultado se expresa como huevos de helmintos por gramo de muestra (HE/g). Calcular la cantidad de huevos viables y no viables.

### 7.4.4. Diseño Experimental

El presente trabajo de investigación fue un estudio descriptivo y cuantitativo, se trabajó con un muestreo no probabilístico por conveniencia.

Las muestras fueron de tipo compuesto, tomadas en las épocas seca y lluviosa, dos veces para cada temporada. Los puntos de muestreo del sedimentador y patio de secado se escogieron en puntos estratégicos seleccionados por personal de Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA). Se colectaron cuatro muestras secas del patio de secado y cuatro muestras húmedas del sedimentador, por muestreo.

### Análisis de Datos

Por ser un muestreo no probabilístico se utilizó estadística descriptiva sobre los datos de cuantificación de las variables de interés y se clasificaron según si los resultados cumplían o no con los parámetros establecidos por Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamientos, para lodos de desecho.



## VIII. Resultados

Se colectaron 32 muestras de lodos correspondientes a los sedimentadores y patios de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I. Las muestras húmedas corresponden a los sedimentadores y las muestras secas a los patios de secado. Las muestras se distribuyeron de la siguiente manera, 8 muestras secas de época seca, 8 muestras secas de época lluviosa, 8 muestras húmedas de época seca y 8 muestras húmedas de época lluviosa. Los meses de mayo y noviembre corresponden a la época seca, junio y julio a la época lluviosa.

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de los análisis para coliformes fecales, *Salmonella* sp y huevos de helmintos, correspondientes a las muestras húmedas y secas tomadas en época seca (mayo y noviembre) y época lluviosa (junio y julio). Las muestras con la mayor concentración de coliformes fecales corresponden a muestras húmedas de la época lluviosa, 2,400,000 NMP/g y 4,600,000 NMP/g para el mes de junio y 2,100,000 NMP/g para el mes de julio. Como se puede apreciar en esta tabla todas las muestras analizadas sobrepasan el límite permitido de coliformes fecales para el uso sin restricción de los lodos (<1,000 NMP/g). La presencia de *Salmonella* sp. fue negativa para todas las muestras, por lo que todas las muestras cumplen con el límite establecido de <100 NMP/g. El valor más alto de huevos de helmintos viables fue determinado para la primer muestra seca del mes de julio (época lluviosa) 1,000 hv, esta reporta también el mayor número de huevos de helmintos no viables 1,000 hnv. Todos los valores reportados para las muestras analizada fue menor al límite permitido (5 HE viable/g). Debe considerarse que el número de huevos de helmintos observados en las muestras analizadas se multiplicó por 250, según se indica en la técnica utilizada.

Los valores de los límites permitidos para el uso sin restricción de los lodos fueron tomados del documento: Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamiento, <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html>.

**Tabla 1.** Resultados de recuentos de coliformes fecales, *Salmonella* sp. y huevos de helmintos.

Fecha de muestreo	Tipo de Muestra	Coliformes fecales NMP/g	<i>Salmonella</i> sp. UFC/g	Huevos de helmintos huevos/g
mayo	seca	60,000	0	0 hv / 250 hnv
mayo	seca	90,000	0	0 hv / 500 hnv
mayo	seca	<30,000	0	250 hv / 0 hnv
mayo	seca	40,000	0	500 hv / 0 hnv
mayo	húmeda**	930,000	0	0 hv / 0 hnv
mayo	húmeda	230,000	0	0 hv / 0 hnv
mayo	húmeda	230,000	0	250 hv / 0 hnv
mayo	húmeda	430,000	0	0 hv / 250 hnv
junio	seca	640,000	0	500 hv / 250 hnv
junio	seca	210,000	0	0 hv / 0 hnv
junio	seca	<30,000	0	250 hv / 250 hnv
junio	seca	<30,000	0	0 hv / 0 hnv
junio	húmeda	2,400,000	0	250 hv / 500 hnv
junio	húmeda	4,600,000	0	0 hv / 0 hnv
junio	húmeda	90,000	0	0 hv / 250 hnv
junio	húmeda	230,000	0	0 hv / 500 hnv
julio	seca	200,000	0	1,000 hv / 1,000 hnv
julio	seca	140,000	0	500 hv / 750 hnv
julio	seca	150,000	0	0 hv / 0 hnv
julio	seca	70,000	0	250 hv / 0 hnv
julio	húmeda	2,100,000	0	750 hv / 0 hnv
julio	húmeda	750,000	0	500 hv / 0 hnv
julio	húmeda	230,000	0	250 hv / 0 hnv
julio	húmeda	210,000	0	0 hv / 0 hnv
noviembre	seca	210,000	0	0 hv / 0 hnv
noviembre	seca	280,000	0	500 hv / 250 hnv
noviembre	seca	110,000	0	500 hv / 250 hnv
noviembre	seca	40,000	0	750 hv / 0 hnv
noviembre	húmeda	40,000	0	0 hv / 0 hnv
noviembre	húmeda	90,000	0	500 hv / 250 hnv
noviembre	húmeda	1,200,000	0	0 hv / 0 hnv
noviembre	húmeda	1,200,000	0	0 hv / 0 hnv

NMP = Número más probable

g = Gramo

UFC = Unidad formadora de colonias

hv = Huevo viable de helminto

hnv = Huevo no viable de helminto

\* Los lodos secos presentan una capa superior generalmente algo dura, son fragmentables, de color claro, livianos, el fondo es de textura suave, levemente húmeda.

\*\* Los lodos húmedos están compuestos por sólidos del agua negra, con un olor semejante a materia fecal, color oscuro, inestables y putrescibles, textura suave, aspectos arenoso o arcilloso, acuosos.

**Tabla 2.** Cumplimiento de los parámetros evaluados según los resultados obtenidos.

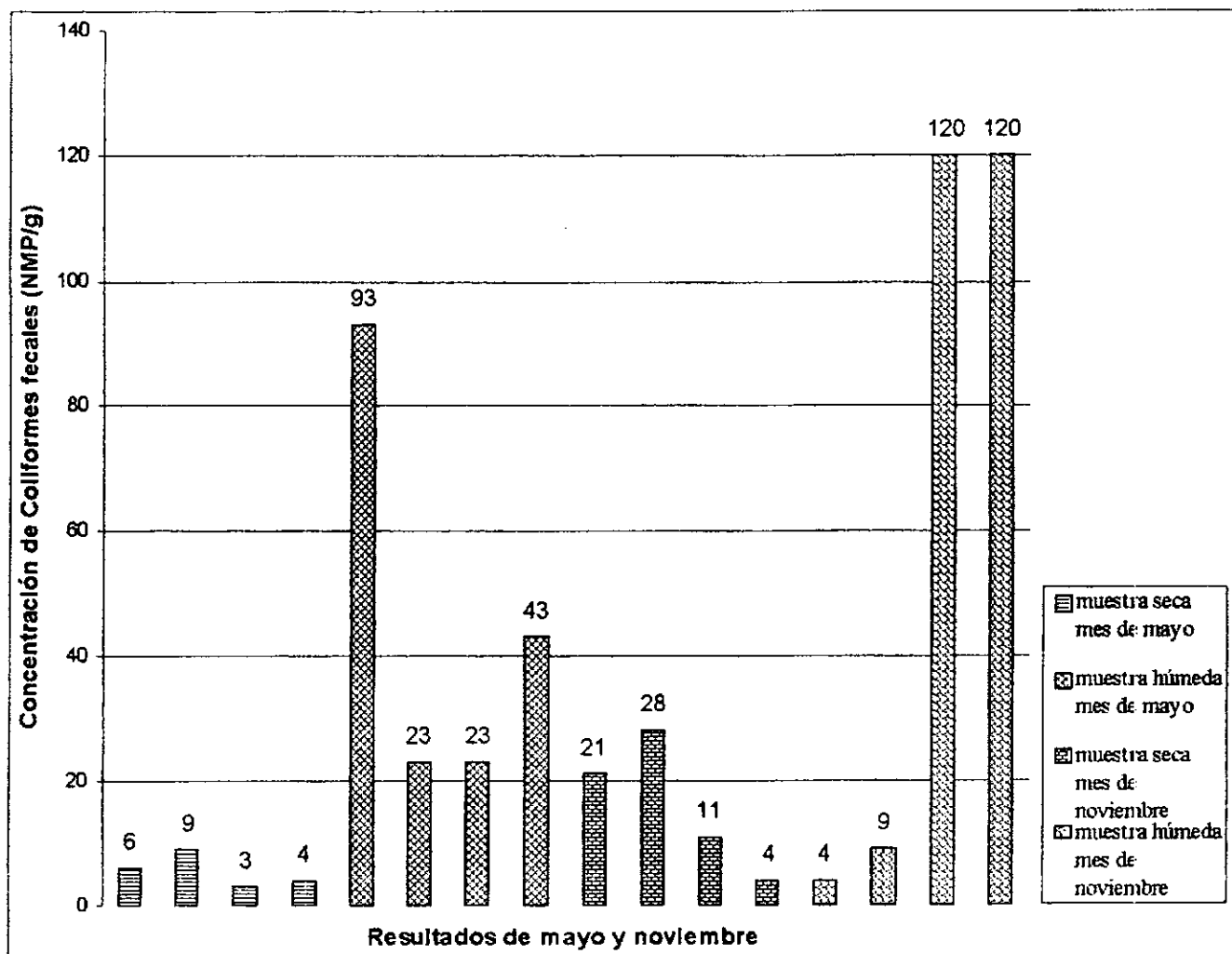
Fecha de muestreo	Tipo de Muestra	Coliformes fecales <1000 NMP/g	<i>Salmonella</i> sp. <100 NMP/g	Huevos de helmintos <5 huevos viables/g
mayo	seca	no	si	si
mayo	seca	no	si	si
mayo	seca	no	si	si
mayo	seca	no	si	si
mayo	húmeda	no	si	si
mayo	húmeda	no	si	si
mayo	húmeda	no	si	si
mayo	húmeda	no	si	si
junio	seca	no	si	si
junio	seca	no	si	si
junio	seca	no	si	si
junio	seca	no	si	si
junio	húmeda	no	si	si
junio	húmeda	no	si	si
junio	húmeda	no	si	si
junio	húmeda	no	si	si
julio	seca	no	si	si
julio	seca	no	si	si
julio	seca	no	si	si
julio	seca	no	si	si
julio	húmeda	no	si	si
julio	húmeda	no	si	si
julio	húmeda	no	si	si
julio	húmeda	no	si	si
noviembre	seca	no	si	si
noviembre	seca	no	si	si
noviembre	seca	no	si	si
noviembre	seca	no	si	si
noviembre	húmeda	no	si	si
noviembre	húmeda	no	si	si
noviembre	húmeda	no	si	si
noviembre	húmeda	no	si	si

En la presente tabla se determina si la muestra cumple o no con el límite establecido para los parámetros analizados, los cuales fueron coliformes fecales, *Salmonella* sp. y huevos viables de helmintos.

\* No, significa que no cumple con el límite establecido para el parámetro evaluado.

\*\* Si, significa que si cumple con el límite establecido para el parámetro evaluado.

**Gráfica 1.** Resultados de coliformes fecales para lodos de la época seca

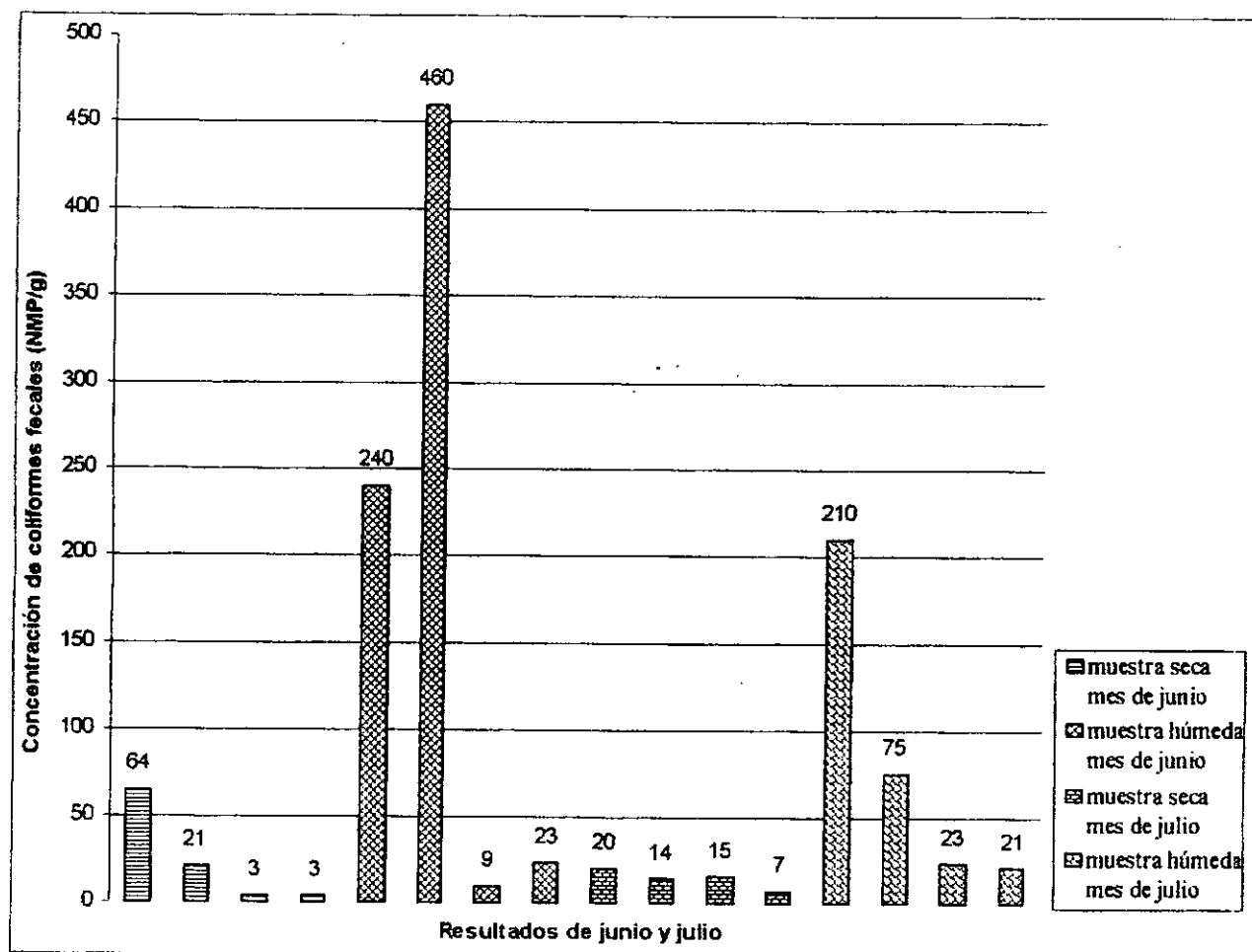


\* Los valores de concentración en el eje Y deben ser multiplicados por el factor de 10,000.

Los resultados reportados en el eje X de la gráfica 1, se presentan los resultados para las muestras secas (líneas horizontales) y húmedas (cruces) del mes de mayo, muestras secas (ladrillos) y húmedas (tejas) del mes de noviembre. Mayo y noviembre corresponden a la época seca.

Como se puede apreciar en la presente gráfica la muestra 5 húmeda del mes de mayo (930,000 NMP/g), la muestra 15 húmeda del mes de noviembre (1,200,000 NMP/g) y las muestras 15 y 16 húmeda del mes de noviembre (1,200,000 NMP/g) presentan las mayores concentraciones de coliformes fecales para la época seca.

**Gráfica 2.** Resultados de coliformes fecales para lodos de la época lluviosa

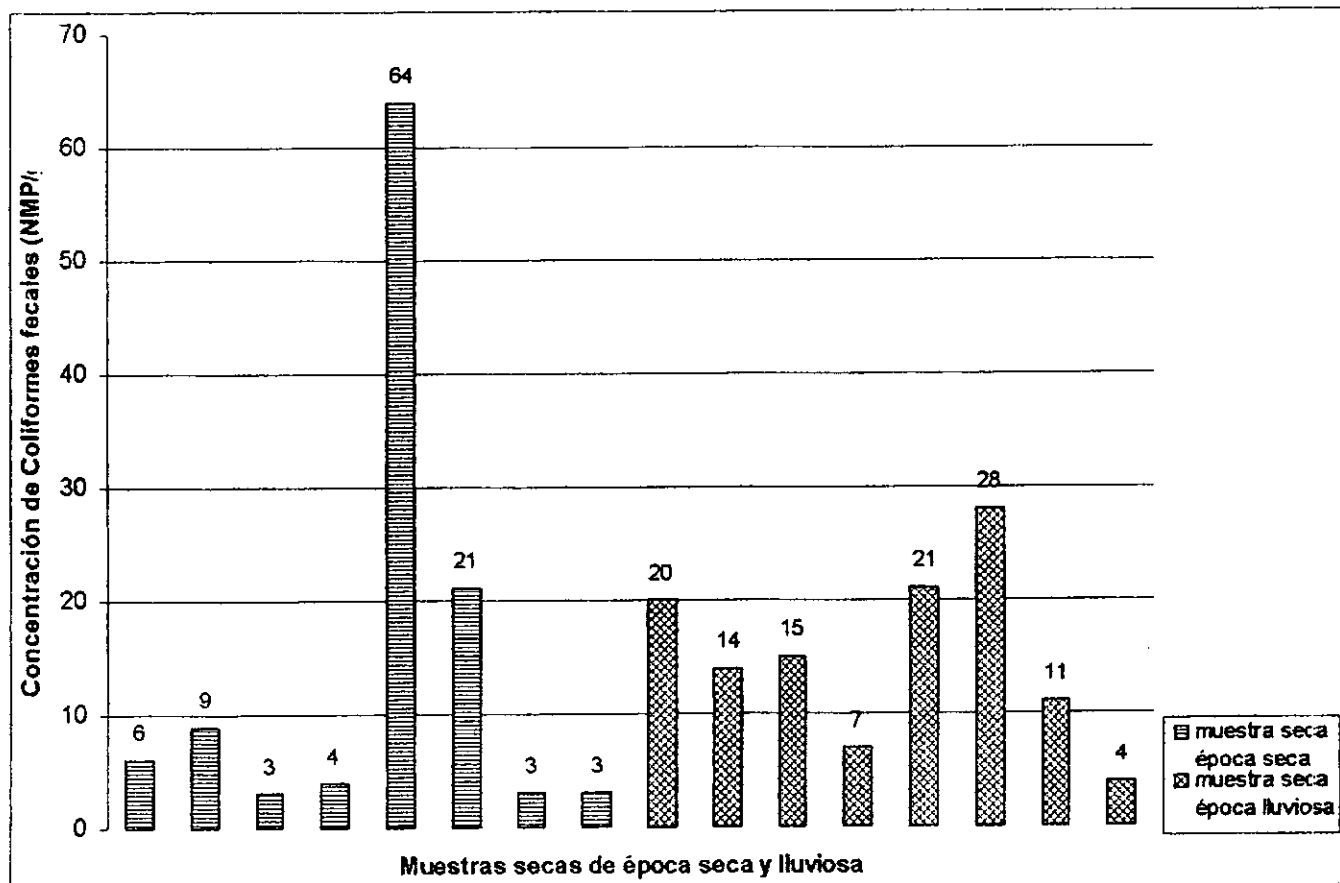


\* Los valores de concentración en el eje Y deben ser multiplicados por el factor de 10,000.

Los resultados reportados en el eje X de la gráfica 2, se presentan los resultados de las muestras secas (líneas horizontales) y húmedas (cruces) del mes de junio, muestras secas (ladrillos) y húmedas (tejas) del mes de julio. Junio y julio corresponden a la época lluviosa.

En la presente gráfica podemos observar que los valores correspondientes a las muestras 5 y 6 (muestras húmedas de junio) presentan valores por encima de 2,400,000 NMP/g para coliformes fecales. Esto se debe a que en el mes de junio se reportaron las lluvias más fuertes y frecuentes, lo que aumenta la cantidad de materia orgánica transportada por escorrentía.

**Gráfica 3.** Comparación de los resultados de coliformes fecales para muestras secas de la época seca y lluviosa.

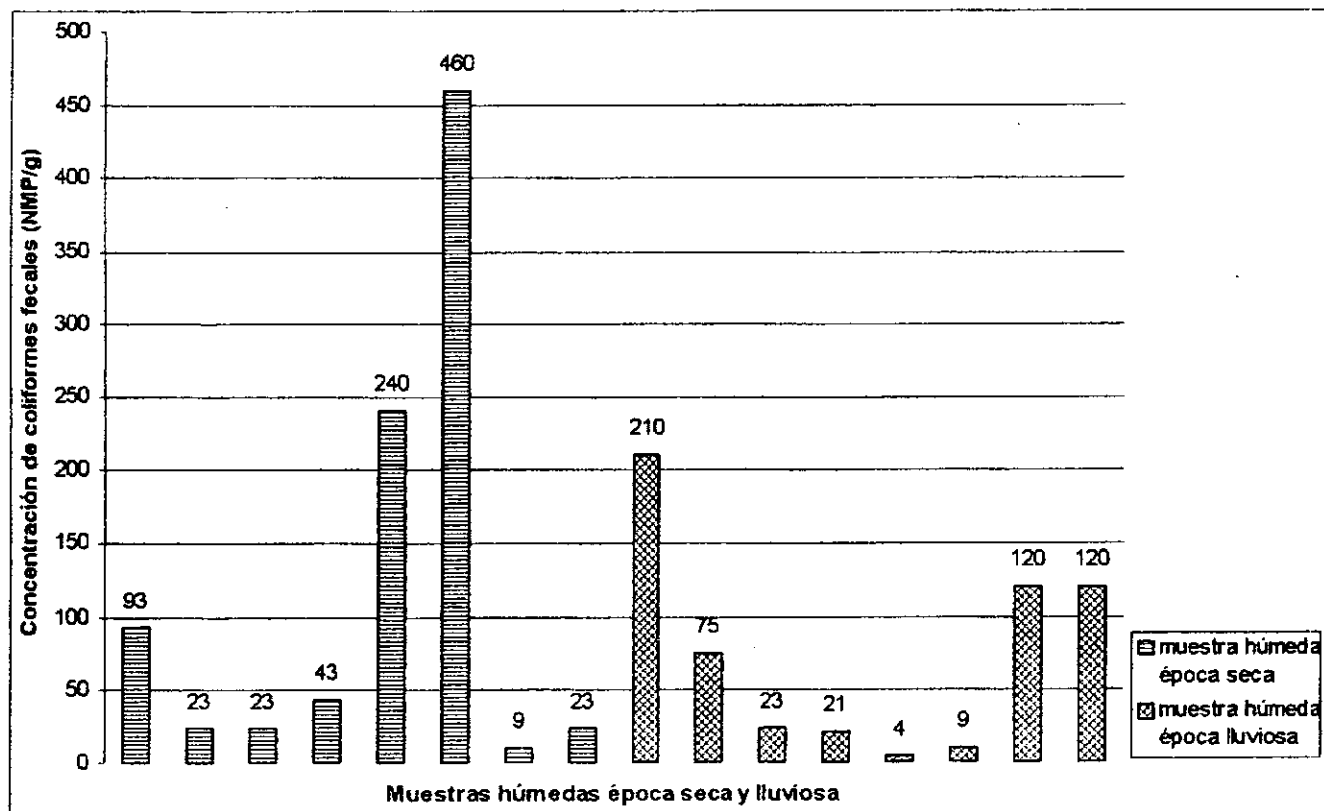


\* Los valores de concentración en el eje Y deben ser multiplicados por el factor de 10,000.

Los resultados reportados en el eje X de la gráfica 3, se presentan los resultados para las muestras secas de la época seca (mayo y noviembre) con diseño de líneas horizontales y de la época lluviosa (junio y julio) con diseño de cruces.

En esta gráfica podemos apreciar los resultados comparativos de las muestras secas correspondientes a las dos épocas de muestreo, seca y lluviosa. Para la muestra 5 se reportó un valor de 640,000 NMP/g de coliformes fecales, esto corresponde al mes de junio. Estos resultados corresponden al mes en el que registró más lluvia.

**Gráfica 4.** Comparación de los resultados de coliformes fecales para muestras húmedas de la época seca y lluviosa.



\* Los valores de concentración en el eje Y deben ser multiplicados por el factor de 10,000.

Los resultados reportados en el eje X de la gráfica 4, se presentan los resultados para las muestras húmedas secas de la época seca (mayo y noviembre) con diseño de líneas horizontales y de la época lluviosa (junio y julio) con diseño de cruces.

En esta gráfica se presenta la comparación de los valores obtenidos para el análisis de coliformes fecales para las muestras húmedas de la época seca y lluviosa. Los resultados reportados para las muestras 5 y 6 corresponden al mes de junio, esto puede deberse al aumento de materia orgánica y material en descomposición que es acarreado por las escorrentía de lluvia.

## IX. Discusión de resultados

Se colectaron lodos de los sedimentadores y patios de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, Zona 21 con el fin de determinar coliformes fecales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp. y huevos de helmintos. Se tomaron en total 32 muestras, divididas en muestras secas y húmedas para las épocas seca y lluviosa.

Los efectos generales en el cambio climático modificaron el periodo de la estación seca y lluviosa. Es por tal motivo que las muestras de mayo y noviembre corresponden a la época seca y las de junio y julio. En la época lluviosa las lluvias fueron frecuentes y en ciertas ocasiones torrenciales.

Los lodos de los sedimentadores al ser purgados son depositados en tanques de concreto descubiertos y expuestos al aire y sol. Esto se realiza con el fin de deshidratarlos para posteriormente desecharlos en forma sólida. El tiempo de permanencia de los lodos en estos patios de secado varía (6 a 18 meses).

Las muestras fueron de tipo compuesto y se homogenizaron con el fin de obtener resultados más representativos para cada uno de los parámetros analizados.

Con base en los datos presentados en la tabla 1, se pueden observar los resultados obtenidos para coliformes fecales, *Salmonella* sp. y huevos de helmintos. Las concentraciones de coliformes fecales, según los resultados obtenidos, son todos mayores a 1,000 NMP/g. Según de los objetivos planteados podemos determinar que el proceso de secado no es adecuado para disminuir la concentración de coliformes fecales por debajo del límite definido. Con relación a las muestras húmedas se observa que estas presentan generalmente una mayor concentración que las muestras secas. Esto puede deberse a que el proceso de secado al sol disminuye la cantidad de coliformes activos y la lluvia aumenta la cantidad de material orgánico acarreado hacia los drenajes y fuentes colectores de aguas negras. Al comparar los resultados para la época seca y lluviosa no se encuentra una diferencia significativa entre las mismas. El 85% de los resultados de ambas épocas se encuentra por debajo de 1,000,000NMP/g.

Los huevos de *Ascaris lumbricoides* son muy resistentes a las condiciones climáticas y en el agua, es por lo que se le utiliza como referencia para la eliminación de parásitos por el sistema de lodos. Estos pueden tardar un promedio de 2 años en el suelo. De los huevos observados se pudieron identificar huevos de *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichuria* y *Taenia* sp., de los cuales se observaron huevos viables y no viables.

1108. EDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
BIBLIOTECA CENTRAL



diferenciaron por medio de la tinción de azul de metileno. La muestra que presenta el mayor número de huevos viables y no viables, corresponde a una de las muestras secas del mes de julio, época lluviosa. Según los resultados obtenidos podemos observar que todas las muestras cumplen con el límite establecido, <5 huevos viables de helmintos.

El análisis de *Salmonella* sp. fue negativo para las muestras secas y húmedas de las épocas seca y lluviosa. Debido a que la *Salmonella* es un organismo que generalmente se presenta en concentraciones muy bajas, se recomienda utilizar otra metodología para su identificación y cuantificación.

Los lodos secos y húmedos correspondientes a los patios de secado y sedimentadores no pueden ser utilizados como mejoradores sin restricción de suelos debido a que no cumplen con uno de los tres parámetros definidos. Los lodos es necesario que sean tratados previa disposición con el fin de disminuir el riesgo ambiental y contaminación de suelos y vegetación del área. Además del tratamiento se deben tomar en consideración el área de descarte, cercanía de acuíferos superficiales y subterráneos, geología, pendiente, cultivos, presencia de comunidades, entre otros. Por lo que se recomienda realizar estudios en el área de disposición para no afectar el equilibrio natural que pueda existir, además de disminuir los riesgos de una contaminación local que pueda expandirse. Esto es con el fin de conservar el equilibrio natural lo menos alterado posible y evitar una expansión descontrolada de estos agentes contaminantes. Los usos que se pueden dar a los lodos en base de los resultados no pueden ser definidos por la falta de información sobre metales pesados, insecticidas y otros organismos dañinos al ambiente.

Por lo anteriormente expuesto se determina que la hipótesis planteada no es válida respecto de la concentración de coliformes fecales en ninguna de las muestras analizadas. Es por tanto que se determina que el proceso de secado al sol no es adecuado para disminuir la concentración de coliformes por debajo del límite establecido de 1,000 NMP/g. Por lo que se considera que la planta no está funcionando adecuadamente y los lodos son fuente de contaminación microbiológica.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Nimajuyú I se encuentra actualmente a cargo de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA). Esta planta cuenta con una infraestructura completa, la cual fue rehabilitada para su funcionamiento por AMSA en 1997. El departamento de Ejecución de Proyectos de AMSA tiene a su cargo el funcionamiento y mantenimiento de la infraestructura de la planta y el

departamento de Control, Calidad Ambiental y Manejo del Agua tiene a su cargo la supervisión y control del buen funcionamiento de la misma. Se realizan análisis de calidad de agua cada 15 días para control, pero desde su rehabilitación no se han realizado análisis de los lodos de desecho. En la actualidad la planta se encuentra trabajando con excedente de 70 a 80% de su capacidad de caudal de entrada. El límite para la cual fue diseñado es de 11 litros/segundo, pero debido a la alta demanda del servicio de tratamiento de aguas vertidas trabaja con un promedio de 19 a 20 litros/segundo. Los lodos de desecho producidas por la misma han sido utilizados como abono y mejorador de suelo en viveros forestales y en algunos casos en sembradíos ubicados en la Cuenca del Lago de Amatitlán.

Según la legislación de Guatemala, las municipalidades son responsables de prestar el servicio de tratamiento de aguas domésticas para el municipio correspondiente. La Empresa Municipal de Agua de Guatemala (EMPAGUA) por medio de un acuerdo entregó la planta a AMSA para que se hiciera cargo de funcionamiento, debido a la falta de presupuesto para mantenerla. EMPAGUA tiene a su cargo los gastos de vigilancia y guardianía.

Según el Acuerdo Gubernativo 376-97 se estableció que el Instituto de Fomento Municipal (INFOM) será el organismo encargado de la coordinación y control de las Políticas y Estrategias del Sector Agua Potable y Saneamiento, pero no se definió que institución tendrá a su cargo la vigilancia y control del funcionamiento adecuado de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Por lo que determinar si una planta está funcionando adecuadamente recae sobre la entidad que tiene a su cargo el mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Como se puede leer en el artículo 97 de la Constitución Política de la República de Guatemala, el Estado, las municipalidades y los habitantes están obligados a prevenir la contaminación ambiental, dictaminar normas para garantizar la utilización y aprovechamiento de los recursos naturales incluyendo el agua. Además el gobierno por medio de sus instituciones regulará y velará por el aprovechamiento de los recursos y la protección ambiental.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), según la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente Decreto 68-86, tiene a su cargo el mejoramiento, la protección, conservación, prevención del deterioro o destrucción de los recursos naturales. Otras de sus funciones son prevenir, regular y controlar cualquier actividad que origine un deterioro ambiental.

El MARN tiene además a su cargo el uso integral y manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos, estas atribuciones son también determinadas como parte del campo de acción del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). El MARN tiene a su cargo velar y evaluar por la calidad del agua para uso humano y otras actividades, controlar el aprovechamiento del agua, revisar los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas, determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de desechos. Estas atribuciones también corresponden a las Municipalidades como responsables del servicio de tratamiento de agua residuales. Esta duplicidad de atribuciones provoca que se encuentre un traslape en las funciones de distintas instituciones de gobierno. Esto permite una distribución inadecuada del presupuesto, quedando otras áreas de acción sin apoyo suficiente. Como puede evidenciarse para EMPAGUA, que por falta de presupuesto entregó por medio de un acuerdo el funcionamiento y mantenimiento de la planta de Nimajuyú I a AMSA.

AMSA como institución responsable de la planta no tiene obligación de reportar los resultados de sus análisis de control a ninguna otra institución, por lo que no cuenta con una institución que supervise y monitoree el trabajo en la planta. Lo que evidencia que la función de vigilancia y monitoreo de calidad de agua y disposición de desechos no está siendo llevada a cabo ni por el MARN ni por la municipalidad, que favorece que los focos de contaminación no sean identificados, evaluados y controlados en lo que respecta a la colecta y disposición de las aguas servidas y sus derivados. Además esto permite que AMSA utilice los lodos de desecho según su criterio, lo cual en este caso está provocando una contaminación de las áreas de los viveros forestales y sembradíos localizados en la Cuenca del Lago de Amatitlán. Esto puede favorecer una contaminación indirecta de cuerpos de agua que desemboquen en el Lago de Amatitlán, agravando el problema existente, por arrastre y lavado por escorrentía de los lodos principalmente en época lluviosa. El MARN en febrero de 2003 anunció el Reglamento de Control Ambiental por medio del Acuerdo Gubernativo 23-2003, el cual entrará en vigor en el transcurso del año. Este reglamento normará los procedimientos de evaluación, control y seguimiento ambiental, además incluirá medios de control, auditorías de seguimiento y vigilancia, categorías de infracciones y sanciones. La creación de este acuerdo establece como institución fiscalizadora de actividades contaminantes al MARN, lo cual se espera pueda contribuir a eliminar la duplicidad de responsabilidades sobre el tema.

## X. Conclusiones

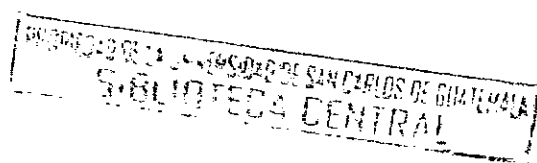
1. El tratamiento de secado por sol para lodos de desecho provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, Zona 21 no es eficiente para disminuir la concentración de coliformes fecales por debajo de los límites establecidos.
2. La concentración de coliformes fecales para las muestras secas de época seca y lluviosa no cumplen con los límites establecidos.
3. Las muestras húmedas presentan mayor concentración de coliformes fecales en comparación con las muestras secas para ambas épocas de muestreo.
4. La concentración de coliformes fecales es mayor en la época lluviosa que en la época seca.
5. Todas las muestras analizadas para helmintos, presentaron menos de 5 huevos viables por lo que cumplen con el límite establecido.
6. En las analizadas no se observó la presencia de *Salmonella* sp.
7. Los lodos no pueden ser utilizados como mejoradores de suelo o abono en viveros forestales y sembradíos, debido a que la concentración coliformes fecales es mayor a la permitida. Por lo que estos lodos deben ser tratados previo a ser desechados.
8. Con base en los resultados de los análisis de los lodos de desecho de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, se considera que la misma no está funcionando adecuadamente.
9. La falta de un sistema de vigilancia, monitoreo de vertido de desechos, además del incumplimiento de leyes y reglamentos respecto a la disposición y tratamiento de desechos aumenta el riesgo de deterioro ambiental.
10. La función de supervisión y vigilancia de la calidad de agua y vertido de desechos corresponde al Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente y a la municipalidad. Esta función no esta siendo llevada a cabo, debido a que AMSA dispone libremente de los lodos de desecho de la planta de Nimajuyú I.

## XI. Recomendaciones

1. Realizar investigación de nutrientes y metales en los lodos descartados, para determinar posibles daños y alteraciones a los equilibrios naturales en las áreas de descarte y aledaños.
2. AMSA debería establecer un programa periódico de análisis de coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., huevos de helmintos para monitorear las concentraciones de estas en los lodos previo descarte. Además de implementar un sistema de esterilización para los lodos de desecho previo a su descarte.
3. Establecer áreas específicas de descarte, en base de estudios de suelos, pendiente, presencia de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, cultivos, comunidades con el fin de provocar el mínimo desequilibrio natural. AMSA debe ser la institución responsable de realizar el estudio.
4. La remoción eventual de los lodos podría hacer que el proceso de secado sea más uniforme y rápido, evitando la acumulación de humedad en la parte inferior. Esto además ayudaría a la aeración de los mismos, evitando la descomposición de materia orgánica, que favorece el crecimiento de microorganismos.

## XII. Referencias

1. Gil Ovalle, I.P. Monitoreo y Cuantificación de Coliformes Fecales, Coliformes fecales y *Escherichia coli*, en siete Microcuencas del Lago de Amatitlán: Chanquín, El Frutal, Guadrón, Pinula, San Lucas, Zacatal y Zanjón la Palín. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (Tesis de Graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2001, 62p.
2. Kemmer, F.N., J. McCallion. Manual del Agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones (Tomos I, II, III). 1989. México: McGraw-Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V. Traducción por M.E. Espinosa Rubio, F.M. Medina Nicolau.
3. Rodríguez Mondal, A.M., et al. Determinación de Coliformes y Helmintos en Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Nimajuyú Zona 21. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (Informe Final de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2001, 43p.
4. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Albany, Dirección de Saneamiento del Medio Ambiente y Oficina de Entrenamiento Profesional. Manual de Tratamiento de Aguas. México: 1 ed. Editorial Limusa, S.A. 1979. Traducción R. Guerrero Torres.
5. Flores, G. Parásitos encontrados en letrinas secas. Guatemala: Memorias I Seminario-Taller Nacional Sobre Letrinas Aboneras Secas Familiares, 1987. 144p.
6. Spross, V. Análisis Económico de la Contaminación de Aguas en América Latina: El Caso de Guatemala. 1995. Chile: Centro Internacional para el Desarrollo Económico (CINDE).
7. Hernández Muñoz, A. Depuración de aguas residuales. 1998. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Senior No. 9. Servicio de Publicaciones La Escuela de Ingeniería de Caminos de Madrid (U.P.M.)
8. Solo-Gabriele, H., S. Neumeister. US outbreaks of cryptosporidiosis. American Waterworks Association, Vol. 88, No. 9, 1996. 78-85p.
9. Archila, C., et al.. Determinación de Parásitos en Aguas Afluentes y Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nimajuyú. (Informe Final de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) . 1997
10. Ley de Sanidad Vegetal y Animal, Decreto Número 36-98. Guatemala, 1998.



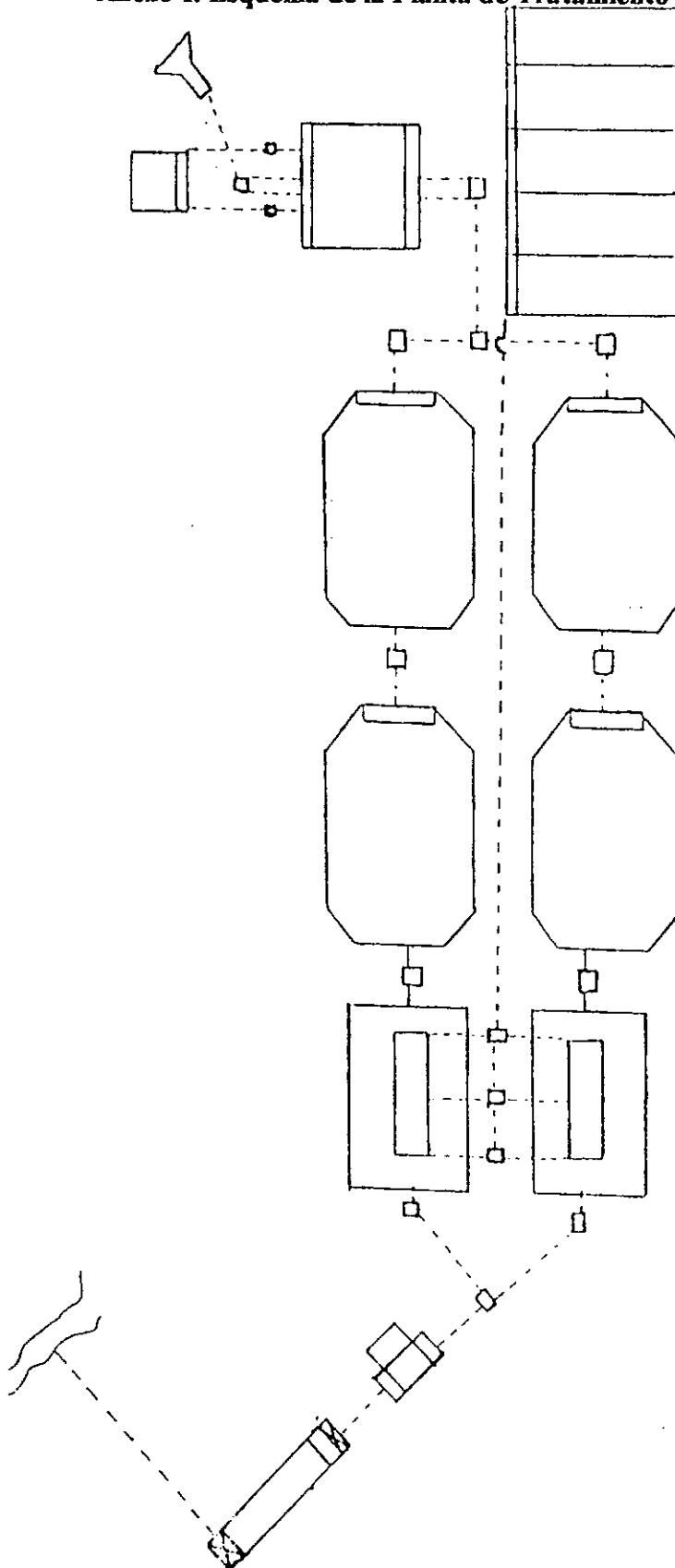
11. Barranco, A. Comparación de metodología para determinar la viabilidad de *Ascaris lumbricoides* en letrinas secas. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala (Tesis de Graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1989. 43p.
12. Brown, H.W. Parasitología Clínica. 4ta ed. México: Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V. 1977. Traducción Dr. R. Folch Fabre.
13. Código Municipal, Decreto Número 58-88. Guatemala, 1988.
14. Constitución Política de la República de Guatemala, Reformada por Consulta Popular Acuerdo Legislativo 18-93. Guatemala, 1993.
15. Ley de Sanidad Vegetal y Animal. Decreto Número 36-98. Guatemala, 1998.
16. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto 68-86. Guatemala 1986.
17. Código de Salud, Decreto 90-97. Guatemala, 1997.
18. H<sub>2</sub>O Consultoría Aguas-Saneamiento. Propuesta de rehabilitación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I. 1998. Guatemala.
19. APHA, AWWA, AEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19<sup>th</sup> ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1123p.
20. Byamukama, D. Determination of *Escherichia coli* Contamination with Chromocult Coliform Agar Showed a High Level of Discrimination Efficiency for Differing Fecal Pollution Levels in Tropical Waters of Kampala, Uganda. Applied and Environmental Microbiology, February 2000. Vol. 66, No. 2. p. 864-868.
21. Cano, F., N. Quan. Técnicas de Análisis Microbiológico de Alimentos y Agua. Guatemala: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), 1995. 40p.
22. Aguilar, F.J. Parasitología Médica. 3ra ed. Guatemala: Litografía Delgado, S.A. 1997. 371p.
23. Flores, G. Evaluación Sanitaria de Abonos Orgánicos. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala (Tesis de Graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1981. 70p.
24. Fox, K.R., D.A. Lytle. Milwaukee's crypto outbreak: investigation and recommendations. American Waterworks Association, Vol. 88, No. 9, 1996. 87-95p.
25. Krishnamurthy, K. Industrial Application of Nuclear Technology – Radiation Disinfection of Waste Waters in Guatemala City and Its Environments. 1994. Bombay: Board of Radiation and Isotope Technology.

26. Mattick, K.L., et al. Effect of Challenge Temperature and Solute Type on Heat Tolerance of *Salmonella* Serovars at Low Water Activity. *Applied and Environmental Microbiology*, September 2001. Vol. 67, No. 9. p. 4128-4136.
27. McLellan, S.L. et al. Clonal Populations of Thermotolerant *Enterobacteriaceae* in Recreational Water and Their Potential Interference with Fecal *Escherichia coli* Counts. *Applied and Environmental Microbiology*, October 2001. Vol. 67, No. 10. p. 4934-4938.
28. Moreira Ramírez, N.R. Evaluación sanitaria de abonos orgánicos obtenidos de letrinas aboneras secas familiares, en el municipio de Todos Santos Cuchumatán del departamento de Huehuetenango. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (Tesis de Graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2000, 54 p.
29. Redlinger, T. et al. Survival of Fecal Coliforms in Dry-Composting Toilets. *Applied and Environmental Microbiology*, September 2001. Vol. 67, No. 9. p. 4036-4040.
30. Richter, F. Aspectos epidemiológicos de los parásitos cuya transmisión suele ocurrir por la ingestión de agua y alimentos contaminados con aguas residuales. Guatemala: Curso Taller: Determinación de Parásitos en Aguas y Lodos Residuales. 1997.
31. Rockabrand, D. et al. Bacterial Growth State Distinguished by Single-Cell Protein Profiling: Does Chlorination Kill Coliforms in Municipal Effluent? *Applied and Environmental Microbiology*, September 1999. Vol. 65, No. 9. p. 4181-4188.
32. Sinton, L.W. et al. Sunlight Inactivation of Fecal Bacteriophages and Bacteria in Sewage-Polluted Seawater. *Applied and Environmental Microbiology*, August 1999. Vol. 65, No. 8. p. 3605-3613.
33. Sinton, L.W. et al. Sunlight Inactivation of Fecal Indicator Bacteria and Bacteriophages from Waste Stabilization Pond Effluent in Fresh and Saline Waters. *Applied and Environmental Microbiology*, March 2002. Vol. 68, No. 3, p. 1122-1131.
34. Solórzano de Zepeda, M. Uso de la Radiación para el Tratamiento de Aguas y Lodos Residuales. 1994. Guatemala: Dirección General de Energía Nuclear.

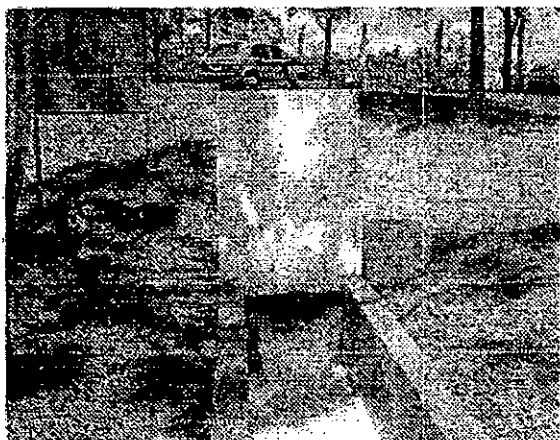


## **XIII. ANEXOS**

### Anexo 1. Esquema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I



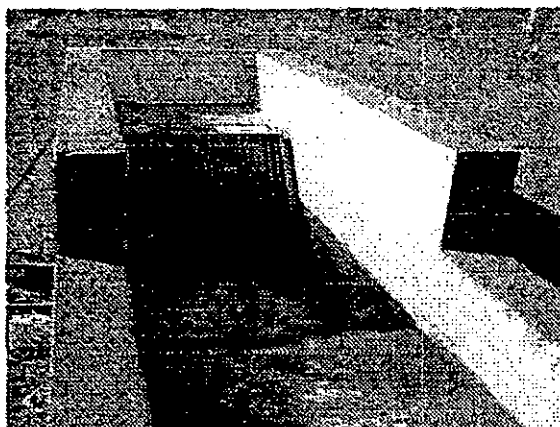
1. Desarenador del afluente (temporal)
2. Canal de aproximación
3. Punto de rejas
4. Trampa de grasas
5. Cajón distribuidor
6. Sedimentador primario
7. Filtro percolador
8. Línea de lodos
9. Patio de secado primario
10. Sedimentador secundario
11. Línea de lodos
12. Patio de secado secundario
13. Afluente

**Anexo 2. Fotografías de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I**

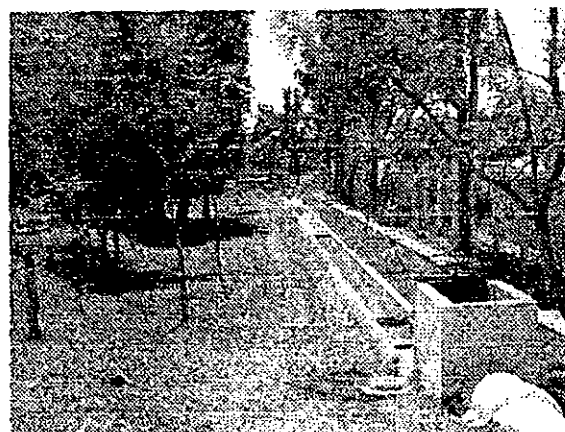
**Fotografía 1.** Área del caudal de entrada de agua con lodos.



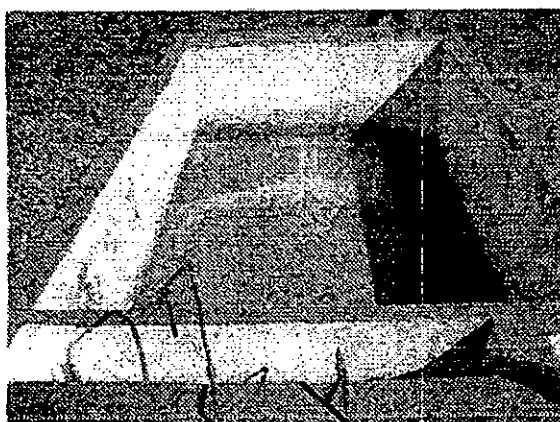
**Fotografía 2.** Primera área de reja.



**Fotografía 3.** Segunda área de reja.



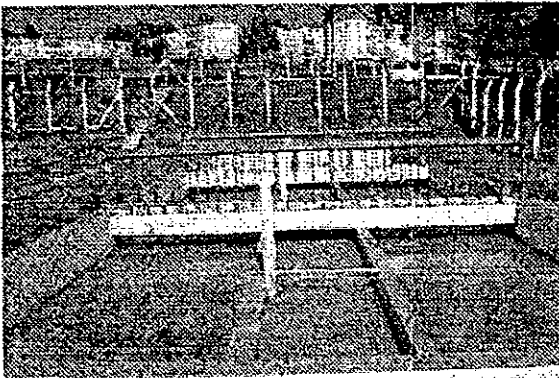
**Fotografía 4.** Vista general del área de desarenado.



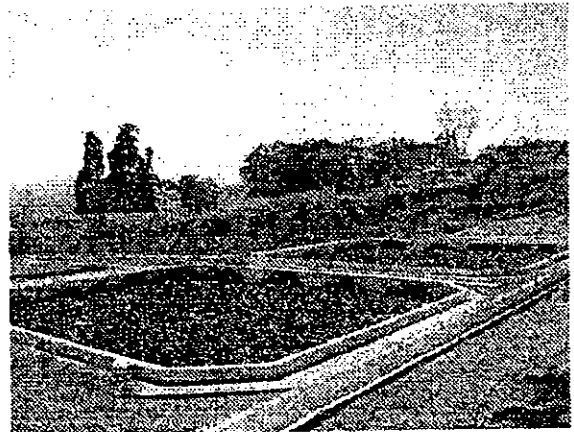
**Fotografía 5.** Trampa de natas o grasas.



**Fotografía 6.** Sedimentadores primarios, tipo Imhoff, purgados (vacíados).



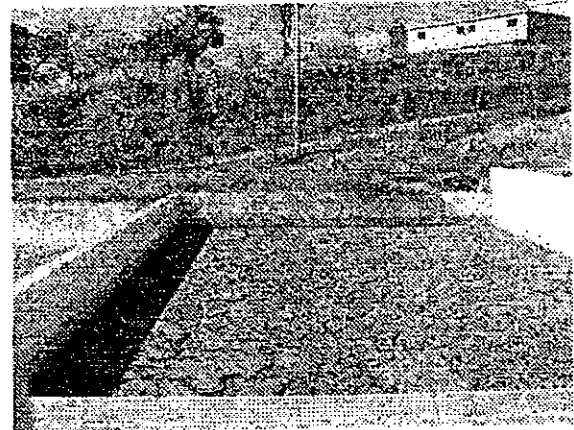
**Fotografía 7.** Sedimentadores primarios, tipo Imhoff, llenos de agua.



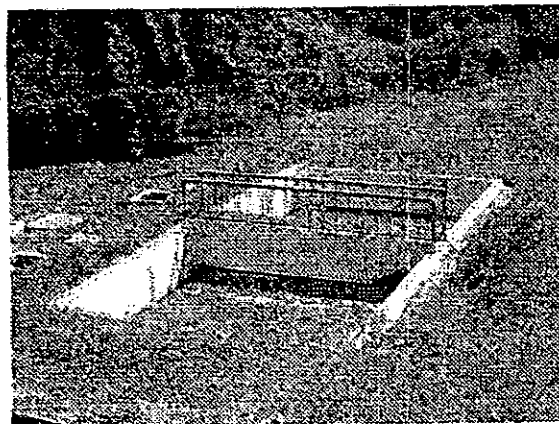
**Fotografía 8.** Filtros percoladores de roca volcánica y arena.



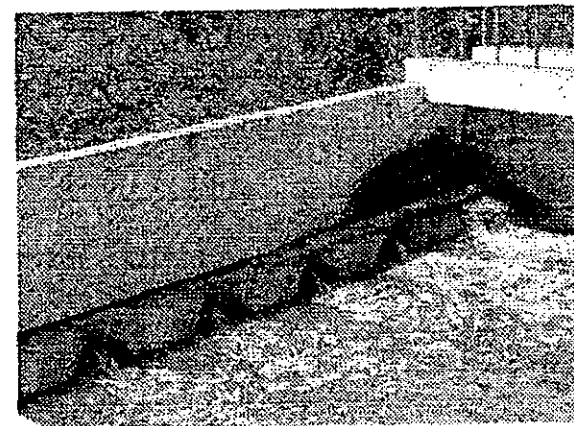
**Fotografía 9.** Área de patios de secado primarios.



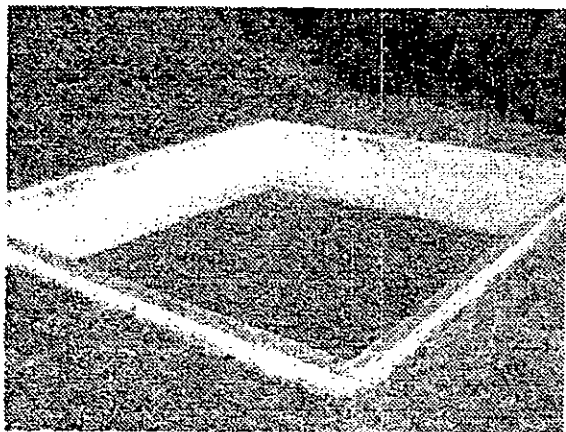
**Fotografía 10.** Lodo primario en proceso de secado al sol.



**Fotografía 11.** Vista general del sedimentador secundario.



**Fotografía 12.** Vista detallada del sedimentador secundario.



**Fotografía 13.** Patio de secado secundario, lodo seco.



**Fotografía 14.** Área del caudal efluente de agua.



**Fotografía 15.** Detalle del área de salida del caudal efluente.



**Fotografía 16.** Vista general de la planta, desde el área de patios de secado.

### Anexo 3. Características fisicoquímicas de diversos tipos de lodos

Característica	Lodo 1° Crudo	Lodo 1° Digerido	Lodo Activado
pH	5.0-8.0	6.5-7.5	6.5-8.0
Alcalinidad	500-1,500	2,500-3,500	580-1,100
Sólidos volátiles (%)	60-80	30-60	59-88
Sólidos totales seco (%)	2.0-8.0	6.0-12.0	0.83-1.16
Proteína de sólidos totales (%)	20-30	15-20	32-41
Nitrógeno de sólidos totales (%)	1.5-4.0	1.6-6.0	2.4-5.0
Fosfato de sólidos totales (%)	0.8-2.8	1.5-4.0	2.8-11.0
Óxido de potasio de sólidos totales (%)	0-1.0	0-3.0	0.5-0.7
Celulosa de sólidos totales (%)	8-15	8-15	/
Silicato de sólidos totales (%)	15-20	10-20	/
Hierro (%)	2-4	3-8	/
Carbonato (mg/L)	/	1	/
Hidrocarburos aromáticos (mg/L)	200-2,000	100-600	1,100-1,700
Energía (mJ/kg)	23,000-29,000	9,000-13,500	18,500-23,000

/= No hay información

Tomado de Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización Tomo 2

#### Anexo 4. Tiempo de resistencia de algunos patógenos en suelo y plantas

Patógeno	Suelo		Planta	
	Máximo absoluto	Máximo medio	Máximo absoluto	Máximo medio
Bacterias	1 año	2 meses	6 meses	1 mes
Virus	6 meses	3 meses	2 meses	1 mes
Quistes de protozoos	10 días	2 días	5 días	2 días
Huevos de helmintos	7 años	2 años	5 meses	1 mes

Tomado de Aguilar, 1997.

#### Anexo 5. Características limitantes para descarte de lodos

Característica	Grado de limitación		
	Ligero	Moderado	Severo
Pendiente	< 6%	6-12%	>12%
Profundidad del nivel freático (máximo estacional)	>1.2m	0.6-1.2m	<0.6m
Inundación y encharcamiento	No	No	Ocasional a frecuente
Profundidad hasta un estrato rocoso	>1.2m	0.6-1.2m	<0.6m
Permeabilidad del estrato más restrictivo (por encima de 1 m de profundidad)	2.5-7.5 mm/h	7.5-25mm/h 0.75-2.5mm/h	>25mm/h <0.75mm
Capacidad de asimilación de agua disponible	>25mm	12.5-25mm	<12.5mm

m= metros

mm/h= milímetros por hora

Tomado de Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización Tomo 2

### Anexo 6. Posibles aplicaciones de diversos tipos de lodos

\*= Aplicado o descartado sin aplicación de un tratamiento específico

Tipo de lodo	Zona de barbecho, descenso	Área de descarga o descarte				Productos consumibles en proceso, hortaliza
		Tierra cultivada		Pradera		
		Desinfectado	Directo*	Desinfectado	Directo	
Fresco	+	-	-	-	-	-
De fosa séptica	+	+	-	-	-	-
Digerido aeróbicamente, seco	+	+	-	+	-	-
Acondicionado químicamente	+	+	-	+	-	-
Acondicionado térmicamente	+	+	+	+	+	+
Secado artificialmente	+	+	+	+	+	+
Pasteurizado	+	+	+	+	+	+
Compactado	+	+	+	+	+	+

\*= Aplicado o descartado sin aplicación de un tratamiento específico

+ = Es aceptada su aplicación

- = No es aceptada su aplicación

Tomado de Depuración de aguas residuales, Hernández Muñoz

### Anexo 7. Área y frecuencia de aplicación de lodos

Área de opción para aplicación	Frecuencia de aplicación	Tasa de aplicación) (ton/Ha)	
		Intervalo	Promedio
Agrícola	Anual	2.25-67.5	11.25
Forestal	Única, cada 3 a 5 años	9-225	45
En recuperación	Única	6.75-450	112.5
Vertedero	Anual	225-900	337.5

Tomado de Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización Tomo 2



**Anexo 8. Tabla de concentraciones permitidas para Coliformes fecales, *Salmonella* sp. y Huevos de helmintos**

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN
Coliformes fecales	< 1000 NMP/g
<i>Salmonella</i> sp.	< 100 NMP/g
Huevos de helmintos	< 5 HE viable/g

Tomado de Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamiento.  
<http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html>  
(según Rodríguez, et al., 2001)

**g:** gramo

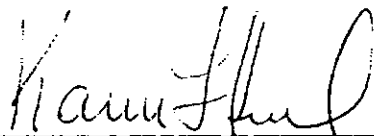
**NMP:** Número Más Probable

**HE:** Huevos de Helmintos



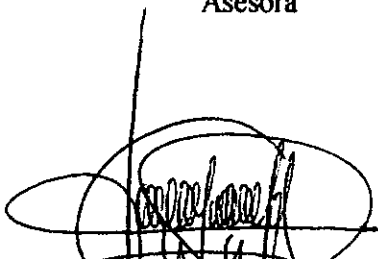
---

Heidi Karina Piérola Kyllmänn  
Autora



---

M.Sc. Karin Larissa Herrera Aguilar  
Asesora



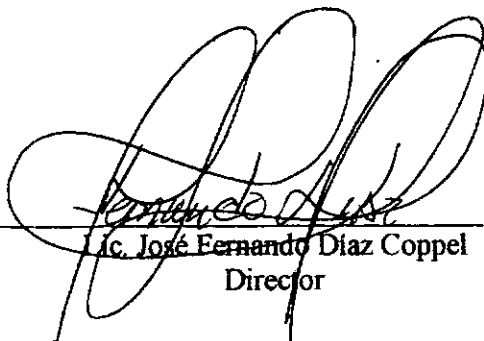
---

M.Sc. Hayro Oswaldo García García  
Co-Asesor



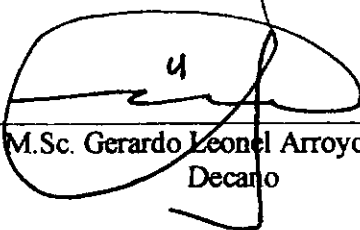
---

Lieda Antonieta Rodas  
Revisora



---

Lic. José Fernando Díaz Coppel  
Director



---

M.Sc. Gerardo Leonel Arroyo Catalán  
Decano