

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**DETERMINACIÓN DE COLIFORMES Y HELMINTOS EN AGUAS
AFLUENTES Y EFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES, NIMAJUYÚ 1 ZONA 21.**

MIRIAM REGINA MIYARES SIEKAVIZZA

QUÍMICA BIÓLOGA

GUATEMALA NOVIEMBRE DEL 2003

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**DETERMINACIÓN DE COLIFORMES Y HELMINTOS EN AGUAS
AFLUENTES Y EFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES, NIMAJUYÚ 1 ZONA 21.**

Informe de Tesis

Presentado por

Miriam Regina Miyares Siekavizza

Para optar al título de

Química Bióloga

Guatemala noviembre del 2003

JUNTA DIRECTIVA

M. Sc. Gerardo Leonel Arroyo Catalán	Decano
Licda. Jannette Sandoval Madrid de Cardona	Secretaria
Licda. Gloria Elizabeth Navas Escobedo	Vocal I
Lic. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Dr. Federico Adolfo Richter Martínez	Vocal III
Br. Carlos Enrique Serrano	Vocal IV
Br. Claudia Lucía Roca Berreondo	Vocal V.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS:

Por todas las bendiciones que me ha dado

A LA VIRGEN MARÍA:

Por ser mi apoyo en momentos de debilidad

A MIS PADRES:

Ricardo Enrique Miyares Jordán † y Rosario Armida Siekavizza de Miyares

Gracias por haberme dado la vida y las herramientas para lograr mis sueños.

A MIS ABUELOS:

Ricardo Miyares Castellanos †, Octavila Jordán de Miyares †, Nicolás Siekavizza y Especialmente a Armida Álvarez de Siekavizza †

Por haber sido un gran ejemplo de mujer, que influyó en todos los aspectos de mi vida.

A MI MAMÁ JUANA:

Por el amor incondicional que me ha dado siempre.

A MIS PADRINOS:

Miriam Siekavizza y Roberto Siekavizza, por el apoyo y cariño que me han brindado toda mi vida, y a mi tía Olga Miyares.

A Mis Hermanos y Hermanas:

Ricardo, Fernando, Olga y Roxanda, por el amor que les tengo

A ERICK ARRIAGA:

Por ser mi amigo, compañero y consejero. Gracias por formar parte de mi vida.

A MIS CUÑADOS:

Estuardo y Karin, con mucho cariño

A MIS SOBRINOS:

Fernando José, Roxanda María, Ricardo Enrique, Sebastián Ricardo, Ewald Fernando y Karin Armida, Los quiero

A Mis Tíos, Tías, primos y primas, con mucho cariño

A MIS AMIGAS:

Amada, Ana Cristina, Anabela, Heidy, Herberth, María Eugenia, Omar, Paula María, Pepe, Sandra, Scarlette y Sofía. Los llevo en el corazón

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora: M. Sc. Karin Herrera

A el Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR-

A el personal del Departamento de Microbiología

A la Directora de Escuela: Licda. Alba Marina Valdés de García

A la Licda. Amanda Gálvez, Lic. Martín Gil, Lic. Jorge Luis de León, Roberto Cáceres y Julio Maas

A Ani y Shený

A los operadores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú 1

A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

INDICE

CONTENIDO	PAGINAS
RESUMEN	1.
INTRODUCCION	2.
ANTECEDENTES	
A. Generalidades	
1. Definición de aguas residuales	4.
2. Planta de tratamiento de aguas residuales	5.
3. Tratamiento de aguas residuales	5.
a) Tratamiento por medio de tanques de sedimentación	6.
B. Captación de aguas residuales	10.
C. Evacuación o disposición de las aguas residuales	10.
D. Aprovechamiento de aguas residuales e importancia de su tratamiento	12.
F. Uso de aguas residuales para irrigación en la agricultura	13.
G. Composición química del agua residual	15.
H. Microorganismos presentes en las aguas residuales	16.
I. Factores que reducen la concentración bacteriana y de parásitos	21.
J. Problemas de salud asociados al riego agrícola	22.
K. Planta de tratamiento de aguas residuales Nimajuyú I	23.
L. Pruebas de laboratorio	24.
1. Toma de muestra	25.
2. Volumen de la muestra	26.
3. Transporte y recepción de muestras	26.
4. Métodos para análisis de aguas	26.
5. Métodos de detección de parásitos en agua	27.

Cont. Contenido...	páginas
JUSTIFICACION	28.
OBJETIVOS	29.
HIPOTESIS	30.
VII MATERIAL Y MÉTODOS	31.
A. Universo de trabajo	31.
1. Muestra	31.
B. Recursos	
1. Recursos humanos	31.
2. Recursos institucionales	31.
C. Materiales	31.
D. Procedimiento	
1. Toma de muestra	34.
2. Análisis de muestras	34.
E. Diseño estadístico	37.
VIII RESULTADOS	39.
IX DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57.
X CONCLUSIONES	63.
XI RECOMENDACIONES	64.
XII REFERENCIAS	65.
XIII ANEXOS	70.

I. RESUMEN

El agua es fuente de vida. Por eso es importante aprovechar este recurso al máximo, por lo que la reutilización del mismo debe de ser considerado. El agua residual podría ser utilizada para varias actividades como para el riego agrícola y forestal. Para ello debe de cumplir con ciertas normas y directrices establecidas por la OMS y la OPS para el manejo y control de aguas residuales, en las cuales no se aceptan valores de coliformes mayores de 1000 UFC/100 mL y el recuento de huevos de parásitos humanos intestinales debe de ser menor a un huevo/L.

En el presente estudio se determinó y cuantificó la presencia de coliformes totales, fecales, de *E. coli* y de huevos de helmintos de muestras de agua de los afluentes y efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Nimajuyú I que recibe las aguas de los complejos habitacionales de Nimajuyú I y II. Las muestras fueron tomadas de dos puntos diferentes de la planta, en época seca y lluviosa, desde el 25 de marzo al 28 de agosto del 2003. El primero en la reja antes del canal de aproximación y el segundo en el sedimentador secundario. Las muestras para coliformes se procesaron con el método de filtración por membrana. Las muestras para parásitos se procesaron por dos métodos; el de sedimentación y el de flotación por centrifugación. Dichas metodologías no se compararon debido a los resultados obtenidos, porque con el método de sedimentación se obtuvo un número estimado de huevos en el sedimento de un litro de agua, por medio de una fórmula y con el segundo (flotación por centrifugación) se obtuvo el número de huevos recuperados en un litro.

Los resultados de los análisis para coliformes totales, fecales y *E.coli* mostraron que la contaminación por coliformes en las aguas efluentes de la planta disminuyó, luego del tratamiento. Los resultados de la determinación y cuantificación de huevos de helmintos, demostraron que no se eliminan, aunque sí disminuyen de cantidad en los efluentes de la planta, por lo que el agua no puede ser utilizada para uso doméstico, agrícola ni recreacional.

II. INTRODUCCIÓN

En un mundo en donde los recursos naturales han ido disminuyendo conforme su población va en aumento, cada oportunidad que se presenta para la reutilización de materiales de desecho debe ser considerada (1).

Existe un proceso natural, en el cual la basura es degradada en compuestos orgánicos regresando de esta forma al medio ambiente. Pero estos procesos toman tiempo, por lo que es necesario acelerar los mismos con sistemas de tratamiento específicos para cada desecho (1,2).

Las aguas residuales son un líquido de composición variada, que han sido utilizadas por una comunidad o a nivel industrial, y por tal motivo han sufrido degradación o alteración en su calidad original.

El propósito esencial del análisis del agua residual consiste en saber la condición de la misma antes de ser descargada en fuentes receptoras como el agua de mar, ríos, lagos y la tierra; o ser reutilizada para el riego agrícola y acuicultura entre otros.

Guatemala cuenta con plantas de tratamiento primario y secundario de aguas residuales como las plantas en el Mezquital zona 12, en Villalobos zona 12, en Bello Horizonte zona 21, la de Nimajuyú Zona 21 entre otras. En estas plantas se procesan las aguas residuales domésticas para la remoción de sólidos o materiales de desecho, al mismo tiempo que disminuyen o se eliminan microorganismos patógenos al hombre (3). También se cuenta con plantas de tratamiento industrial entre las que están las plantas de osmosis inversa, que sirve para la remoción de metales, plantas anaeróbicas RAFA (reactor anaeróbico de flujo ascendente), también existen lagunas de estabilización, pozos de absorción, flujo de circuito cerrado y sedimentadores primarios (conos Imhoff) (4).

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nimajuyú I recibe el agua de 3,456 apartamentos de la colonia Nimajuyú I y II. El agua, utilizada en las viviendas que surten a la planta, es vertida al arroyo Loma Alta, el cual desemboca en el río Villalobos luego de su tratamiento. Sin embargo no se lleva un control microbiológico de los efluentes de la planta.

Con este estudio se pretendió evaluar la eficiencia del tratamiento que se realiza en esta planta, para eliminar o disminuir microorganismos causantes de enfermedad. Para esto se realizaron 11 muestreos, tanto en época seca como en época lluviosa. Se

tomaron muestras compuestas en los afluentes y efluentes de la planta y se analizaron los especímenes para la determinación y cuantificación de coliformes totales y fecales, *Escherichia coli* y de huevos de helmintos, de estos últimos, específicamente de *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura* y Uncinarias, ya que estos pueden servir como indicadores de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales. Además, según Martínez et al, los helmintos, principalmente *Ascaris* spp, son considerados como los indicadores más apropiados, debido a que pueden permanecer en el suelo o en agua en estado de latencia por períodos prolongados (5,6).

El estudio es de tipo descriptivo, prospectivo y transversal. El tipo de muestreo es no probabilístico y es por conveniencia. Se analizaron los resultados por medio de interpretación de gráficas y se aplicó la t de Student . Los resultados se compararon con las normas a seguir, que recomienda la OMS en su declaración de Engelberg (7,8).

III. ANTECEDENTES

A. Generalidades

1. Definición de aguas residuales

Las aguas residuales o de desecho son un líquido de composición variada proveniente de uso industrial, comercial, agrícola, pecuario, doméstico, y de origen subterráneo, superficial o atmosférico o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, que han sido utilizadas por una comunidad, y que por tal motivo hay alteración en su calidad original. En su composición figuran 99.9 % de agua y 0.02 a 0.03 % de sólidos orgánicos disueltos y suspendidos, los cuales son putrescibles y por lo tanto sujetos a degradación a otras sustancias orgánicas. Estos constituyen desechos domésticos que salen con el agua como excremento o agua de lavado, desechos industriales como ácidos, grasas y materiales animales y vegetales, y las aguas profundas, superficiales y atmosféricas que entran al sistema de drenaje (6, 9,10).

Los componentes químicos, aunque se presentan en cantidades bajas, son importantes y están sujetos a variaciones entre las comunidades y dentro de cada una. Las sustancias químicas inorgánicas, originalmente presentes en la fuente de abastecimiento, aparecerán en las aguas de desecho; compuestos orgánicos los suministran las heces humanas y los desechos domésticos, y los orgánicos e inorgánicos provienen de la industria (6).

Los compuestos orgánicos de las aguas residuales se clasifican como nitrogenados y no nitrogenados. Los compuestos nitrogenados principales son la urea, proteínas, aminas y aminoácidos; sustancias no nitrogenadas incluyen carbohidratos, grasas y jabones (6).

Una de las razones principales para tratar el agua residual antes de que sean regresadas a las fuentes (ríos, lagos) es reducir la afluencia de oxígeno disuelto hacia el depósito que recibirá las aguas tratadas. La cantidad de biodisponibilidad de oxígeno (BOD) se relaciona con la cantidad de materia orgánica en las aguas de residuales, o sea, a mayor cantidad de esta materia oxidable, más alto el BOD (6).

Debido a que la composición de las aguas residuales varía, es de esperarse que las características microbiológicas también varíen en cuanto a tipo y número de microorganismos.

2. Planta de tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de aguas municipales comprenden generalmente:

- a) obras de captación,
- b) obras para purificación,
- c) obras de conducción y
- d) obras de distribución.

Estos vacían hacia los sistemas de aguas residuales, los cuales comprenden

- a) obras de captación,
- b) obras de tratamiento, y
- c) obras de descarga o deposición.

En conjunto, estas obras integran un sistema de alcantarillado o de drenaje. Las plantas de tratamiento de aguas residuales son plantas municipales en las cuales se tratan aguas de desechos que ha sido usadas por una comunidad (6,9).

Existen varios tipos de plantas, las que tienen un proceso de tipo primario en las que su funcionamiento es por métodos físicos y no requiere de ninguna instrumentación y las de tipo secundario en donde usan procesos biológicos y electroquímicos (11).

Los sistemas de evacuación de aguas residuales deben realizar dos funciones:

- a) una colección confiable e inofensiva de las materias de desecho y
- b) una evacuación segura de las aguas residuales adecuadamente tratadas a las corrientes receptoras o a la tierra (6).

3. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, permitiendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos, muy putrescibles, queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. Una vez completado este proceso, es aún necesario disponer de los líquidos y los sólidos que se hayan separado (10). Es el procesamiento de las aguas residuales, sobre todo domésticas, producidas por las actividades típicas de la comunidad y de las familias (11).

Cuanto más crecen las ciudades y más se industrializan, el volumen y las características de alguna industria en particular pueden afectar la composición de esta agua (11).

La descarga del agua residual en las plantas de tratamiento es para prevenir:

- ◆ La contaminación de los abastecimientos de agua para uso doméstico, balnearios y otros.
- ◆ La polución de aguas receptoras, desagradables a la vista y al olfato y que eutroficará los estanques y lagos.
- ◆ Destrucción de los peces alimenticios y otra manifestación de vida acuática valiosa, manteniendo limpias las aguas que se usan para la propagación y supervivencia de los peces.
- ◆ Otros deméritos de la utilidad de las aguas naturales, para fines recreativos, comerciales e industriales.
- ◆ Las enfermedades transmitidas por el agua.
- ◆ Las molestias (9,10).

a) Tratamiento por medio de tanques de sedimentación

La función básica del tratamiento de aguas de desecho es acelerar el proceso natural en el cual el agua es purificada (5). El sistema de recolección de aguas de desecho y alcantarillas se encuentra localizado cerca de las viviendas (11).

En la mayoría de plantas, la temperatura, el clima y las variaciones cotidianas de carga afectan a los procesos (12).

Existen pasos básicos en el tratamiento de aguas residuales.

- i. Biodigestores
- ii. Lagunas de estabilización
- iii. Tratamiento de lodos activados
- iv. Tanques de sedimentación
- v. Pantanos artificiales (10, 12).

i. Biodigestores

Este proceso se lleva a cabo en seis etapas en las cuales se deben de determinar la temperatura y el nivel (11) y se citan a continuación.

a) Tratamiento preliminar

En este se utilizan procesos biológicos para purificar el agua mediante una descomposición anaeróbica, aeróbica u oxidación del material orgánico. Esto se debe hacer cuando la materia orgánica está en solución (2, 12).

Se lleva a cabo un proceso físico en el cual los desechos que entran a la planta son pasados por un tamiz que remueve objetos flotantes de gran tamaño como trapos o ramas que puedan interferir con los procesos, tapar la cañería y arruinar el equipo. Luego del tamizaje, el desecho pasa a una cámara donde cenizas, arena y piedras pequeñas sedimentan hacia el fondo (2,10,11).

b) Tratamiento primario

En este los sólidos se sedimentan para ser removidos (6). Aunque el tamizaje se ha llevado a cabo y el piedrín ha sido removido, el desecho aún contiene material orgánico e inorgánico junto con otros sólidos suspendidos (2). Su función es eliminar el 40-60% de sólidos suspendidos en las aguas residuales (12).

Estos sólidos son partículas que pueden ser removidas en tanques de sedimentación, en donde los sólidos suspendidos se hunden, formando una masa de sólidos llamados lodo crudo de biosólidos primarios. Los biosólidos son removidos de tanques bombeándolos, para luego ser tratados y usados como fertilizantes, devolverlos a la tierra o incinerarlos (2).

c) Tratamiento secundario

El tratamiento secundario remueve el 85-90% del material orgánico. Se usan filtros o camas de piedras de seis pies de hondo por donde pasa el desecho. Las bacterias y protozoos que se acumulan y se multiplican en estas piedras. Logran consumir la mayor parte de materia orgánica. El agua limpia sale a través de los canales y pasa a otro tanque de sedimentación para remover el exceso de bacterias (2, 12).

d) Sedimentador secundario

Etapa en la cual se eliminan sólidos suspendidos en el tanque de sedimentación. Se desinfecta el agua con cloro, antes de que sea devuelta a las fuentes de agua, para matar microorganismos patógenos, previene la descomposición de aguas residuales controlando y reduciendo su olor. Realizado de una forma adecuada éste eliminará más del 99% de los microorganismos del efluente. En este sedimentador también se estabiliza la demanda de oxígeno y es en esta etapa donde se producen los lodos (2, 12).

Actualmente muchos estados de Estados Unidos solicitan la remoción del exceso de cloro antes de regresar el agua a los ríos, lagos u otras fuentes acuíferas para evitar que esta agua sea dañina a peces u otras formas de vida acuática, ya que en la cloración se forman productos como los trihalometanos que se supone son cancerígenos, así como otros compuestos organoclorados tóxicos. Para esto se están utilizando en los efluentes otras alternativas de desinfección como lo son los rayos ultravioleta, el tratamiento con ozono, el dióxido de cloro y la solarización (12, 13).

e) Acondicionamiento y disposición de los lodos

Los lodos provienen del sedimentador secundario. Esta etapa se lleva a cabo en patios de secado de lodo hacia donde estos son arrastrados y son secados por los rayos del sol y por filtración del agua en el subsuelo. Al finalizar el acondicionamiento pueden ser utilizados para fertilizantes ya que contiene algunos nutrientes que requiere el suelo con nitrógeno, potasio y sodio. Existen lodos crudos o primarios y lodos húmicos o secundarios (12) .

ii. Lagunas de estabilización

Estas son una buena alternativa para remover patógenos con relación a otros sistemas. En estos sistemas de tratamiento no es necesario adicionar cloro al efluente para su desinfección lo que los hace más atractivos por la reducción de costos generados por la cloración. Además las lagunas de estabilización no necesitan partes mecánicas, reflejándose en el ahorro de los costos de adquisición, operación y mantenimiento (12).

La función de las lagunas es tratar al agua residual por medio de la interacción de la masa biológica o biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.), la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales.

La finalidad del proceso es obtener un efluente de características definidas de acuerdo a su reuso agrícola, piscícola o para descarga en cuerpos receptores. Para un mejor tratamiento o para una reducción más efectiva de organismos patógenos, el arreglo anaerobio-facultativa-maduración es el más conveniente (12).

La desventaja de estos sistemas es el requerimiento de terreno, el que es muchas veces más grande que el utilizado en los sistemas convencionales. Además para que las lagunas cumplan con sus distintos propósitos se requieren de varios días y hasta semanas (12).

iii. Tratamiento de lodos activados

En este sistema una masa activada de microorganismos, estabiliza biológicamente las aguas residuales en un reactor bajo condiciones aerobias. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de dispersores o sistemas mecánicos. Luego la masa biológica se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos biológicos sedimentados son retornados al reactor. La masa sobrante es eliminada (12).

iv. Tanques de sedimentación

Los sólidos en los afluentes, son sedimentados gradualmente. Sólidos orgánicos putrescibles son degradados en un ambiente anaeróbico, formando lodos orgánicos los cuales son evacuados hacia espacios abiertos donde se dejan secar por los rayos solares (11).

v. Pantanos artificiales

Este es una nueva técnica en la que se tratan aguas residuales poco contaminadas al pasar. Constituye un procedimiento barato y de poco mantenimiento que se basa en el papel pasivo de la sedimentación y en la adsorción por la biomasa de los contaminantes del agua. Cerca de las zonas agrícolas son eficaces para eliminar exceso de nutrientes, sobre todo de nitrógeno y de fósforo. De este modo impiden la disminución de los peces y la eventual muerte de la corriente de aguas profundas (12).

B. Captación de aguas residuales

Aproximadamente del 60 al 70% del agua que alimenta a la comunidad debe removerse como agua de desecho. Las variaciones en el uso del agua elevan la relación de flujo horario máximo tres veces aproximadamente (6).

Debido a que los suministros de agua se diseñan en base a las necesidades de la comunidad, la relación de consumo se expresa normalmente como el uso medio anual en galones por persona y día (gppd) o en litros por persona y día (lppd) y las desviaciones de la relación por estación, mes, día y hora se dan como porcentajes de la media. En Norteamérica el rango de consumo es de 35 a 600 gppd (6).

Las aguas residuales de las habitaciones e industrias se colectan junto con el escurrimiento pluvial mediante los alcantarillados combinados de un sistema combinado de drenaje, o bien se conducen independientemente por medio de cloacas sanitarias, mientras que las aguas de tormentas pluviales se vierten a drenajes pluviales de un sistema separado de alcantarillados (6).

C. Evacuación o disposición de las aguas residuales

Todas las aguas residuales tienen que ser evacuadas. Dentro del ciclo de disposición, las ciudades, pueblos e industrias deben retornar los efluentes de aguas residuales a sus fuentes de origen con una calidad aceptable (10,14).

Es importante tratar esta agua antes de la evacuación a las masas receptoras de agua como lo son los ríos, lagos, canales, estanques, estuarios y aguas costeras o para sus distintos usos para irrigación agrícola o uso de lodos para abono (6).

Al crecer los países las descargas aumentan. Se estima que cada persona produce diariamente 1.8 litros de excretas lo que equivale a una carga de sólidos impuesta diariamente sobre las aguas residuales domésticas de media libra que se divide en 227 a 350 g de sólidos secos que incluyen 90 gramos de materia orgánica, 20 gramos de nitrógeno, además de otros nutrientes como fósforo, y potasio (7).

Hay tres métodos a seguir para llevar a cabo la disposición final de las aguas residuales:

1. Disposición por irrigación
2. Disposición sub-superficial
3. Disposición por dilución (10).

1. Disposición por irrigación

Consiste en derramar las aguas sobre la superficie del terreno, lo cual se hace generalmente mediante zanjas de regadío. Esto brinda humedad y pequeñas cantidades de ingredientes fertilizantes para la vida vegetal. Este método sólo es aplicable a pequeños volúmenes de aguas residuales provenientes de poblaciones relativamente pequeñas en las que se dispone de la superficie necesaria. Su mejor aplicación es para las zonas áridas o semiáridas en las que tiene especial valor la humedad agregada al suelo. Si se cultivan las zonas de disposición deben excluirse las aguas industriales que pudiesen ser tóxicos o impedir el desarrollo de la vegetación (10).

2. Disposición sub-superficial

Consiste en hacer llegar la tierra por debajo de su superficie, a través de excavaciones o enlozados. Usualmente, así sólo se eliminan las aguas residuales sedimentadas provenientes de instituciones o residencia.

3. Disposición por dilución

Este último consiste en descargar las aguas residuales en aguas superficiales como las de un río, un lago o un mar. Esto de lugar a la contaminación del agua receptora. El grado de contaminación depende de la dilución, o sea del volumen de las aguas residuales y de su composición en comparación con el volumen de agua con que se mezclan. Un volumen grande de agua con abundante materia orgánica puede producir una descomposición anaerobia y la putrefacción. Esto ocurre cuando el oxígeno disuelto en el agua receptora no es suficiente para mantener la descomposición (10).

Además si no se eliminan de las aguas residuales los sólidos flotantes, estos serán una evidencia de la contaminación (10).

D. Aprovechamiento de aguas residuales e importancia de su tratamiento

El tratamiento anterior a la disposición remueve las materias desagradables a la vista, estabiliza las sustancias desagradables y remueve o destruye los organismos causantes de enfermedades a un grado conveniente. Además degrada los nutrientes presentes en los desechos a formas de mejor absorción para los cultivos (11, 15).

Las especies y la densidad de los patógenos presentes en el agua residual de un área municipal específica, depende de la salud de la comunidad local y puede variar substancialmente en distintas estaciones (11, 15).

Los patógenos de aguas residuales están asociados con sólidos insolubles. En el tratamiento primario, estos sólidos son concentrados para formar los lodos, de modo que lodos crudos o no tratados, tendrán una concentración de patógenos mayor que la del agua. Tratamientos residuales biológicos tales como lagunas de estabilización, filtros y tratamiento de lodos activados, pueden reducir en gran número los patógenos del agua.

Un dato importante acerca de los organismos patógenos es que a diferencia de las bacterias, que se reproducen rápidamente, los virus, helmintos y los protozoos no pueden reproducirse afuera del hospedero. Toda vez estos disminuyen con el tratamiento, sus poblaciones se mantiene reducidas (15) .

En las regiones de la tierra bien abastecidas con agua, las aguas residuales colectadas normalmente se descarga a las corrientes acuáticas cercanas después de recibir un tratamiento adecuado (6).

En el tratamiento de aguas de desecho busca recuperar el valor del agua junto con una recuperación de su valor fertilizante antes de ser evacuada por irrigación. Con esto se pretende:

1. Evitar la diseminación de enfermedades por cosechas obtenidas en tierras irrigada con aguas de desecho y a los animales que pastan en ellas.
2. Prevenir molestias tales como olores desagradables alrededor de las áreas de descarga.
3. Optimizar costos de la disposición de aguas residuales y los beneficios agrícolas (2).

E. Uso de aguas residuales para irrigación en la agricultura

El éxito de la aplicación de desechos residuales en la tierra se basa en la premisa de que el suelo es un filtro masivo capaz de remover materia del agua residual. Sin embargo se sabe que puede tener efectos secundarios como lo es la contaminación de agua subterránea, contaminación de la tierra y puede significar un peligro para la salud pública usando aguas no tratadas (16).

La descarga de los desechos a la tierra es una de las tres posibilidades para reciclar las aguas residuales (16). Varios desechos orgánicos pueden ser usados como fertilizantes o acondicionadores de suelo. Chadwick advirtió que la descarga de las aguas residuales al suelo implica usar sus constituyentes fertilizantes. Sin embargo, la dispersión de aguas residuales con fines agrícolas presenta muchos peligros sanitarios, ya que en muchos lugares del mundo se han aplicado efluentes no tratados directamente al suelo para irrigación (1,6,12). Gracias a su efecto como fertilizante son valiosas en regiones semiáridas, que no pueden abastecerse con otras fuentes (6).

En regiones densamente pobladas como lo es Asia, han usado desde hace 40 siglos desechos de origen humano, animal y de cosechas para labrar los mismos campos (1,7,12).

En Hanover se ha observado que cuando el desecho es aplicado a varias especies forestales, la producción de las mismas aumenta el doble (12). Esto contribuye a la idea de aplicar esta alternativa de tratamiento a países en desarrollo como los países en Latinoamérica.

Para 1962 se estimó que sólo el 10% de los sistemas de cobertura incluían instalaciones para el tratamiento de aguas residuales. Y de esa fecha hasta la presente la situación no ha cambiado. En 1988 la población urbana con conexiones domésticas, tanto de agua como de alcantarillado, produjo 326.4 m³/seg. de agua residual, de los cuales sólo 5 al 10% fueron tratados, mientras que los hogares urbanos con conexiones de agua corriente pero sin alcantarillado produjeron 51.9 m³/seg. Estas cifras constituyen sólo una estimación de la demanda actual del tratamiento de las aguas residuales, ya que no se toma en cuenta el uso industrial del agua, el incremento de la población que tiene acceso a los servicios del alcantarillado desde 1988 u otras causas (17).

En varios países se está trabajando para controlar la calidad microbiológica de los desechos sólidos como lodos y los líquidos. En Pakistán se han realizado estudios para evaluar los riesgos de salud a los que están expuestos los agricultores al utilizar agua residual para sistemas de irrigación (17).

Del mismo modo, se tiene conocimiento que en otros lugares como Vietnam, Kumasi en Ghana, México y Perú (19-23) usan las aguas residuales para la agricultura y piscicultura obteniendo buenos resultados en las cosechas. Sin embargo se ha encontrado que el riesgo de contraer enfermedades de origen gastrointestinal, para los agricultores, sus familias y consumidores de estos productos, aumenta ya que no se usan aguas tratadas.

En algunos países como Marruecos, Jordán, Egipto, Túnez, Malta, Chipre y España existen proyectos en operación o bajo planeamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales para reutilizarlas a gran escala en riego agrícola (12).

Estudios epidemiológicos en México han demostrado que la irrigación con aguas residuales se asocia con riesgos sanitarios. Estudios experimentales en el Norte de Brasil indican que las lechugas irrigadas con aguas residuales presentan una gran contaminación por *Ascaris lumbricoides* (12).

A raíz de la publicación de la Organización Mundial de la Salud (1989) "Directrices Sanitarias Sobre el Uso de Aguas Residuales en Agricultura y Acuicultura" ha aumentado el interés en establecer un sistema de vigilancia que brinde información acerca de la eficiencia de la eliminación de patógenos en un sistema de tratamiento de agua (6, 12).

En Guatemala el Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM) realiza monitoreos, a solicitud, a plantas de tratamiento de agua, pero se limita al análisis físico-químico de la misma (12).

En 1997 se realizó en Guatemala un estudio, como parte del curso de Investigación de la carrera de Química Biológica, que pretendía determinar la presencia de parásitos en aguas residuales de afluentes y efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nimajuyú I. Los resultados obtenidos no fueron satisfactorios ya que no encontraron parásitos en las muestras tomadas en esa oportunidad, por el tipo de muestreo que se realizó.

Se tiene conocimiento que en Guatemala así como en otros países como China, India, Estados Unidos, usan desechos sólidos (excretas) en la agricultura. Del mismo modo en Australia, India, México, Tailandia y Alemania usan aguas residuales en la agricultura, e India e Indonesia usan ambos métodos (11).

F. Composición química del agua residual

Según de la Peña (1976), la calidad del agua es un término que se usa para indicar la conveniencia o limitación de su empleo para fines de riego. Para eso hay que tomar en cuenta varios aspectos como lo son:

- ❑ Características químicas
- ❑ Condiciones agronómicas
- ❑ Condiciones edafológicas (24).

Para el presente estudio se describirán únicamente las características químicas del agua. Las características químicas del agua van a depender de los constituyentes salinos y de su peligro potencial en los efectos directos e indirectos sobre los cultivos.

Las aguas se clasifican en:

1. Contenido total de sales solubles
2. Concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes y su efecto en las características físicas del suelo.
3. Concentración de iones u otros elementos tóxicos
4. La concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio más magnesio (24).

G. Clasificación del agua para riego:

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1977) el agua se clasifica tomando en cuenta dos aspectos:

1. Peligro de salinidad, dividiéndose este grupo en cuatro
 - Agua de baja salinidad
 - Agua de salinidad media
 - Agua altamente salina
 - Agua muy altamente salina (24).

2. Sodio, esta clasificación se basa en el efecto que tiene el sodio intercambiable sobre la condición física del suelo. Las plantas sensibles a este elemento pueden sufrir daños debido a la acumulación de sodio en sus tejidos

cuando los valores de sodio intercambiable son más bajos que los necesarios para deteriorar la condición física del suelo.

a) Las aguas con base a la relación de adsorción de sodio –RAS- se clasifican en:

- i. Agua baja en sodio
- ii. Agua media en sodio
- iii. Agua alta en sodio
- iv. Agua muy alta en sodio (24).

El uso doméstico del agua produce un incremento en su contenido de sales que suele estar entre 150-400 mg/l. Este aumento no se altera con la depuración y esto hace que las aguas residuales pueden presentar problemas de salinidad (14).

Concentraciones elevadas de cloruro en el agua de riego puede producir toxicidad en los cultivos. Aguas con un contenido de cloruro inferior a 140 mg/l no presentan problema (14).

H. Microorganismos presentes en las aguas residuales

En países en desarrollo la relación entre excretas y enfermedades es muy común. Por ello las aguas residuales y los desechos contienen grandes concentraciones de organismos patógenos capaces de infectar al ser humano como lo son las: bacterias, protozoos, helmintos y virus (11, 14).

El tipo de parásitos entéricos a buscar en un sistema de vigilancia depende en parte de las afecciones locales y de los parásitos que pueden servir como indicadores de remoción en el agua. Los huevos de helmintos como *Taenia* y *Ascaris* son relativamente fáciles de aislar e identificar y dan información sobre los tratamientos de remoción utilizados en el agua, que depende principalmente de la sedimentación. Los protozoarios tienden a estar más diluidos en el agua y su detección requiere de técnicas de concentración específicas (25).

La importancia de evaluar los huevos de helmintos en los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales es debido a que estos organismos constituyen el mayor riesgo real para la salud pública proveniente del riego con aguas residuales en las zonas donde las helmintiasis son endémicas (26) y Guatemala es una de estas zonas.

Se tienen datos (1979) que indican que las infecciones helmínticas representan un 56.72% y los parásitos más frecuentemente encontrados son *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura* y *Uncinaria* (27) (Anexo No. 1).

1. Bacterias (Anexo No. 1)

Las bacterias son el mayor componente de la comunidad microbiana en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. Normalmente se encuentran en valores de 10^6 bacterias/ml o mayores en aguas crudas. Proviene del tracto gastrointestinal del hombre o animales y algunas pueden producir enfermedad (12).

La calidad microbiológica de las aguas residuales se establece por medio del número de coliformes fecales y de la presencia de bacterias patógenas como la *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio cholerae*. Sin embargo sólo se utiliza la determinación de coliformes fecales como indicadores de contaminación, ya que estos siempre se encuentran presentes en el intestino y no están normalmente en el suelo. En agua contaminada, las bacterias coliformes se encuentran en densidades proporcionales al grado de contaminación fecal. Cuando miembros del grupo coliforme están presentes, generalmente también se encuentran presentes otros tipos de microorganismos capaces de causar enfermedades (13, 25).

Las coliformes son bacilos Gram negativo, no esporoformadores, aeróbicos facultativos, que fermentan lactosa con producción de gas en 48 horas a 35°C. Las bacterias coliformes incluyen los géneros de *Citrobacter*, *Escherichia*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (12, 25).

Existen dos tipos de coliformes: coliformes totales, que son bacterias que se encuentran en el suelo y en aguas contaminadas, normalmente; y coliformes fecales, que se encuentran únicamente en las excretas. Las coliformes fecales especialmente la *E. coli* son indicadores definitivos de contaminación fecal. Los coliformes totales son solamente presuntivos (12).

2. Virus

Los virus que se pueden encontrar en las aguas residuales y que pueden contaminar las fuentes de agua de consumo o potable pertenecen a un grupo amplio denominado virus entéricos (25). Estos pueden acusar gran variedad de enfermedades (Anexo No. 1).

Los virus entéricos son parásitos obligados que dependen del hospedero para su reproducción y son transmitidos por la ruta oro-fecal. Su reproducción en el intestino conlleva a que se excreten partículas virales en números muy altos en las heces de los individuos infectados (25).

Cuando se utiliza agua residual para irrigar cosechas, hay un alto riesgo de contaminación por nemátodos y bacterias, pero existe poco o ningún riesgo de contaminación por virus (11).

Los procedimientos para el aislamiento e identificación viral son muy engorrosos y poco aplicables para sistemas de vigilancia de rutina. A pesar que los virus entéricos son excretados en grandes concentraciones en las heces, éstos son diluidos en las aguas residuales y agua potable. Debido a esto es necesario usar técnicas especiales de concentración para aislar números pequeños de virus en el agua. La concentración permite conocer el número de virus en 10, 100 o 1000 lt de agua. Existen varias formas de concentrar a los virus entre ellas están la adsorción del virus diluido a materiales inertes como el polvo de vidrio, talco o polímeros sintéticos o por usando filtros especializados de carga positiva o negativa. Luego se efectúa la elusión y la biofloculación, lo que reduce más el volumen del eluido. Los virus entéricos en el agua son muy diversos y aún no se han desarrollado las técnicas para el aislamiento de algunos muy importantes. Por ejemplo, los virus del grupo Norwalk, hepatitis epidémica No-A y No-B. La metodología de concentración y detección en monocapas celulares del virus de la hepatitis A ha sido desarrollada, pero es muy complicada y costosa. Para los enterovirus y los rotavirus si existen técnicas para aislamiento del agua, pero se necesita equipos más complicados (17, 25).

3. Parásitos del hombre en aguas residuales

Son excretados en las heces y pertenecen a dos grupos principales: los protozoarios y los helmintos. Los parásitos transmitidos por la ruta oro-fecal tienen el potencial de causar infección o brotes epidémicos asociados con agua contaminada. Los protozoarios intestinales que pueden causar diarrea o disentería en el hombre son *Entamoeba histolytica* y *Balamtidium coli*, *Giardia lamblia* y *Blastocystis hominis* (26,27).

Aunque son muchos los helmintos que causan enfermedad en el hombre, sólo aquellos cuya ruta principal de transmisión es en forma de huevos excretados por el hombre serán considerados. En contraste con los protozoarios los helmintos no incrementan su número dentro del hospedero, es decir un huevo maduro ingerido produce

un adulto sin multiplicación intermedia. Debido a esto el principal problema con los helmintos es el incremento gradual del número de lombrices adultas en el hospedero debido a la continua ingestión de huevos (25) (Anexo No. 1).

a. Protozoos

Son organismos unicelulares, hay 60, 000 especies de las cuales 10, 000 son parásitos de plantas y animales vertebrados e invertebrados. No todos los protozoos se asocian con procesos de tratamiento de aguas residuales. Tres grupos son importantes en el tratamiento de aguas residuales: flagelados, sarcodinos y ciliados (12).

b. Helmintos

Son una agrupación no taxonómica, que se refiere al conjunto de parásitos obligatorios del tracto intestinal (y de órganos asociados) del hombre y otros vertebrados (5). La helmintiasis es un problema en países en desarrollo. Además provoca efectos adversos en la salud nutricional del humano. Un estudio realizado en Guatemala en Santa María Cauqué evidenció que una de las formas de transmisión de enfermedades gastrointestinales es por contacto con heces humanas y por no tener una higiene ambiental adecuada (28, 30).

Según información obtenida durante la Curso de Determinación de Parásitos en Aguas Residuales en la Dirección General de Energía Nuclear “Aspectos Epidémicos de los Parásitos Cuya Transmisión Suele Ocurrir por la Ingestión de Agua y Alimentos Contaminados con Aguas Residuales” en 1987 la incidencia de *Trichiuris trichiura* en Guatemala capital era del 10-35 % quedando en segundo lugar, ya que el primer lugar lo ocupara *Ascaris lumbricoides* (31).

Debido al origen de las aguas residuales, especialmente las de uso doméstico, las probabilidades que existan helmintos patógenos al ser humano aumenta. Los helmintos constituyen el mayor riesgo real para la salud pública proveniente del riego con aguas residuales en las zonas donde las helmintiasis son endémicas. Debido a esto la concentración de huevos de helmintos en esta agua para riego debe ser de uno o menos por litro, esto significa que se debe de eliminar el 99% de los huevos de helmintos mediante procesos de tratamiento apropiado en estas zonas donde su presencia presenta riesgos tangibles para la salud (28).

Los helmintos más importantes para la evaluación sanitaria de lodos residuales son:

- *Ascaris lumbricoides*
- *Trichuris trichiura*
- Uncinarias como *Ancylostoma duodenale* y *Necator americanus* (32).

Este dato se puede aplicar para la evaluación sanitaria de aguas residuales, ya que no existen indicadores seguros para determinar la presencia de helmintos en los efluentes de esta agua, además las técnicas más sensibles existentes hoy en día para detección de huevos de helmintos en aguas residuales permiten encontrar, como mínimo, un huevo por litro (28).

Dado que los helmintos no se reproducen fuera del hospedero y no incrementa su número fuera de éste, esto favorece a que se use como indicador, ya que en una muestra, la cantidad de helmintos no varía con el tiempo (2).

Hay investigadores que consideran que los helmintos, principalmente a *Ascaris spp*, como los indicadores más apropiados para estudios de inactivación de parásitos en agua y lodo residual. A diferencia de las bacterias y otros organismos patógenos, como virus y protozoarios, estas estructuras son capaces de permanecer en estado latente en suelos por períodos prolongados (Anexo No. 2), bajo condiciones ambientales adversas (temperatura inferior a 10°C), pueden conservar su viabilidad durante meses. Además son resistentes a desinfectantes como el cloro y a pH extremos. Los huevos de *Ascaris spp*, se encuentran en altas concentraciones en aguas y lodos residuales (Rhyner, 1995; Mara y Alabaster, 1995; Mehlhorn, 1988) (2).

La Organización Mundial de la Salud –OMS- establece los siguientes Lineamientos para la Calidad Microbiológica de Aguas Residuales tratada para irrigación no restringida expuestas en la Tabla 8 (Anexo No.3). En este la irrigación no restringida se refiere a la irrigación llevada a cabo en árboles, follajes y cosechas industriales, árboles frutales y pasto. La irrigación restringida es la irrigación de campos deportivos, parques públicos, cultivos que comúnmente se consumen crudos (11).

Si se cumplen estos criterios también se reducirá la cantidad de patógenos, tales como huevos de tremátodos, los cuales se reproducen rápidamente en su primer hospedero acuático, o quistes protozoarios a niveles en los que no se puede detectar su presencia. Para alcanzar este grado de tratamiento se requiere de un almacenamiento prolongado (>6 meses) o un período menor de almacenamiento pero a una temperatura más elevada. Este es el caso para la utilización de lagunas de estabilización (7,8,11, 12).

Estas normas pretenden proteger tanto a los agricultores, que trabajan en los campos que se irrigan con esta agua, como a los consumidores del producto. Sin embargo a través de estudios realizados en Brasil en 1996, se demostró que estas normas protegían al consumidor, pero no a los trabajadores del campo ni a sus familias, especialmente a los niños (7,8, 11,12).

Las directrices están basadas en una valoración rigurosa de la evidencia epidemiológica disponible, la cual muestra que la mayoría de los patógenos de interés en irrigación de cultivos son los nemátodos intestinales y las bacterias coliformes (7,8,12).

Según la declaración de Engelberg para poder cumplir con estas pautas o directrices es necesario el uso de lagunas de estabilización. En ella se menciona que sin un tratamiento de desinfección suplementario, el procedimiento convencional para aguas residuales y lodos no puede producir un efluente que cumpla con los lineamientos Engelberg para irrigación no restringida; además que el sistema de tratamiento convencional no es efectivo para la remoción de huevos de helmintos. Sin embargo, en México se realizó un estudio en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec, la cual cuenta con un sedimentador primario y un sedimentador secundario, en el que se encontró que la eficiencia de la planta para eliminar huevos de helmintos del afluente de la planta fue del 100% (2, 28).

I. Factores que reducen la concentración bacteriana y de parásitos

1. Agregación:

Las bacterias tienden a aglomerarse y a adherirse a partículas que sedimentan en un medio acuoso, dulce o salino (12).

2. Dilución de mezclado:

La dilución es importante debido a que disminuye la probabilidad de que un hospedero humano entre en contacto con patógenos (12).

3. Presencia de tóxicos:

La presencia de tóxicos es común en aguas residuales industriales y puede causar una reducción en la carga de microorganismos (12).

4. Organismos predadores:

Las bacterias y los parásitos de aguas residuales, forman parte de una cadena biológica alimenticia y son consumidos por un gran número de protozoos y otras formas de vida (12).

5. Luz solar:

La luz solar y la aireación superficial pueden contribuir con la disminución de la carga bacteriana cuando los tiempos de retención son prolongados y las lagunas son poco profundas (12).

6. Temperatura:

La alta temperatura afecta a las bacterias presentes en las aguas residuales disminuyendo su supervivencia (12).

7. PH:

Las bacterias mueren a pH mayor de 9 (12).

J. Problemas de salud asociados al riego agrícola

Las aguas residuales usadas en la agricultura y la acuicultura pueden representar un riesgo para la salud pública sí:

1. Una dosis infectiva de un patógeno llega al campo o laguna, o si el patógeno se multiplica en el campo o laguna hasta niveles infectivos.
2. Si la dosis infectiva entra en contacto con un hospedero.
3. Si el hospedero se contamina, y
4. Si la infección provoca enfermedad o se continúa transmitiendo (11).

Si esto no ocurre a), b) y c) se convierten en riesgos potenciales a la salud pública. Además si esta secuencia de eventos es rota en algún punto, el riesgo potencial no se puede volver un riesgo real. Es posible diseñar e implementar programas para el reuso de desechos, sin ser un riesgo para la salud pública. Para esto es necesario establecer estándares adecuados para la calidad microbiológica de los desechos y aguas residuales, y de esta forma proteger la salud pública como se debe (11).

La presencia de parásitos patógenos en el agua residual constituye un alto riesgo a la salud pública, especialmente en países de escasos recursos sanitarios y sobre todo de zonas tropicales (Marza, 1974) (33).

Irrigación de las cosechas con aguas residuales no tratadas, causa enfermedades intestinales por nemátodos tanto en los agricultores como en los consumidores. Así mismo tanto los agricultores que trabajan en tierras regadas con esta agua como los que no, pero caminan descalzos tienen más riesgo de infectarse con Uncinarias.

Irrigación con aguas tratadas adecuadamente reduce las infecciones por nemátodos en agricultores y consumidores (33). En países donde las enfermedades gastrointestinales como la helmintiasis son un problema endémico la vigilancia sanitaria de las aguas residuales debería de ser obligatorio.

K. Planta de tratamiento de aguas residuales Nimajuyú I, zona 21

En Guatemala existen varias plantas de tratamiento de aguas residuales, entre las que están el Mezquital zona 12, Bello Horizonte zona 21, la de Villalobos zona 12 y la de Nimajuyú I zona 21.

Esta última está localizada en la zona 21 de la ciudad de Guatemala y recibe los afluentes de toda la colonia Nimajuyú, la cual consta de 3, 456 apartamentos, los cuales consumen un promedio de 292.12 lt/habitante/día y producen un caudal medio de 60 litros de aguas residuales/segundo (34) (Anexo No. 4).

1. Funcionamiento de la planta

Los afluentes llegan a la planta y entran por el canal de aproximación cuya función es la de bajar la velocidad del caudal que ingresa mediante disipadores de energía en tramos de 20 metros. Tiene forma de trapecio. Luego de este canal pasan a:

- a. Caja de concreto, la cual tiene una reja con inclinación de 75° en donde se retienen partículas sólidas de gran tamaño y basura (3, 12,34).
- b. Trampa de grasas: en este punto el caudal tiene un tiempo de retención de dos minutos y cuya función es permitir la flotación de aceites, grasas y objetos con menor peso específico que el agua. Esto protege las tuberías de

taponamientos y el deterioro de la porosidad de los filtros percoladores (3,12,34).

- c. Sedimentadores primarios. Son tanques en forma de cono invertido que utilizan procesos anaeróbicos para la digestión de la materia orgánica en suspensión, generando gases y lodo, los cuales son removidos y evacuados hacia el patio primario de secado de lodos (3, 12,34).
- d. Filtros percoladores: están constituidos de piedra de canto rodado en el fondo y piedra de toba volcánica en la parte superior, es aquí donde se desgasifica totalmente el agua residual. En cada filtro la distribución del agua se lleva a cabo por medio de 58 rociadores fijos de 2 pulgadas de diámetro (3, 12,34).
- e. Sedimentadores secundarios: son estructuras más pequeñas que reciben el agua de los filtros en donde se efectúa el proceso de sedimentación de los sólidos que todavía están presentes y el sobrenadante forma el efluente que es vertido al río Villalobos (3, 12,34).
- f. Patio de secado de lodos: son áreas de escurrimiento y deshidratación de los lodos producidos en los sedimentadores primarios y secundarios, utilizando energía solar (3, 12,34).

Antes de que el caudal llegue al canal de aproximación hay un canal llamado canal derivadora, cuya función es desviar las aguas residuales del cauce receptor cuando en algún momento sea necesario sacar la planta de funcionamiento (3, 12,34).

L. Pruebas de Laboratorio

Los métodos para analizar agua potable y agua residual, son iguales, pero la información obtenida de los diferentes análisis se interpreta de diferente manera, ya que el uso es diferente para cada una (17).

Los exámenes de laboratorio se relacionan con los análisis de las muestras tomadas en el campo, en las plantas de tratamiento, en los puntos de muestreo de los sistemas de distribución de agua, o en los sistemas de captación de aguas residuales. Sólo el muestreo y el análisis múltiple establecerán los cambios de la calidad respecto al tiempo y espacio conforme se trasladan las aguas de la naturaleza y se captan, almacenan, purifican, usan y se convierten en aguas residuales, las cuales a su vez, se colectan, tratan y descargan a las masas naturales del agua o al suelo (35).

Las normas de calidad de agua para los efluentes sirven como criterio para mantener condiciones aceptables en las masas receptoras de agua o sobre las áreas de terreno (35). Los indicadores de la calidad del agua que recomienda la OMS son los coliformes fecales y huevos viables de helmintos (32).

1. Toma de muestra

Para recoger las muestras de aguas residuales debe de evitarse cualquier contaminación secundaria de la muestra. Para preservar las muestras basta con refrigerarla o ponerlas en hielo para evitar cambios secundarios que puedan alterar los resultados reales. Esta refrigeración inmediata es importante para análisis microbiológicos de las aguas residuales o para la demanda bioquímica de oxígeno (35).

Cuando las muestras de agua residual contienen desinfectantes como compuestos de cloro, debe añadirse tiosulfato de sodio a las muestras que serán sometidas a análisis bacteriológicos, a fin de eliminar estos agentes (35,36).

Las especificaciones son las siguientes:

- Los recipientes para colecta de muestra deben ser herméticos y estar perfectamente limpios, enjuagados con agua destilada y estériles.
- También pueden utilizarse bolsas pre-esterilizadas especiales.
- En todos los casos mantener el recipiente cerrado hasta el momento de tomar la muestra.
- Dejar siempre un espacio de aire para facilitar la agitación de la muestra
- Si el agua contiene cloro debe usarse un agente de clorinador, por ejemplo: tiosulfato de sodio al 1% (p/v) (5ml por cada 500 ml de muestra).
- Las muestras deben de estar debidamente identificadas con un registro que indique:
 - * Fecha y hora o intervalo del muestreo
 - * Lugar y ubicación del punto de muestreo (33,35).
- Se debe tener un formato de recolección de muestras (33,35) (Anexo No. 5).

2. Volumen de la muestra

El volumen de la muestra para el análisis de coliformes no debe de ser menor de 100 ml, y para la determinación y cuantificación de helmintos se recomienda que sean de cinco litros de agua (8, 17, 33). Los volúmenes de las muestras analizadas para helmintos son menores, de uno a dos litros, mientras que las muestras para protozoarios son preferiblemente de 40 lt. No se recomienda la búsqueda de helmintos o protozoarios de vida libre ya que estos no son buenos indicadores de remoción (25) (Anexo No. 6).

3. Transporte y recepción de muestras

1. Si las muestras no van a ser procesadas inmediatamente después de 1 hora de colectadas deben transportarse en refrigeración (a menos de 10°C).
2. Un tiempo de 6 horas entre la recolección y el análisis es aceptable; si esto no es posible el tiempo máximo es de 24 horas.
3. Todas las muestras deben estar bien rotuladas (incluir los datos arriba mencionados) al momento de llegar al laboratorio.
4. Al momento de llegar la muestra se deberá llenar el formulario de solicitud de análisis que indicará el tipo de análisis, fecha, hora de análisis, y el tiempo de entrega de resultados (25).

4. Métodos para análisis de aguas

El examen de rutina del agua para detectar la presencia de patógenos intestinales es tedioso y difícil, por lo que es mucho más fácil demostrar la presencia de organismos intestinales no patógenos como *Escherichia coli* y *Streptococcus faecalis*. Estos organismos se encuentran siempre en los intestinos y normalmente no están presentes en el suelo o agua; por lo que cuando se detectan en agua se asume que ésta ha sido contaminada con material fecal (5, 25).

Actualmente los métodos mas utilizados son el método de Fermentación de Tubos Múltiples, llamado también Número Más Probable –NMP- y el método de Filtración por Membrana, los cuales buscan determinar y cuantificar microorganismos como indicadores de contaminación fecal (37). El primer método se basa en la capacidad de estas bacterias de fermentar la lactosa y producir ácido y gas en un período de 24 a 48 horas incubadas a

35°C. El método consiste en tres pruebas: prueba presuntiva, prueba confirmativa y completa (25). Pero debido al tiempo que lleva en realizar todo el procedimiento, en los laboratorios donde efectúan análisis microbiológicos de agua, han ido implementando la utilización del método de filtración por membrana, con el cual se obtienen resultados en 24 horas.

En Guatemala sólo se utilizan como indicadores de rutina a las bacterias coliformes y la *Escherichia coli* como indicador de contaminación fecal, según la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) (17).

El método de filtración por membrana nos sirve para la determinación y cuantificación de coliformes totales y fecales.

Para este análisis se debe de tomar una muestra de agua en un recipiente estéril, la cual es filtrada a través de filtros de membrana de celulosa con poros de 0.45 µm de diámetro que retienen las bacterias, con ayuda de un sistema de vacío. Luego las membranas son colocadas en el medio cromogénico Chromocult (38), se incuba por 24 horas y se obtienen los resultados de coliformes totales, fecales y de *E. coli* para comprobar la calidad del agua que se está analizando (38, 39).

5. Métodos de detección de parásitos en el agua

La metodología para la detección de parásitos en el agua puede ser sencilla. La mayoría de los métodos usan una o más de las características de los huevos o quistes, su peso es relativamente alto y su gran tamaño comparado con el de otros microorganismos. Los métodos de aislamiento más sencillos utilizan la sedimentación de huevos grandes como los de helmintos (25, 37).

a. Métodos directos de detección de parásitos

Los métodos directos de detección de parásitos en agua, son métodos de concentración sencillos y la identificación de parásitos se hace por observación directa en microscopio (25).

IV. JUSTIFICACION

El presente estudio pretendía evaluar la eficiencia del tratamiento en la reducción o eliminación de microorganismos patógenos, de los afluentes de los complejos habitacionales que se encuentran en los alrededores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nimajuyú 1 zona 21. Para esto fue necesario realizar muestreos para determinar las coliformes totales, fecales, *E. coli* y helmintos presentes en el agua residual.

La importancia del presente trabajo de tesis no sólo radica en el aseguramiento de la calidad del agua que proviene de la planta para sus distintos usos, como irrigación de cultivos o áreas forestales, sino en la implementación de un procedimiento básico que permitirá llevar a cabo un análisis microbiológico efectivo, en el cual, además de identificar coliformes como indicadores de contaminación por bacterias patógenas, también pueda determinar y cuantificar la presencia de helmintos de importancia clínica cuyo análisis no se realiza rutinariamente en el país (17). Estos organismos también causan gastroenteritis y deberían de formar parte de un sistema de vigilancia, ya que las bacterias entéricas no son un buen indicador de la presencia de parásitos. Además hay que tomar en cuenta que este tipo de agua, puede llegar a representar un riesgo para la salud de la población que la utiliza (25).

En el estudio se analizaron las muestras desde el punto de vista microbiológico y no desde el aspecto químico de las aguas residuales, ya que según los Lineamientos para el Uso Seguro de Aguas y Desechos Residuales en Agricultura y Acuicultura (1985) realizados en Engelberg, Suiza, debe realizarse el control de la contaminación microbiológica sobre el control químico, el cual es de menor importancia en el reuso de aguas residuales de origen doméstico, como es el caso de los afluentes de la planta de tratamiento del estudio. Además la Unión Europea (que reguló los aportes máximos de metales por aguas residuales) dicen que los aportes de metales con el agua de riego no suelen ser preocupantes, excepto en los casos en que estas aguas recojan los efluentes de industrias con alto contenido de estos metales (7, 12).

V. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Evaluar la eficiencia del tratamiento, para reducir o eliminar los microorganismos patógenos, de las aguas residuales que llegan a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Nimajuyú 1 zona 21.

B. Objetivos Específicos

1. Determinar y cuantificar la presencia de coliformes totales y fecales y helmintos de interés clínico.
2. Contribuir a la implementación de un Sistema de Vigilancia para plantas de tratamiento de aguas residuales en Guatemala.
3. Implementar el análisis y cuantificación de helmintos en aguas residuales en el Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR-.

VI. HIPOTESIS

El porcentaje de coliformes totales, fecales y helmintos es menor en los efluentes provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I que en los afluentes que llegan a ella.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Universo de trabajo

Las muestras de agua obtenidas de los afluentes y efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales Nimajuyú I

1. Muestra

Se trabajaron con 22 muestras para la determinación y cuantificación de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* y 34 muestras para la determinación y cuantificación de huevos de helmintos.

2. Recursos

1. Recursos humanos

- Br. Miriam Regina Miyares Siekavizza (Tesisista)
- Asesores: Licenciada Karin Herrera y Licenciado Hayro García

2. Recursos institucionales

- a) Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR-
- b) Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I zona 21
- c) Biblioteca de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
- d) Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala
- e) Biblioteca de la Facultad de Ingeniería Sanitaria

3. Materiales

1. Equipo

- Autoclave
- Centrifuga
- Refrigeradora
- Incubadora
- Mechero bunsen
- Microscopio con objetivos 10X, 40X, 100X.
- 2 hieleras

- Bomba para vacío
- Tres unidades de filtración
- Equipo portátil para medir el pH y la temperatura

2. Cristalería y materiales varios

- 2 Probetas de 1000 ml
- 1 probetas de 50 ml
- 1 probetas de 100ml
- 1 balón aforado con capacidad de 1000 ml
- 1 balón aforado con capacidad de 500 ml
- 1 balón aforado con capacidad de 250 ml
- 2 beakers de 600 o de 500 ml
- 1 cajas de 50 portaobjetos de vidrio 2 X 3"
- 2 cajas de cubreobjetos de vidrio de 22 X 40 mm
- doscientas pipetas pasteur
- 1 Kitazato de 250 ml
- Pipetas de 1 y 10 ml
- 60 recipientes de vidrio para tomar las muestras
- 50 cajas de petri de 15 X 100 mm
- 3 gradillas de metal
- 32 tubos cónicos con capacidad para 15 ml
- 2 pisetas
- 1 par de cajas de guantes de hule
- 7 papeles mayordomo
- 2 goteros color ámbar
- frascos de color ámbar con tapa rosca para guardar los reactivos
- 2 espátulas de metal
- membranas de nitrocelulosa para filtración con un poro de diámetro 0.45 μm

3. Reactivos

- 1 garrafón de agua destilada
- Agar Chromocult para coliformes
- Acetato de Sodio
- Ácido acético

- Acetato de Etilo
- Sulfato de Zinc
- Nitrato de sodio
- Tiosulfato de sodio
- 25 ml de lugol
- Azul de metileno
- Alcohol al 70%
- Una bolsa de detergente
- 1 litro de cloro

4. Papelería

- 500 hojas de papel Bond tamaño carta
- 2 marcadores indelebles
- 1 rollo de masking tape
- 2 lapiceros
- 1 cuaderno o libreta de campo
- 4 fólder tamaño carta
- 4 ganchos

B. Procedimiento

1. Toma de Muestra

Se tomaron muestras compuestas de forma manual en recipientes o colectores de vidrio con capacidad para un litro (5), se tomó una muestra al día de los afluentes, y de los efluentes. Los recipientes colectores destinados para la determinación de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*, eran frascos de 250 mL estériles. A cada muestra se le midió el pH y la temperatura al momento de tomarla (Anexo No. 5).

Los colectores se colocaron en una hielera con hielo para mantener las muestras a una temperatura menor de 10°C y se llevaron al Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR- para su análisis microbiológico.

2. Análisis de muestras

a. Análisis microbiológico

i. Recuento de coliformes totales y fecales:

Se realizó el análisis por el método de filtración por membrana. Debido a que esta técnica es altamente reproducible, se pueden usar grandes volúmenes de muestra, además nos da resultados más rápido que el método de fermentación por tubo múltiple o Número Más Probable (NMP). El método de filtración por membrana, es útil para el monitoreo de agua potable y de una variedad de aguas naturales. Sin embargo este método tiene sus limitaciones, especialmente cuando se tratan muestras bastante turbias o con una gran contaminación de bacterias no coliformes. (39, 40)

■ Procedimiento

- ❖ Tomar una muestra de agua en un recipiente estéril, y transportarlo al laboratorio en una hielera con hielo para mantener la temperatura de 0 a 4 °C.
- ❖ En un ambiente estéril, tomar 100 mL de la muestra y agregarle 1ml de tiosulfato de sodio y dejarlo actuar por media hora
- ❖ Tomar 10 ml de la muestra de agua con tiosulfato de sodio y realizar diluciones hasta 1:5 y 1:6.
- ❖ Filtrar la última dilución por una membrana de filtración de 0.45 µm utilizando una unidad de filtración, esterilizada previamente.

- ❖ Colocar la membrana sobre el medio de cultivo cromogénico Chromocult, e incubar la caja a 36.5 °C durante 24 horas.
- ❖ Al término de este tiempo se observan colonias de diferentes colores, los cuales nos sirven para distinguir entre coliformes totales, fecales y *E. coli*.

Cuadro No.1 Interpretación de Resultados (38)

Colores presentes en el medio de cultivo	Resultado positivo	Resultado negativo
Coliformes totales	Colonias de color rosa a violeta	Colonias incoloras o de un color diferente a específico para coliformes totales
Coliformes fecales	Colonias de color violeta	Colonias con un color diferente al violeta
<i>E. coli</i>	Colonias de color violeta	Colonias con un color diferente al violeta

b. Determinación y cuantificación de helmintos

i. Método 1: Procedimiento de sedimentación

La sedimentación de los huevos de helmintos es una propiedad que se aprovecha al dejar reposar una muestra de agua por varias horas a una semana.

1. Teniendo la muestra en el laboratorio, ésta debe ser agitada. Luego se mide un litro y se deja sedimentar durante la noche a una semana.

Sedimentación

2. La siguiente mañana, el sobrenadante se remueve cuidadosamente. El sobrenadante se descarta.
3. El sedimento (100-200ml) se resuspende con agitación y con un lavado del recipiente con 25-50ml de agua destilada. El sedimento se centrifuga a 2500 r.p.m. por 15 minutos (25, 35).

Clarificación:

4. El sobrenadante se aspira por medio de vacío y se descarta. Se agrega buffer Aceto-acético a ph 4 en proporción de 1:1 al volumen del sedimento. (Anexo No. 6)
5. Se le agrega acetato de etilo y se mezcla con cuidado por 10 minutos. La mezcla se centrifuga a 2500 r.p.m. por 6 minutos (25).
6. El sobrenadante se descarta y el sedimento se resuspende con 5ml o 5X el volumen del sedimento, con una solución saturada de sulfato de zinc (solución al 33% gravedad específica 1.18). Se mide el volumen (V) del producto.
7. Una porción (P) del producto se transfiere a una cámara de conteo microscópico con una pipeta Pasteur. Se cuentan los huevos a un aumento de 100X.
8. El número total de huevos (N) recuperados de la muestra se determina con esta fórmula

$$N = \frac{XV}{P(1.0)}$$

X	=Número de huevos
P	=Volumen del sedimento observado
V	=Volumen total del sedimento
1.0	=Volumen de muestra (litro)

Para poder evaluar la concentración de helmintos relativa al objetivo de <1 huevos/litro, la sensibilidad del método puede mejorar si se incrementa el volumen de la muestra a >2litro o incrementando la porción (P) que se observa al microscopio (25,41,42).

ii. Método 2: Flotación por centrifugación descrita por Ockert y Teichman (1986)

- 1) En el laboratorio, se agita la muestra y se mide un litro el cual se deja sedimentar durante la noche a una semana.
- 2) Al término del tiempo de sedimentación, se remueve el sobrenadante cuidadosamente. El sobrenadante se descarta.
- 3) Se transfiere el sedimento a tubos de centrifugación de aproximadamente 20 ml. A cada tubo se le pone un máximo de 3 ml. El recipiente de sedimentación se

enjuaga con un poco de agua destilada y el enjuague se pone también en los tubos con sedimento.

- 4) Estos se centrifugan por 10 minutos a 1000 r.p.m. Los sobre nadantes se aspiran y se descartan.
- 5) Se le añaden a cada tubo con sedimento 3 ml de una solución de NaNO_3 (500g/litro, gravedad específica de 1.3) (25, 41).
- 6) Se centrifugan los tubos con NaNO_3 por 3 minutos a 2500 r.p.m.
- 7) El sobrenadante, que contiene los huevos de helmintos, es aspirado y se transfiere a un recipiente de 1500 ml de forma cónica o a una probeta de 1000 con un litro de agua pura (de preferencia estéril) (25, 41).
- 8) Se le agregan 3 ml de NaNO_3 a cada tubo y estos se vuelven a centrifugar a 2500 r.p.m. por tres minutos. El sobrenadante se transfiere al recipiente cónico conteniendo el agua pura.
- 9) Se repite una vez más la flotación con 3ml de nitrato de sodio, para un total de tres veces.
- 10) En el recipiente con el agua estéril, se dejan sedimentar los huevos por varias horas o durante la noche.
- 11) El sobrenadante del recipiente se remueve cuidadosamente y se descarta. El sedimento y un lavado de volumen pequeño de agua destilada, se transfieren a tubos de centrifugación. Los tubos se centrifugan por 4 minutos a 2500 r.p.m.
- 12) Se transfiere 1 ml del sedimento cuidadosamente con una pipeta Pasteur a una cámara de recuento o a un portaobjetos y se examina al microscopio (25, 41).

El producto de ambos métodos fue observado al microscopio con lugol y azul de metileno.

C. Diseño Estadístico

El estudio es de tipo descriptivo, prospectivo y transversal, ya que se tomaron varias muestras de agua de afluentes y efluentes en dos épocas, lluviosa y seca, con una diferencia entre muestras de una a tres semanas.

El tipo de muestreo es aleatorio, no probabilístico por conveniencia. Se realizó una comparación de las variables de coliformes totales, fecales, *E. coli* y helmintos antes y después del tratamiento.

Se realizaron 11 muestreos y los datos obtenidos se analizaron por medio de gráficas y la t de Student, la cual se utiliza para detectar la diferencia de la media de una prueba de otra o de muestras pareadas (44).

1. Análisis de Resultados

Para realizar el análisis de las variables del estudio se utilizó la t de Student, para poblaciones dependientes (antes y después) . Prueba estadística que nos sirvió para determinar la eficiencia en la reducción de coliformes como indicadores y de helmintos, específicamente *Ascaris lumbricoides.*, en los afluyente y efluentes de la planta de tratamiento. Además se analizó la diferencia entre épocas seca y lluviosa; y entre método de análisis.

VIII. RESULTADOS

Se realizaron dos visitas de reconocimiento a la planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I, antes de iniciar la toma muestras del estudio, para conocer la planta y su funcionamiento. Además se determinaron los dos puntos de muestreo, los cuales se denominaron Punto 1, localizado después de la primera reja antes de iniciar el canal de aproximación y Punto 2, en el cual se recolectó el agua proveniente de los sedimentadores secundarios, antes de llegar a los patios de secado (Anexo 4).

Se efectuaron 11 muestreos, cinco en época seca y seis de época lluviosa; obteniéndose un total de 34 muestras para análisis de helmintos y 22 para coliformes totales, fecales y *E. coli*, las cuales fueron identificadas con fecha, lugar de toma de muestra y responsable. Además se llevó una hoja de Recolección de Datos donde se colocó información pertinente (Anexo 5).

Al aplicar la prueba de t pareada a los resultados de coliformes totales y fecales no se encontró diferencia significativa entre el agua tomada en el punto uno y el punto dos. Se encontró la presencia de *Escherichia coli* en las muestras analizadas para los puntos uno y dos de las épocas seca y lluviosa.

En las tablas no. 1 y 2 se reportan los resultados en UFC/100mL de coliformes totales y fecales y de *E. coli* expresado como presencia (+), ausencia (-) para los puntos de muestreo uno y dos de la planta de tratamiento de aguas residuales Nimajuyú I en la zona 21. Los resultados se encuentran en el orden de los 10^7 UFC/100 mL para las coliformes totales y en 10^7 UFC/100 mL y 10^6 UFC/100 mL para coliformes fecales.

A continuación de las tablas 1 y 2 se presentan las gráficas que permiten el análisis de estos parámetros.

En la tabla no. 1 se presentan los resultados en UFC/100mL de coliformes totales de 16 muestras de aguas residuales tomadas de la planta de tratamiento para los puntos uno y dos. Los muestreos se realizaron en época seca y lluviosa, considerándose los primeros 5 datos como de época lluviosa y los últimos 3 datos como época seca.

Tabla No. 1 Recuento de coliformes totales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I.

No. de muestreo	Fecha del muestreo	Pto1 UCF/100mL	Pto2 UFC/100 mL
3* ¹	20-may	2.7 x10 ⁷	3.0 x 10 ⁷
4	04-jun	2.5 x10 ⁷	1.5 x 10 ⁷
5	11-jun	5.3 x 10 ⁷	3.6 x 10 ⁷
6	19-jun	4.4 x 10 ⁷	1.2 x 10 ⁷
8	09-jul	2.8 x 10 ⁸	5.6 x 10 ⁷
9	31-jul	8.8 x 10 ⁷	1.0 x 10 ⁷
10	06-ago	5.1 x 10 ⁷	1.8 x 10 ⁷
11	28-ago	6.7 x 10 ⁷	6.0 x 10 ⁷

Fuente: de datos experimentales

En la tabla no. 2 se presentan los resultados en UFC/100mL de coliformes fecales de 14 muestras de aguas residuales tomadas de la planta de tratamiento para los puntos uno y dos. Aquí están los datos de la época seca y lluviosa, considerándose los primeros 4 datos de época lluviosa y los últimos 3 datos de época seca. Además tenemos los resultados de *E. coli* positivos.

Tabla No. 2 Recuento de coliformes fecales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I

No. de muestreo	Fechas de muestreo	Pto. 1 UFC/100 mL	Pto. 2 UFC/100 mL	Escherichia coli
4* ¹	04-jun	1.1 x 10 ⁷	8.9 x 10 ⁶	+
5	11-jun	8.0 x 10 ⁵	8.0 x 10 ⁵	+
6	19-jun	1.3 x 10 ⁷	6.0 x 10 ⁶	+
8	09-jul	1.6 x 10 ⁷	1.2 x 10 ⁷	+
9	31-jul	1.1 x 10 ⁷	4.0 x 10 ⁶	+
10	06-ago	1.7 x 10 ⁷	9.0 x 10 ⁶	+
11	28-ago	2.5 x 10 ⁷	3.9 x 10 ⁷	+

Fuente: datos experimentales

¹ Corresponden al número de muestreos que se realizaron durante el estudio.

La determinación de huevos de helmintos y el conteo de los mismos se llevó a cabo por medio de dos técnicas, una de sedimentación y la otra de flotación mediante centrifugación. Ambos métodos son recomendados por la Agencia de Protección Ambiental –EPA- (por sus siglas en inglés) (41). El parásito que se encontró en todas las muestras positivas fue *Ascaris lumbricoides*.

Para el análisis de las muestras de helmintos se dejaron sedimentar dos litros de agua residual. Un litro fue analizado por el método de sedimentación y el otro por medio del método de flotación mediante centrifugación. Al mismo tiempo se realizó un control a los métodos, para los cuales se contaminaron dos litros de agua pura estéril, para comprobar que la metodología empleada se estaba aplicando correctamente. La muestra contaminada contenía huevos de *Ascaris lumbricoides* y de *Hymenolepis sp.* Ambos huevos fueron identificados en la muestra, pero se lograron identificar, con mayor facilidad, los huevos de *Ascaris lumbricoides*.

El examen microscópico se efectuó con lugol y con azul de metileno. Este último, para evaluar viabilidad, sin embargo una observación importante fue, que durante la examen de las muestras, casi todos los huevos vistos con azul de metileno estaban teñidos, e incluso en uno de ellos se podía apreciar un huevo de *Ascaris lumbricoides* con una larva moviéndose.

El método de sedimentación se utilizó en 22 muestras de agua y el método de flotación por centrifugación se usó en 12 muestras especificadas en las tablas no. 3 y 4; debido a que el reactivo de nitrato de sodio (NaNO_3) que se utiliza en este último método se encontraba agotado, no se pudo realizar el análisis en todas las muestras de agua. El número de huevos observados vario de un método a otro. Además se encontraron huevos en las muestras tomadas después del tratamiento, sin haber encontrado ninguno en las muestras de antes del tratamiento.

A continuación en la tabla no. 3 tenemos el número de huevos de helmintos presentes en las muestras de agua correspondientes al punto uno y al punto dos de muestreo. En la tabla están el número de huevos encontrados durante el examen microscópico realizado a las muestras. Las muestras para época seca fueron tomadas del 25 de marzo al 2 de abril y del 31 de julio al 28 de agosto. Las muestras de época lluviosa van desde el 20 de mayo al 9 de julio. Las casillas con el signo (-), indican que las muestras no fueron procesadas ni analizadas por ese método. El (0) indica que no se observaron huevos de parásitos en las muestras.

Tabla No. 3 Cuantificación e identificación de helmintos por los dos métodos propuestos

		Huevos de helmintos			
Fecha	No.	Método de Sedimentación		Método de Flotación por centrifugación	
		Pto1	Pto2	Pto1	Pto2
25-mar	1	0	0	-	-
02-abr	2	0	0	-	-
20-may	3	9	0	-	-
04-jun	4	0	2	-	-
11-jun	5	5	3	6	2
19-jun	6	0	0	0	2
03-jul	7	10	1	-	-
09-jul	8	3	0	18	3
31-jul	9	0	0	0	0
06-ago	10	0	0	0	0
28-ago	11	0	0	0	1

Fuente de datos experimentales.

Las muestras procesadas por el método de sedimentación se presentan más limpias que las muestras procesadas con el método de flotación por centrifugación al ser examinadas al microscopio.

La tabla no. 4 presenta las cantidades de huevos / litro ya calculadas en base a los datos de la tabla no. 3, según la fórmula de cálculo de cada método. La fórmula para el procedimiento de sedimentación indica el número de huevos presentes en un litro de agua residual, mientras que la técnica de flotación por centrifugación sólo indica el número de huevos recuperados por litro de agua. Las casillas con el signo (-), indican, al igual que en la tabla no. 3, que no se efectuó este procedimiento para esa muestra. Se obtuvo la mayor cantidad de huevos en la muestra tomada el día 20 de mayo, que fue de 450

huevos/ litro por el método de sedimentación. Además en las muestras tomadas los días 11 de junio y 3 de julio se calcularon 125 huevos/ litro en el punto uno por el mismo método. En el punto dos se calcularon 75 y 61 huevos/ litro respectivamente.

Tabla No. 4 Huevos de Helmintos/ litro en los puntos uno y dos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I

Huevos de helmintos / litro					
Fecha	No.	Método de Sedimentación		Método de Flotación por centrifugación	
		Pto1	Pto2	Pto1	Pto2
25-mar	1	0	0	-	-
02-abr	2	0	0	-	-
20-may	3	450	0	-	-
04-jun	4	0	100	-	-
11-jun	5	125	75	6	2
19-jun	6	0	0	0	2
03-jul	7	125	61	-	-
09-jul	8	38	0	18	0
31-jul	9	0	0	0	0
06-ago	10	0	0	0	0
28-ago	11	0	0	0	1

Fuente de datos experimentales.

Los resultados de la cuantificación de helmintos están en gráficas, en las cuales se ve la diferencia entre la cantidad de huevos observados de un punto a otro. El análisis de los datos se realizó por medio de la prueba de t pareada. El valor p fue mayor de 0.05 y se rechazó la hipótesis de investigación.

En la tabla no. 5 se observan los porcentajes con relación al número de muestras positivas analizadas. Se calcularon porcentajes para la técnica de flotación por centrifugación con base a las 12 muestras analizadas para ambos puntos de muestreo y el porcentaje para la técnica de sedimentación para 22 muestras procesadas.

Tabla No. 5 Porcentajes de positividad para los métodos de sedimentación y flotación por centrifugación.

Método	Punto 1		Punto 2	
	No. de muestras analizadas	%	No. de muestras analizadas	%
Sedimentación	11	36	11	27
Al obtenerse el porcentaje de las 22 muestras analizadas se obtuvo el 31%				
Flotación por centrifugación	6	33	6	50
Al obtenerse el porcentaje de las doce muestra analizadas se obtuvo el 58 %				

Fuente de datos experimentales.

Como se verá en la gráfica no. 11, el aumento de huevos de helmintos en las aguas residuales coincide con la época lluviosa. En la época seca, no se observaron huevos de helmintos por el método de sedimentación. Un resultado similar se observa en los datos presentados por le método de flotación mediante centrifugación, con el cual se encontró un mayor número de huevos recuperados por litro en época lluviosa que en época seca.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales, en cuanto a los recuentos de coliformes totales y fecales y, de helmintos es importante, ya que brinda información valiosa para dirigir el manejo de la misma. El monitoreo de las plantas de tratamiento de aguas residuales debería ser parte de un sistema de vigilancia en el cual se tomaran en cuenta los huevos de helmintos, como *Ascaris* que son relativamente fáciles de aislar e identificar, y dan información sobre los sistemas de remoción utilizados en el agua, que dependen principalmente de la sedimentación (25). La importancia de tratar esta agua antes de la evacuación a las masas receptoras de agua como lo son los ríos, lagos, canales, estanques, estuarios y aguas costeras o para sus distintos usos para irrigación agrícola o uso de lodos para abono es la de eliminar el riesgo a la salud del ser humano (6).

Estos resultados demuestran que existe una gran variabilidad de los datos, encontrándose la mayoría en el orden de los 10^7 UFC/100 mL para las coliformes totales y en 10^7 UFC/100 mL y 10^6 UFC/100 mL para coliformes fecales. La presencia de *E. coli* sólo se confirma, por ser aguas de origen residual (domiciliar).

Los recuentos de coliformes totales y fecales, de antes y después del tratamiento demostraron una disminución, la cual se puede observar en las tablas no. 1 y 2 y en las gráficas 1 a 10 de la sección de resultados. Sin embargo, al analizar los datos por medio de la prueba de t pareada, no se encontró diferencia significativa. Estadísticamente no se rechaza la hipótesis nula (H_0), pero al ver los resultados gráficamente, se observa una gran dispersión, que fue lo que ocasionó aceptar H_0 . En las tablas y gráficas de resultados, se evidenció que sí existe diferencia entre los datos de antes y después de tratamiento. Esto se ejemplifica al ver la tabla no. 1 y la gráfica no. 1, donde se advierte que un recuento del punto uno, está muy elevado con relación a los demás, lo que desvía la media hacia la derecha, provocando que aumente el valor p. Si se elimina este punto, el valor p disminuye y la hipótesis de investigación se acepta, significando esto que sí disminuyen los recuentos de coliformes totales en el punto dos.

Según la gráfica no. 2 los recuentos de coliformes fecales también se ven disminuidos entre antes y después del tratamiento, pero la gran variabilidad de los datos impiden realizar un análisis por medio de la prueba t.

Los recuentos de coliformes totales y fecales no variaron significativamente de una época a otra, aunque existe un número mayor de coliformes fecales en época seca con relación al período lluvioso, tal vez porque el agua de lluvia diluye el agua de la planta, afectando los recuentos. En la gráfica no. 8 se observa que no hubo cambio entre antes y después del tratamiento durante la época lluviosa en la muestra tomada el 11 de junio. A pesar de este dato, si existe una disminución de coliformes fecales durante el tratamiento que se realiza en la planta de tratamiento de aguas residuales, confirmado con los otros tres muestreos.

Para la determinación y cuantificación de huevos de helmintos, se realizaron 11 muestreos durante la estación seca y lluviosa. En cada uno se tomaron aproximadamente 5 litros de agua del punto uno y 5 litros en el punto dos, de los cuales se dejaron sedimentando un litro por método. El método de sedimentación, que utiliza el sulfato de zinc, se empleó en las 22 muestras. El método de flotación mediante centrifugación, que utiliza nitrato de sodio (NaNO_3), se usó sólo en 12 muestras. Esto se debió a la falta del reactivo de NaNO_3 , ya que la importación de este reactivo está restringida, porque tiene nitrato en su composición, el cual puede ser utilizado para la creación de explosivos(47).

No se realizó una comparación entre el método de sedimentación y el método de flotación por centrifugación, pues los resultados que se alcanzan no se pueden comparar, ya que con en el método de sedimentación se utiliza una porción del producto del final, obteniéndose un número estimado de huevos presentes en el sedimento de un litro de agua y este dato se logra por medio de una fórmula; mientras que en el método de flotación por centrifugación se observa el producto total del sedimento final y se obtiene el número de huevos recuperados en un litro. Como se observa en las tablas 3 y 4 con ambos métodos se observaron huevos de parásitos (*Ascaris lumbricoides*). En las muestras agua que se analizaron con los dos métodos (método de sedimentación y el de flotación por centrifugación) se detectaron huevos de helmintos, pero el reporte es distinto debido a las porciones de sedimento que se observan al microscopio.

Al aplicar la prueba de t pareada para el análisis de antes y después de cada método de cuantificación de helmintos, se rechazó la hipótesis de investigación y se aceptó la hipótesis nula, ya que el valor p en ambas pruebas fue mayor de 0.05. Sin embargo es importante tomar en cuenta que uno de los resultados está muy elevado, lo que afectó la media de los datos.

El huevo de helminto que se identificó con facilidad fue el de *Ascaris lumbricoides*, que como lo mencionan algunas referencias, es relativamente fácil de aislar e identificar (15). Las porciones de sedimento fueron examinadas al microscopio con lugol y con azul de metileno. Durante la inspección con azul de metileno, se hallaron huevos de *Ascaris* teñidos con el colorante, por lo que se consideraron huevos no viables.

Debido a las características de los huevos no viables, se hubiera esperado que estos no se sedimentaran, sino que flotaran y al momento de retirar el sobrenadante, se descartaran los huevos no viables con él. Sin embargo en una muestra se observó un huevo de *Ascaris* teñido con una larva moviéndose. Esto hizo pensar que, posiblemente, no todos los huevos teñidos con azul de metileno eran no viables y que además, el tratamiento que se le daba a las muestras, permeabilizaba la pared del huevo. De esta forma el colorante teñía el huevo. Por esto no se reportaron huevos viables o no viables.

En el análisis de las 22 muestras de agua residual con el técnica de sedimentación se encontraron 7 muestras positivas para huevos de helmintos. Esto equivale a un 31% de positividad. En las muestras analizadas con el método de flotación por centrifugación se obtuvo un 58% de positividad. Es importante tomar en cuenta que para la segundo método sólo se trabajaron con 12 muestras, en su mayoría de la época lluviosa, mientras que para el método de sedimentación se analizaron 22 muestras, 10 muestras más, entre las que estaban las de época seca, en donde sólo en una muestra se encontraron parásitos. Si se toman en cuenta el mismo número de muestras de la misma fecha para ambos métodos, el método de sedimentación aumenta su positividad a un 42%. El huevo que sirvió para obtener estos resultados fue el huevo de *Ascaris lumbricoides*. Éste por ser más resistente que los otros parásitos a diferentes condiciones del medio ambiente (7, 15) y debido al gran número que puede ir en las heces es el más indicado para evaluar remoción o presencia de parásitos en aguas.

En la tabla no. 3 se presentan el número de los huevos que se observaron en las muestras y en la tabla no. 4 están los huevos / litro presentes en las muestras. En la primera tabla el número de huevos recuperados por el método de sedimentación correspondientes al punto uno del muestreo 3 y 7 son 9 y 10 respectivamente. Esto haría suponer que la cantidad de huevos recuperada el día 3 de julio (muestreo 7) es mayor, sin embargo al ver la tabla no. 4 se registra lo contrario. Esto se ocurre porque para obtener la información de cada muestreo se deben de ver cierta cantidad de tubos, dependiendo

de la cantidad de sedimento que se tenga de la muestra y el recuento final de huevos en todo el sedimento se introduce en la fórmula descrita en la sección de procedimiento para llegar al número de huevos/litro. Para el caso del muestreo 3, se vieron 14 tubos con sedimento y para el muestreo 7 se vieron sólo 9 tubos.

Una comparación importante para analizar, son los datos presentados en la tabla no. 3 y no. 4 para el muestreo 4 con el método de sedimentación, y los datos del muestreo 6 y 11 con el método de flotación por centrifugación, en los cuales se encontraron huevos después del tratamiento. Debido a que el agua que pasa por la planta tiene un tiempo de retención, el agua que se tomó en el punto dos no es necesariamente el agua que se tomó en el punto uno. De esta forma se puede decir, que en el momento de la toma de muestra del punto uno, se tomó agua que contenía poca carga de huevos. El agua del punto dos con presencia de huevos nos indica que el proceso de sedimentación no fue suficiente para eliminar los huevos presentes en ella.

En la gráfica no. 11, que muestran los resultados obtenidos por medio del método de sedimentación, se reporta la mayor cantidad de huevos / litro en el inicio de la época lluviosa con un número estimado de 450 huevos/ litro, y se mantiene durante esta estación con valores entre 38 y 125 huevos/ litro, hasta la época seca. En la gráfica no.12, cuyos datos se obtuvieron mediante el método de flotación por centrifugación, confirma que durante la época lluviosa el número de huevos en las aguas aumenta y en la época seca disminuyen, aunque no se eliminan.

Con base en las directrices o normas propuestas para el manejo de desechos y aguas residuales en la agricultura y la acuicultura en la declaración de Engelberg por la OMS (7, 8, 15), estos resultados no cumplen con lo establecido para que esta agua sea utilizada en las actividades antes descritas. El límite superior de coliformes es de 1000 UCF/100 mL y los recuentos de coliformes totales y fecales del punto dos están arriba de este valor. Así mismo, no se puede usar esta agua para riego de parques o áreas recreacionales. De lo contrario se pondría en riesgo la salud de la persona que la utilice y a la familia que consuma productos regados con ésta, como ocurrió y fue reportado en un estudio realizado en Punjab, Pakistan. En esta publicación se demostró un incremento en enfermedades diarreicas provocadas por parásitos en la población de estudio, que usaba aguas residuales sin tratar (18).

Según las normas para el uso de aguas residuales para el riego, la cantidad de huevos permisible es de < 1 huevo de nemátodo viable/ litro. Aunque se encontraron menos huevos en los efluentes que en los afluentes no se puede considerar esta agua apta para uso agrícola o recreacional, además contaminará la fuente de agua donde se descarga. Este dato es importante, ya que en los alrededores de la planta de tratamiento de aguas residuales se observan plantaciones de maíz y frijol, los cuales pueden estar siendo regados con el agua del río que recibe los efluentes de la planta.

Aunque son muchos los helmintos que causan enfermedad en el hombre, sólo aquellos cuya ruta principal de transmisión es en forma de huevos excretados por el hombre fueron considerados. Un estudio realizado en Guatemala en Santa María Cauqué evidenció que una de las formas de transmisión de enfermedades gastrointestinales es por contacto con heces humanas y por no tener una higiene ambiental adecuada (28, 30).

El apareamiento de huevos en las aguas de muestra comenzó durante la época lluviosa. La gráfica no. 11 demuestra esto para el procedimiento de sedimentación y la gráfica 12 para la técnica de flotación por centrifugación. En la estación seca sólo se observó un huevo en el agua analizada por flotación mediante centrifugación. Esta información es de gran utilidad, ya que indica que durante la época lluviosa es vital realizar un mejor monitoreo de las plantas de tratamiento de aguas residuales, para lograr la disminución de huevos. Según un estudio realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec, la cual cuenta con sistemas de sedimentación simple y sedimentación floculenta y patios de sedimentación, como es el caso de la planta localizada en Nimajuyú I, disminuyendo la tasa de sobre flujo se logra remover en un 100% los huevos de helmintos con sólo la sedimentación simple (5). Actualmente la planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I trabaja sobre el 64% de su capacidad (48), ya que está diseñada para trabajar con 24 litros por segundo (lt/seg) y en este momento trabaja con 36 lt/seg. Este aumento en el flujo de agua influye en el proceso de remoción de materia orgánica (48).

La presencia de parásitos patógenos en el agua residual constituye un alto riesgo a la salud pública, especialmente en países de escasos recursos sanitarios y sobre todo de zonas tropicales (Marza, 1974) (33).

Irrigación con aguas tratadas adecuadamente reduce las infecciones por nemátodos en agricultores y consumidores (33). En países donde las enfermedades gastrointestinales como la helmintiasis son un problema endémico la vigilancia sanitaria de las aguas residuales debería de ser obligatorio.

Para lograr la sustracción total de los huevos es necesario realizar muestreos y análisis en diferentes puntos de la planta, y no sólo en los afluentes y efluentes. Así se logrará un sistema de aseguramiento de calidad del agua que sale de la planta y ayudará a tomar acciones simples como la de disminuir el flujo de agua que entra a la planta y aumentar el tiempo de retención, para que el proceso de sedimentación sea efectivo. Existen otros métodos alternativos para disminuir la cantidad de helmintos en las aguas residuales, este es el caso de la utilización de preparados de origen vegetal, los cuales, según un estudio realizado por Serpokrilov, N. et al, disminuyen hasta en un 99% la presencia de helmintos en aguas residuales tratadas (49).

X. CONCLUSIONES

1. No existe diferencia significativa luego del proceso de sedimentación respecto a coliformes totales y fecales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Nimajuyú I
2. Si existen helmintos en las aguas residuales tanto en afluentes como efluentes, específicamente *Ascaris lumbricoides* y estos aumentan en época lluviosa.
3. Los conteos de coliformes sobrepasan los valores internacionales propuestos para la reutilización de estas aguas.
4. Los conteos de helmintos sobrepasan los valores propuestos por la OMS para la reutilización de esta aguas.
5. Los efluentes de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales Nimajuyú I no deben ser usadas como agua para riego.
6. Se logró identificar y cuantificar la presencia de helmintos de interés clínico, específicamente *Ascaris lumbricoides*.
7. Los huevos de *Ascaris lumbricoides* sirven como indicadores de contaminación por parásitos en aguas residuales y contribuyen a la evaluación de su eliminación.
8. Se analizaron 12 muestras de agua con el método flotación por centrifugación, de las cuales 6 eran de la época lluviosa, debido a la falta del reactivo de NaNO_3 , que se utiliza para este método.
9. Se encontró un 58% y un 31% de positividad en 12 y 22 muestras analizadas por el método de flotación mediante centrifugación y sedimentación respectivamente.
10. Los métodos de sedimentación y flotación por centrifugación son efectivos para evaluar aguas residuales.
11. La cantidad de parásitos en aguas residuales de origen doméstico aumenta durante la estación lluviosa.

XI. RECOMENDACIONES

1. Realizar más estudios en los que incluya un monitoreo en distintos puntos de la planta para la determinación y cuantificación de huevos de helmintos.
2. Aumentar el tiempo de retención del flujo de agua en la planta.
3. Capacitar y dar información de los procesos que se realizan en la planta a los operadores de la misma.
4. Promover el uso de las técnicas de determinación y cuantificación de helmintos para aguas residuales y ríos.
5. Divulgar las directrices recomendadas por la OMS a todas las instituciones que tengan a su cargo el manejo de plantas de tratamiento de aguas residuales.
6. Divulgar a la población en general del riesgo para la salud que se corre al utilizar aguas de origen residual, aún cuyo origen sea el de una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que las mismas pueden no estar diseñadas para la retención de algunos patógenos o no se le de el mantenimiento adecuado.

Coliformes totales por puntos de muestreo					
	pto 1	pto 2	Fecha	pto1	pto2
20-May	27000000	30000000	20/05/03	2.70E+07	3.00E+07
04-Jun	25000000	15000000	04/06/03	2.50E+07	1.50E+07
11-Jun	53000000	36000000	11/06/03	5.30E+07	3.60E+07
19-Jun	44000000	12000000	19/06/03	4.40E+07	1.20E+07
09-Jul	280000000	56000000	09/07/03	2.80E+08	5.60E+07
31-Jul	88000000	10000000	31/07/03	8.80E+07	1.00E+07
12-Ago	51000000	18000000	06/08/03	5.10E+07	1.80E+07
28-Ago	67000000	60000000	28/08/03	6.70E+07	6.00E+07

coliformes	
	pto 1
04-Jun	11200000
11-Jun	800000
19-Jun	13000000
09-Jul	16000000
31-Jul	11000000
12-Ago	17000000
28-Ago	25000000

Coliformes Totales por época					
lluviosa	seca		pto1		pto1
pto 1	pto1	fecha	lluviosa	fecha	seca
27000000	88000000	20/05/03	2.70E+07	31/07/03	8.80E+07
25000000	51000000	04/06/03	2.50E+07	12/08/03	5.10E+07
53000000	67000000	11/06/03	5.30E+07	28/08/03	6.70E+07
44000000		19/06/03	4.40E+07		
280000000		09/07/03	2.80E+08		

lluviosa	
	pto 1
	11200000
	800000
	13000000
	16000000

Coliformes Totales por época					
pto2	pto2		pto2		pto2
lluviosa	seca	fecha	lluviosa	fecha	seca
30000000	10000000	20/05/03	3.00E+07	31/07/03	1.00E+07
15000000	18000000	04/06/03	1.50E+07	12/08/03	1.80E+07
36000000	60000000	11/06/03	3.60E+07	28/08/03	6.00E+07
12000000		19/06/03	1.20E+07		
56000000		09/07/03	5.60E+07		

pto 2	
	lluviosa
	8900000
	800000
	6000000
	12000000

Coliformes Totales Pto 1 y 2 por lluviosa					
	pto 1	pto2	fechas	pto1	pto2
20-May	27000000	30000000	20/05/03	2.70E+07	3.00E+07
04-Jun	25000000	15000000	04/06/03	2.50E+07	1.50E+07
11-Jun	53000000	36000000	11/06/03	5.30E+07	3.60E+07
19-Jun	44000000	12000000	19/06/03	4.40E+07	1.20E+07
09-Jul	280000000	56000000	09/07/03	2.80E+08	5.60E+07

Coliformes Fe	
	pto1
04-Jun	11200000
11-Jun	800000
19-Jun	13000000
09-Jul	16000000

Coliformes Totales Pto 1 y 2 por seca					
	pto1	pto2	fechas	pto1	pto2
31-Jul	88000000	10000000	31/07/03	8.80E+07	1.00E+07
12-Ago	51000000	18000000	06/08/03	5.10E+07	1.80E+07
28-Ago	67000000	60000000	28/08/03	6.70E+07	6.00E+07

Coliformes F	
	pto1
31-Jul	11000000
12-Ago	17000000
28-Ago	25000000

fecales por puntos de muestreo			
pto. 2	fechas	pto 1	pto. 2
8900000	04/06/03	1.10E+07	8.90E+06
800000	11/06/03	8.00E+05	8.00E+05
6000000	19/06/03	1.30E+07	6.00E+06
12000000	09/07/03	1.60E+07	1.20E+07
4000000	31/07/03	1.10E+07	4.00E+06
9000000	06/08/03	1.70E+07	9.00E+06
39000000	28/08/03	2.50E+07	3.90E+07

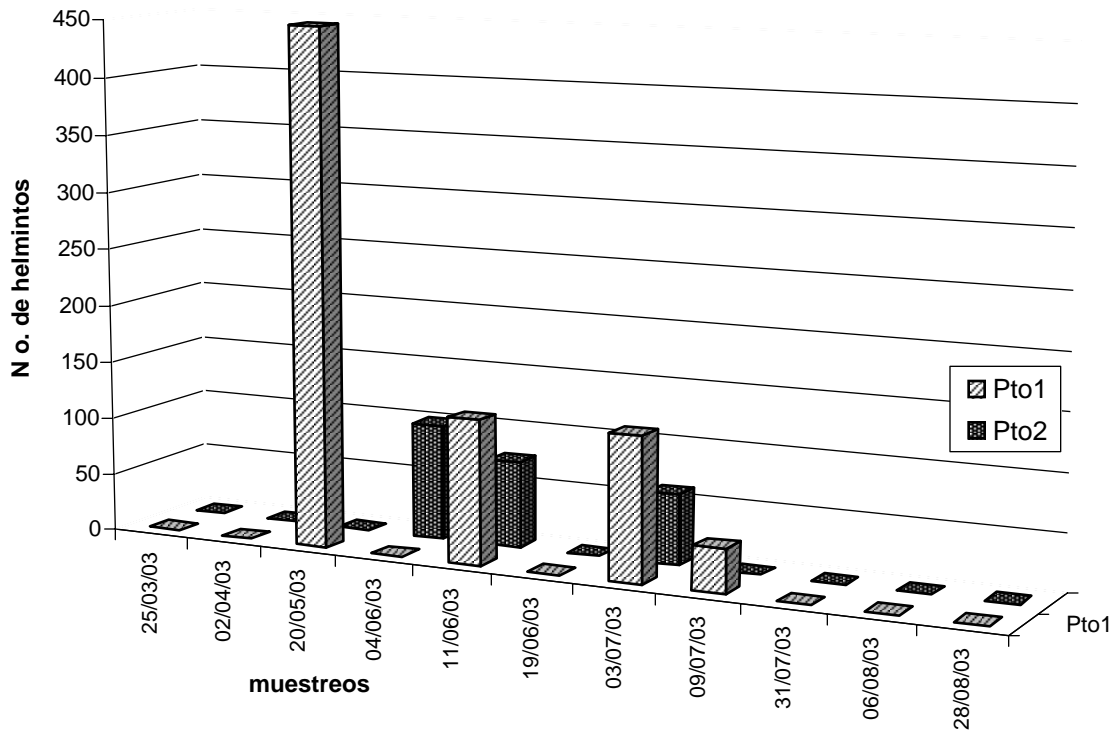
Coliformes Fecales				
seca		pto1		pto1
pto 1		lluviosa		seca
11000000	04/06/03	1.10E+07	31/07/2003	1.10E+07
17000000	11/06/03	8.00E+05	12/08/2003	1.70E+07
25000000	19/06/03	1.30E+07	28/08/2003	2.50E+07
	09/07/03	1.60E+07		

Coliformes fecales por época			
pto2		pto2	pto2
seca		lluviosa	seca
4000000		8.90E+06	4.00E+06
9000000		8.00E+05	9.00E+06
39000000		6.00E+06	3.90E+07
		1.20E+07	

cales Pto 1 y dos por época lluviosa			
pto2	fecha	pto1	pto2
8900000	04/06/03	1.10E+07	8.90E+06
800000	11/06/03	8.00E+05	8.00E+05
6000000	19/06/03	1.30E+07	6.00E+06
12000000	09/07/03	1.60E+07	1.20E+07

cales Pto 1 y dos por época seca			
pto2	fechas	pto1	pto2
4000000	31/07/03	1.10E+07	4.00E+06
9000000	06/08/03	1.70E+07	9.00E+06
39000000	28/08/03	2.50E+07	3.90E+07

Gráfica No. 11 Cuantificación de helmintos en las muestras de agua de la Plant de Tratamiento de Aguas Residuales, Nimajuyú I antes y después del tratamiento por el método de Sedimentación



Pto 1: punto de muestreo 1
 Pto2.: punto de muestreo 2

En la gráfica 11 se observa la diferencia entre el antes (punto 1) y el después (punto2) del tratamiento en la planta de tratamiento de aguas residuales. Las muestra para época seca fueron tomadas entre el 25 de marzo y el 2 de abril, y 31 de julio y el 28 de agosto. En estas no se encotraron huevos de helmintos. Las muestras para época lluviosa se tomaron entre el 20 de mayo y el 9 de julio y en estas si se encontraron huevos de helmintos, con excepción del día 19 de junio, en la que no se encotraron parásitos ni en punto uno ni en el dos, y el punto uno del 4 de junio y el punto dos del 9 de julio.

XII. REFERENCIAS

1. Food, Fuel and Fertilizer from Organic Waste. Washington, D.C.: National Academy Pres. 1981 (p. 1-7)
2. Environmental Protection Agency –EPA- How Wastewater Treatment Works... The Basics. Estados Unidos: Office of Water 1998. 5p.
3. Rodríguez AM., et al. Determinación de Coliformes y Helmintos en Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Nimajuyú Zona 21. Universidad de San Carlos de Guatemala (Informe Final del Curso de Investigación de la Escuela de Química Biológica) 2001
4. García, H. AMSA. 2002
5. Martínez A. E., Martínez P. Determinación de Huevos de Helmintos en las Operaciones Unitarias de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec. Chapultepec, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. 1997. 6.p. disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/index.html>
6. Pelczar M., Reid R. Microbiología. 2 ed. Tay J. trad. México: MacGraw-Hill, 1982. XIV+826p.
7. Organización Mundial de la Salud -OMS- Guidelines for the safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture Summary. Engelberg, Suiza, 1985. 12 p.
8. Blum D. Dr. Aspectos Sanitarios de la Utilización de Aguas Residuales Excretas en la Agricultura y Acuicultura, La declaración de Engelberg. Organización Mundial de la Salud –OMS- 2000. disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/index.html>
9. Markew G., Geyer J. Ch., Okun D. A. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Ayanegue S. Ing. Trad. México: Editorial Limusa S.A. C.V. Vols. 4, vol 1, 1987. 268 p.
10. Manual de Tratamiento de Aguas Residuales, Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1 ed. Guerrero R., trad. México: Editorial Limusa. 1964. 205 p.

11. Babcock R. H. Instrumentación y Control en el Tratamiento de Aguas Residuales Potables, Industriales y de Desecho. México: Editorial Limusa Willy S.A. 1971. (p. 105-111)
12. Archila, C., et al. Determinación de Parásitos en Aguas Afluentes y Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nimajuyú. Guatemala USAC, (Informe Final curso de Investigación de la Escuela de Química Biológica) 1997. 41p.
13. Ramos C. El Uso de Aguas Residuales en Riegos Localizados y en Cultivos Hidropónicos. Moncada, España: Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Doc. Tec. 1994. 15p.
14. Fair, Geyer, Okun. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. México: Editorial Limusa. Vols. 2, vol 2, 1974. (p. 11-23)
15. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens in Municipal Wastewater Sludge. Estados Unidos: Environmental Protection Agency –EPA-. Doc. Tec. Septiembre 1989 (p. 5-19)
16. Mioirin A. et al. Wastewater Treatment Plant Design. Estados Unidos: Water pollution Control Federation American Society of Civil Engineers. 1991 (p. 425-432)
17. Álvarez M. et al. Evaluación de la Calidad Microbiológica del Agua de las Plantas de Tratamiento de Agua que Surten la Ciudad de Guatemala. Revista UVG 2001;número 11: p.16-21.
18. Feenstra S., Hussain R., van der Hoek W. Health Risks or Irrigation with Untreated Urban Wastewater in the Southern Punjab, Pakistan. Disponible en: <http://www.cgair.org/iwmi/health/wastew/sum1.htm>
19. National Institute of Hygiene and Epidemiology Hanoi, Wastewater Reuse in Agriculture in Vietnam. Hanoi, Vietnam: 2001. disponible en: <http://www.cgair.org/iwmi/health/wastew/projects.htm>
20. Royal Veterinary an Agriculture University, Denmark. Wastewater use in Urban and Peri-urban Vegetable Forming. Kumasi, Ghana: 2001. disponible en: <http://www.cgair.org/iwmi/health/wastew/projects.htm>
21. Agriculture University, Faisalabad, et al. Improving the Performance or Wastewater Irrigation in Peri-urban Areas. Pakistán: 2002. disponible en: <http://www.cgair.org/iwmi/health/wastew/projects.htm>

22. Autoridad de Aguas y Lodos de la Ciudad de Guanajuato. Balancing the Economic and Ecology Concerns of Wastewater Irrigation. Guanajuato, México: Universidad de Guanajuato. 2000. disponible en: <http://www.cgair.org/iwmi/health/wastew/projects.htm>
23. Castro M. L., Flores A. Evaluación de Riesgos Para la Salud por el Uso de las Aguas Residuales en Agricultura. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS- 1990. 4 p.
24. Velásquez, S., Caracterización Cualitativa y Cuantitativa del Recurso agua en la Cuenca del Río Grande Zacapa. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Agronomía) 1984. 136p.
25. Gerba Ch. et al., Manual del Laboratorio Para el Análisis Microbiológico de Agua. López M.B., Álvarez M., Mendoza C., trads. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala, 2000. 117p.
26. Aguilar, F. Parasitología Médica. 3ra. Ed. Guatemala, Litografía Delgado S.A. 1997. 366p.
27. Brown, H. Parasitología Clínica. 3ra. Ed. México. Interamericana. 1977. 320p.
28. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS-, Organización Mundial de la Salud. Medidas de Protección Sanitaria en el Aprovechamiento de Aguas Residuales. 2002. 12p. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/index.html>
29. Padilla E. Prevalencia de Parásitos Intestinales en Escolares de 10 años en Poblaciones de Distintas Áreas de la República de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de Graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1979. (p.4-14 y 34-38)
30. Gordon J., et al. Acute Diarrhoeal Disease in Less Developed Countries. INCAP Publication 1964;I-316: p.9.20
31. Richter, F. Aspectos Epidemiológicos de los Parásitos cuya Transmisión suele Ocurrir Por la Ingestión de Agua y Alimentos Contaminados con Aguas Residuales. Guatemala, Ciudad: Curso Determinación de Parásitos en Aguas Residuales en la Dirección General de Energía Nuclear, 20-24 de enero 1997. 6p.
32. Cifuentes E., et al. Problemas de Salud Asociados al Riego con Agua Residual en México. Salud Pública de México. 1993: Vol.35, No.6: 6p.

33. Environmental Protection Agency –EPA-. Environmental Monitoring and Support Laboratory. Microbiological Methods for Monitoring the Environment Water and Wastes and Support Laboratory. Cincinnati, Ohio: 1978. (p. 5-11, 14-29 y 51)
34. Vásquez C. Operación y Mantenimiento de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Construidas por el BANVI en la Cuenca de la Ciudad Capital. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1994. 40 p
35. Moreira 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 (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia), 2000. 53 p.
36. Cooperación Técnica República Federal de Alemania –GTZ- Programa de Salud Ambiental. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente –CEPIS-, organización Mundial de la Salud –OMS-. Manual de Disposición de Aguas Residuales. Doc. Tec. Perú: 1991. (p. 850-857 y 866-871)
37. Estrada, W. Relación entre la presencia de colifagos y *Escherichia coli* en diferentes fuentes de agua de la ciudad capital, y análisis por asociación de la contaminación viral de las mismas. Guatemala: Universidad de San Carlos (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2001, 47 + 16p.
38. Manual Merck, 2002 Merck KgaA, Darmstadt, Germany.
39. Manual de Análisis Bacteriológico. 2003. disponible en : <http://www.bam.org>
40. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Disponible en: www.epa.gov/ogwaq/methods/indmicro.html 9222_A-
41. Métodos Provisionales de Determinación de la Cantidad de Huevos de Helmintos que Contienen las Aguas Residuales. 1999. disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org>
42. Rendón C., Salgado G., Jiménez B. Frecuencia y Variación Estacional de los Géneros de Huevos de Helmintos más Comúnmente Encontrados den Aguas Residuales en México. México: UNAM. Instituto de Ingeniería. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/index.html>
43. Markew G., Geyer J. Ch., Okun D. A. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Ayanegue S. Ing. Trad. México: Editorial Limusa S.A. C.V. Vols. 4, vol 3, 1987. 268 p.

44. Levin, J. Fundamentos de Estadística en la Investigación Social. 2da. Ed. Valle V, trad. México: Editorial Oxford University Press.1999. 305p.
45. Referencia personal: Ing. Ricardo Rodas, Jefe de la Unidad de Control y Manejo de aguas negras del área metropolitana EMPAGUA.
46. Referencia personal: Ing. Julio Santos , EMPAGUA. Fecha de la misma: 25/03/03.
47. Información otorgada por los vendedores del área de productos químicos en Merck Centroamericana.
48. Referencia personal: Rene Antonio Rivera laboratorista de la Unidad de Control y Manejo de Aguas Negras del Área Metropolitana, EMPAGUA.
49. Serpokrilov N. et al. Deshelmintación de Aguas Residuales con Preparados de Origen Vegetal. México Universidad Autónoma de Querétaro. 2000. 5p. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/index.html>

XIII. ANEXOS

ANEXO No. 1

Tabla no. 6 Principales Organismos Patógenos de Importancia en Aguas y Lodos Residuales

ORGANISMO	ENFERMEDAD
Bacterias:	
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis
<i>Escherichia coli</i> (cepas patógenas)	Gastroenteritis
<i>Salmonella spp.</i>	Salmonelosis, fiebre tifoidea
<i>Shigella spp.</i>	Disentería bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Yersinia spp.</i>	Gastroenteritis aguda
Virus:	
Agentes Norwalk	Gastroenteritis con diarrea severa
Coxsackievirus	Meningitis, neumonía, hepatitis, fiebre, escalofríos.
Echovirus	Meningitis, parálisis, encefalitis, fiebre, diarrea, etc.
Poliovirus	Poliomelitis
Reovirus	Gastroenteritis, enfermedades respiratorias
Rotavirus	Gastroenteritis aguda con diarrea severa
Virus de la Hepatitis A	Hepatitis infecciosa
Protozoos:	
<i>Balantidium coli</i>	Diarrea y disentería
<i>Cryptosporidium</i>	Gastroenteritis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Enteritis aguda
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis (diarrea, retortijones, pérdida de peso)
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmosis
Helmintos:	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Anemia desórdenes digestivos y nutricionales
<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiasis
<i>Hymenolepis nana</i>	Teniasis o himenolipiasis Anemia
<i>Necator americanus</i>	Teniasis; insomnio, desórdenes digestivos, nerviosismo, dolor, anorexia
<i>Taenia saginata</i>	Teniasis; mismos síntomas que <i>Taenia saginata</i> .
<i>Taenia solium</i>	
<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis: diarrea, anemia, pérdida de peso, dolor abdominal.

Tomado de EPA 1985 y EPA 1989 y del Manual de Laboratorio para el Análisis Microbiológico del agua, Universidad de Valle de Guatemala enero 2000. (15, 25)

ANEXO NO. 2

Cuadro No. 2 Tiempo de Supervivencia de Microorganismos Patógenos en el Suelo

Patógeno	Suelo		Plantas	
	Límite máximo	Máximo común	Límite máximo	Máximo común
Bacterias	1 año	2 meses	6 meses	1 mes
Virus	6 meses	3 meses	2 meses	1 mes
Quistes	10 días	2 días	5 días	2 días
Huevos de helmintos	7 años	2 años	5 meses	1 mes

Tomado de: Control of Pathogens in Municipal Wastewater Sludge. Environmental Regulation and Technology. September 1989. (Fuente EPA, 1985) (15).

ANEXO No. 3

Cuadro No. 3 Lineamientos para la Calidad Microbiológica del Agua Residual Tratada Para Irrigación no Restringida (1985,1987)

Microorganismos	Límite permitido
Huevos de nemátodos	< 1huevo de nemátodo viable/ litro
Coliformes fecales	<1000 Coliformes fecales /100 ml
Huevos de tremátodos	0 huevos viables /litro o por Kg.

Tomado de : Guidelines for the safe use of wastewater and exceta in agriculture and aquaculture y de Aspectos sanitarios de la utilización de aguas residuales y excretas en la agricultura y acuicultura (8,11,12)

Anexo No. 4
Diagrama de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Nimajuyú I

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Desarenador del afluente (temporal) | 8. Línea de lodos no. 1 |
| 2. canal de aproximación | 9. Patio de secado primario |
| 3. punto de rejas no. 1 | 10. sedimentador secundario |
| 4. Trampa de grasa | 11. Línea de lodos |
| 5. Cajón distribuidor | 12. Patio de secado secundario |
| 6. sedimentadores primarios | 13. Afluente |
| 7. filtro percolador | |

ANEXO No. 5

Boleta de Recolección de Datos							
Muestras: aguas residuales de la planta de Tratamiento Nimajuyú I, zona 21							
Lugar de la toma de Mx	No. Mx.	Fecha	Tiempo de (horas)		pH	T °C	Observaciones
			Toma de mx	Recepción de Mx en el Lab			
Pto. 1	1	25/03/2003	10:50	12:30	7.40	24.4	Se tomo luego de la primera reja
Pto. 2	1	25/03/2003	11:15	12:30	8.16	24	Se tomo en el tanque de captación
Pto.1	2	02/04/2003	9:18	11:10	7.42	25	Despejado, soleado con fuertes vientos
Pto.2	2	02/04/2003	9:45	11:10	7.56	25	Despejado, soleado con fuertes vientos
Pto.1	3	20/05/2003	11:25	12:30	7	24	Época lluviosa, parcialmente nublado y poco viento
Pto. 2	3	20/05/2003	11:50	12:30	8	25	Época lluviosa, parcialmente nublado y poco viento
Pto. 1	4	04/06/2003	9:25	10:35		24	Época lluviosa, parcialmente nublado y poco viento
Pto. 2	4	04/06/2003	9:45	10:35		24	Época lluviosa, parcialmente nublado y no hay viento, ambiente húmedo. Temperatura ambiental de 27 °C
Pto. 1	5	11/06/2003	10:55	12:20		24	Época lluviosa parcialmente nublado, viento
Pto 2	5	11/06/2003	11:15	12:20		24	Época lluviosa parcialmente nublado, viento
Pto. 1	6	19/06/2003	8:55	10:10		24	Época lluviosa, nublado, poco viento
Pto. 2	6	19/06/2003	9:20	10:10		24	Época lluviosa, nublado, poco viento
Pto. 1	7	03/07/2003	14:25	15:30		24	Época lluviosa, parcialmente nublado
Pto. 2	7	03/07/2003	14:40	15:30		24	Época lluviosa, parcialmente nublado
Pto. 1	8	09/07/2003	11:15	12:15		24	Época lluviosa, parcialmente nublado, bastante viento
Pto. 2	8	09/07/2003	11:30	12:15		24	Época lluviosa, parcialmente nublado, bastante viento
Pto. 1	9	31/07/2003	10:30	11:45		24	Despejado, soleado con viento
Pto. 2	9	31/07/2003	10:45	11:45		24	Despejado, soleado con viento
Pto. 1	10	06/08/2003	9:35	10:10		24	Despejado, soleado con viento
Pto. 2	10	06/08/2003	9:35	10:10		24	Despejado, soleado con viento
Pto. 1	11	28/08/2003	9:00	10:00		24	Soleado
Pto. 2	11	28/08/2003	9:15	10:00		24	Soleado

No. Mx: número de muestra
Pto1, pto2: punto 1, punto 2

ANEXO No. 6

Cuadro No. 4 Volúmenes de muestra recomendados

Helmintos	Protozoarios
1 litro por sedimentación o centrifugación	40 litros por concentración y clarificación.

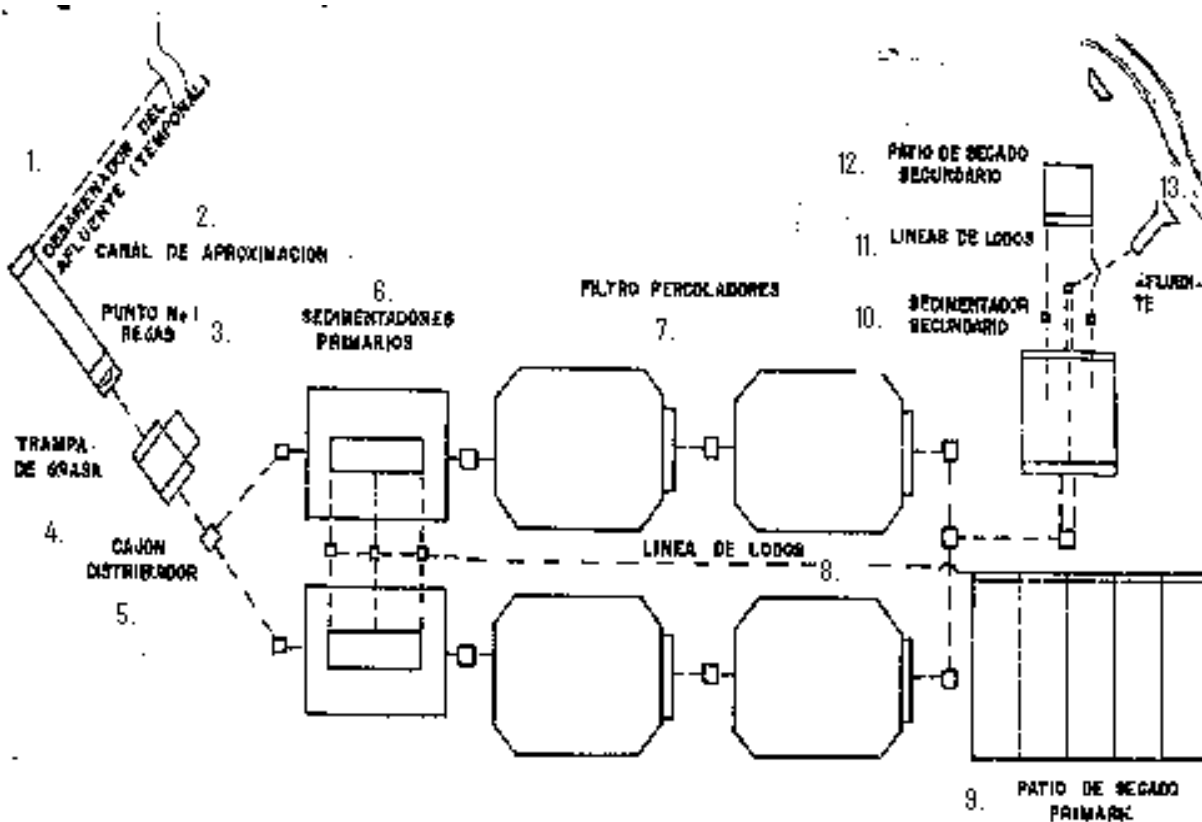
ANEXO No. 7

Preparación de Reactivos

Buffer Aceto-acético:

Acetato de sodio	5.0g
Ácido acético	3.6 ml
Agua destilada	1.0 lt

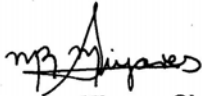
Anexo No. 4
Diagrama de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Nimajuyú I



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

COMPLEJO HABITACIONAL "NIMAJUYÚ"

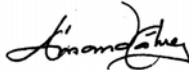
- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Desarenador del afluente (temporal) | 8. Línea de lodos no. 1 |
| 2. canal de aproximación | 9. Patio de secado primario |
| 3. punto de rejas no. 1 | 10. sedimentador secundario |
| 4. Trampa de grasa | 11. Línea de lodos |
| 5. Cajón distribuidor | 12. Patio de secado secundario |
| 6. sedimentadores primarios | 13. Afluente |
| 7. filtro percolador | |



Miriam Regina Miyares Siekavizza
Autora



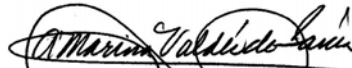
M.Sc. Karin Herrera
Asesora



Licda. Amanda Gálvez
Revisora



Lic. Martín Gil
Revisor



Licda. Alba Marina Valdés de García
Directora de Escuela



M.Sc. Gerardo Leonel Arroyo Catalán
Decano
