

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
Centro Universitario de Ciencias de la Salud  
*Maestría en Ciencias de la Salud Ambiental*

**SUBCOMITE DE TESIS E INVESTIGACION**

Dra. Martha Georgina Orozco Medina  
Titular por el CUCBA  
Dr. Miguel Raygoza Anaya  
Titular por el CUCS  
P r e s e n t e:

Por medio de la presente nos permitimos informar a Usted(es), que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realizó la pasante: Aurora Rosas Ramírez.


Con el título: " Evaluación ambiental del proceso de tratamiento de aguas residuales y los riesgos a la salud en la comunidad universitario del CUCBA "

Manifestamos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorización de impresión y en su caso programación de fecha de presentación y defensa del mismo.

Sin otro particular, agradecemos de antemano la atención que se sirva dar a la presente y aprovechamos la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente

Las Agujas, Zapopan, Jal. a 10 de febrero del 2003



  
Dr. Javier García Velasco  
Director del Trabajo de Tesis


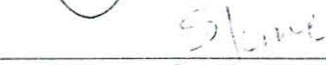
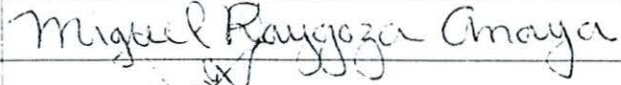



  
Aurora Rosas Ramírez  
Alumna

Asesores:

Dr. Miguel Raygoza Anaya

M.C. Patricia Landeros Ramírez

SINODALES	FIRMA
Dr. Arturo Curiel Ballesteros	
MGSS. Silvia Graciela León Cortés	
Dr. Miguel Raygoza Anaya	
Dra. Martha Georgina Orozco Medina	
Dr. Javier García Velasco	
M.C. Alberto Jiménez Cordero	Suplente 

**DIRECTOR**

DR. JAVIER GARCIA VELASCO

**ASESORES**

DR. MIGUEL RAYGOZA ANAYA  
M.C. PATRICIA LANDEROS RÁMIREZ

## AGRADECIMIENTOS

A todos mis profesores de la maestría por transmitirme su experiencia académica y sus valiosos conocimientos.

Al Dr. Javier García Velasco, por su amistad y por dedicarme su tiempo y apoyo para la realización de este trabajo.

A mis asesores M.C. Patricia Landeros Ramírez y DR. Miguel Raygoza Anaya por darme su tiempo y aportar sus valiosos conocimientos para la culminación de este trabajo.

Al personal del Laboratorio de Ingeniería de Proyectos del CUCEI, especialmente al Dr. Walter Ramírez Meda y la Química Lilian Villarino Miranda por su apoyo y entusiasmo para la realización de este trabajo.

A la M.C. Josefina Casas Solís por el enorme apoyo y dedicación para permitir la culminación de este trabajo.

Al M.C. Salvador Mena Mungía Rector del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias por apoyar en todo momento la realización de este trabajo.

A todos mis amigos por darme aliento en los momentos difíciles y darme ánimo para superarme día a día.

## DEDICATORIAS

*A mis padres, por enseñarme que no hay barreras imposibles de vencer  
y por transmitirme esa inmensa energía para lograrlo.*

*A mi esposo, que es mi fuerza para seguir adelante,  
por apoyarme en todo momento y darme valiosos consejos  
para culminar este trabajo con éxito.*

*A mis hermanas, por tener fe en mi y por darme ánimo.  
y confianza para seguir adelante*

*Aprender a pensar de manera difícil,  
es saber que el misterio y la evidencia  
no son fáciles.*

*Umberto Eco.*

# INDICE

I.	<b>RESUMEN</b>	
II.	<b>INTRODUCCION</b> .....	1
III.	<b>JUSTIFICACION</b> .....	3
IV.	<b>MARCO TEORICO</b> .....	5
	4.1 Antecedentes.....	5
	4.2 Aguas residuales.....	11
	4.3 Métodos de tratamiento de aguas residuales.....	12
	4.4 Tratamiento biológico.....	13
	4.4.1 Lodos activados.....	14
	4.4.2 Características generales del proceso.....	14
	4.4.3 Microbiología de los lodos activados.....	15
	4.4.4 Evaluación de un sistema de lodos activados.....	18
	4.5 Enfermedades transmisibles asociadas con el agua.....	19
	4.6 Riesgos a la salud por bioaerosoles.....	19
	4.7 Riesgo ambiental por contaminación de aguas subterráneas.....	21
	4.8 Definiciones.....	23
V.	<b>LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO</b> .....	31
VI.	<b>OBJETIVOS</b> .....	33
VII.	<b>MATERIAL Y METODOS</b> .....	34
	7.1 Operacionalización de variables.....	35
	7.2 Método.	
	7.2.1 Diagrama de flujo metodología.....	36
	7.2.2 Selección de los puntos de muestreo en agua.....	37
	7.2.3 Selección de los puntos de muestreo en aire.....	38
	7.2.4 Determinaciones a realizar en cada punto de muestreo en la planta de tratamiento.....	38
	7.2.5 Determinaciones a realizar en cada punto de muestreo en aire.....	39
	7.3 Material y equipo.	
	7.3.1 Muestreo de agua.....	40
	a) Equipo para determinaciones en agua.....	40
	7.3.2 Muestreo en aire.....	41
	a)Equipo para determinaciones en aire.	
	7.3.3 Identificación de muestras.....	41
	7.3.4 Método de muestreo y preservación del agua.....	41
	7.3.5 Preparación de envases para toma de muestras.....	42
	7.3.6 Procedimiento para toma de muestras.....	42
	a) Análisis bacteriológico.....	42
	b) Análisis físico-químico.....	43
	7.3.7 Manejo de muestras.....	43
	7.3.8 Metodología para el análisis de agua.....	43
	7.3.9 Estimación del Índice de Calidad del Agua.....	45
	7.3.10 Metodología para el análisis de patógenos en aire.....	50
	a) Aislamiento de bacterias.....	50
	7.4 Calendario de muestreos.....	51
	7.4.1 Muestreo en agua.....	51
	7.4.2 Muestreo en aire.....	52
	7.5 Análisis estadístico.....	52
VIII	<b>RESULTADOS</b> .....	53
	8.1 Muestreos en agua.....	53
	8.2 Muestreos en aire.....	58
IX.	<b>DISCUSION</b> .....	63
X.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	69
XI.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	71
XII.	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	72

**XIII. ANEXOS:**

▪ I. Croquis CUCBA.....	77
▪ II. Resultados de estudios piloto en agua.....	79
▪ III. Resultados de estudios piloto en aire.....	81
▪ IV. Cálculo de UFC respiradas por jornada de trabajo.....	84
▪ V. Análisis descriptivo de parámetros de calidad estudiados en el proceso de depuración de aguas residuales del CUCBA.....	86
▪ VI. Fotografías.....	92

## INDICE DE TABLAS

No.	Título	Página
1.	Población del CUCBA de 1997 al 2001.	3
2	Balance de agua subterránea en el estado de Jalisco.	8
3	Principales procesos biológicos aerobios utilizados en el tratamiento de agua residual.	13
4	Operacionalización de variables	35
5	Localización de los puntos de muestreo en aire.	38
6	Determinaciones a realizar en cada punto de la planta de tratamiento.	39
7	Determinaciones a realizar en cada punto de muestreo de aire.	39
8	Características del equipo.	40
9	Descripción de métodos analíticos en agua .	44
10	Parámetros utilizados es este estudio para el cálculo del índice de calidad del agua.	46
11	Valor asignado a los parámetros de turbiedad, color , pH y conductividad.	46
12	Valor asignado a los parámetros de cloruros, sólidos disueltos totales y coliformes totales.	47
13	Valor asignado a los parámetros de temperatura, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno.	47
14	Valor asignado a los parámetros de nitrógeno total, fósforo total, grasas y aceites.	48
15	Valor asignado a los parámetros de sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales.	48
16	Valor asignado a los parámetros de coliformes fecales.	49
17	Peso asignado a los parámetros	49
18	Calendario de muestreos en agua.	51
19	Usos del agua en función de su calidad.	55
20	Cuadro comparativo entre los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996 y los resultados obtenidos para el efluente de la planta de tratamiento del CUCBA.	57
21	Resultados generales de los muestreos de aire UFC.	58
22	Concentración de bacterias aerotransportadas en las distintas zonas de muestreo del CUCBA con el reactor activado y desactivado.	59
23	Unidades formadoras de colonias (UFC) por metro cúbico de aire respirado por las personas en las distintas zonas de muestreo del CUCBA con el reactor activado y desactivado. NOTA: Los cálculos realizados para la elaboración de esta tabla se encuentran en el anexo IV.	59

## ANEXOS

1	Parámetros fuera de la NOM-001-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	80
2	Resultados del estudio piloto en aire.	82
3	Unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire respirado en cada una de las zonas del CUCBA.	85



## INDICE DE FIGURAS

No.	Título	Página
1	<i>Paramecium caudatum</i> uno de los microorganismos más usados en la depuración biológica del agua.	5
2	Inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales.	7
3	Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Estado de Jalisco.	9
4	Tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Estado de Jalisco.	10
5	Cárcamo con aireadores.	14
6	Reactor aerobio de fangos activados.	15
7	Localización del CUCBA.	32
8	Diagrama de flujo de la metodología.	36
9	Diagrama de flujo de la planta de tratamiento del CUCBA.	37
10	Eficiencia del proceso depurador en función de parámetros físico-químicos de la planta depuradora del CUCBA.	53
11	Valores comparativos del índice de calidad del agua (ICA) de la planta depuradora del CUCBA.	54
12	Valores comparativos del índice de calidad del agua (ICA) en función a su uso.	54
13	Valores del ICA real y teórico en el cárcamo y agua tratada.	55
14	Eficiencia del proceso depurador en función del índice de calidad del agua de la planta depuradora del CUCBA.	56
15	Tendencias acumulativas por muestreo bacterias Gram + y Gram -.	60
16	Distribución porcentual de hallazgos bacterianos.	61
17	Porcentaje total de bacterias aisladas.	61
18	Porcentaje total de bacterias aisladas de acuerdo a su patogenicidad.	62

## ANEXO FOTOGRAFICO

No.	Título	Página
1	Muestreo en el cárcamo	93
2	Muestreo en el reactor biológico.	93
3	Muestreo de agua tratada	93
4	Muestreo de aire. Edificio Instituto Madera Celulosa y Papel. Sitio 1.	94
5	Muestreo de aire. Edificio B. Sitio 2.	94
6	Muestreo de aire. Edificio Ñ. Sitio 3.	94
7	Muestreo de aire. Edificio de Rectoría CUCBA. Sitio 4.	94
8	Muestreo de aire. Edificio N. Sitio 5.	95
9	Muestreo de aire. Centro de cómputo. Sitio 6.	95
10	Muestreo de aire. Edificio L. Sitio 7.	95
11	Muestreo de aire. Canchas. Sitio 8.	95

## ABREVIATURAS

CUCBA	Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
CUCEI	Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería.
ANIQ	Asociación Nacional de la Industria Química.
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m	Metro
mm	Milímetro
°C	Grados centígrados
pH	Potencial de hidrógeno
UFC/m <sup>3</sup>	Unidades formadoras de colonias por metro cúbico
OMS	Organización Mundial de la Salud
g/l	Gramos por litro
UTN	Unidades de turbiedad nefelométrica
ml	Mililitro
Km	Kilómetro
Esc. Pt.-Co.	Escala platino Cobalto
µmhos/cm <sup>2</sup>	Microhoms por centímetro cuadrado.
mg/l	Miligramos por litro
NMP	Número más probable
ppm	Partes por millón
DBO <sub>5</sub>	Demanda bioquímica de oxígeno.
DQO	Demanda química de oxígeno.
RAFA	Reactor aerobio de fangos activados.

## II. INTRODUCCION

La Universidad de Guadalajara, como máxima casa de estudios del Estado de Jalisco, inicio desde 1989 una reforma institucional y académica. Con la aprobación de una nueva Ley Orgánica para la Universidad por el H. Congreso del Estado el 31 de Diciembre de 1993, se establecieron las condiciones para que se adoptara un nuevo modelo académico que, bajo la estructura orgánica de Red Universitaria del Estado de Jalisco, funcionara a través de los Centros Universitarios y del Sistema de Educación Superior (1).

Dentro de este marco de desarrollo se conformo el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), centro temático que se encuentra ubicado en Nextipac, Municipio de Zapopan, Jalisco, integrado por las Divisiones de Biología, Agronomía y Medicina Veterinaria y Zootecnia .

El CUCBA presenta características especiales en relación al recurso agua, tanto en las fuentes de abastecimiento, su distribución y su eliminación, ya que se encuentra en una zona rural que carece de red de alcantarillado.

Los principales usos del agua en el Centro Universitario, corresponden a servicios sanitarios, laboratorios, limpieza, riego, higiene personal, consumo animal y en menor medida al consumo humano, lo que implica que dicho recurso presente condiciones de buena cantidad y calidad, asegurando los principales usos.

La fuente de agua que abastece al CUCBA proviene de un pozo profundo construido en el año 1976, el cual tiene 200 metros de profundidad, se cuenta con dos tanques de almacenamiento con capacidad de 60,000 y 30,000 litros respectivamente, de los cuales se bombea a la red de distribución del Centro Universitario. Durante los últimos años este Centro ha crecido enormemente, ya que se han construido nuevos edificios, tanto administrativos como de investigación y docencia, así como un aumento considerable en el personal que labora en sus instalaciones y de estudiantes, incrementando la demanda de servicios y la generación de residuos sólidos y aguas residuales (2).

Desde la fundación de la Escuela de Agricultura hace más de 20 años, se habían eliminado las aguas residuales directamente a fosas sépticas, pero a partir de 1997 se instaló en el Centro Universitario una planta de tratamiento para sus aguas residuales. El efluente de dicha planta actualmente es eliminado a un pozo de absorción.

Además por su extraordinario contenido de materia orgánica, las aguas residuales son un excelente medio de cultivo para numerosos agentes microbianos, principalmente las que provienen de excretas humanas y de animales. Es por esto que a través del agua pueden difundirse gran cantidad de organismos patógenos y causar enfermedades (3).

Es muy importante conocer el riesgo ambiental que constituye la presencia de la planta de tratamiento del CUCBA ya que en los estudios realizados sobre el impacto ambiental de las plantas de tratamiento que utilizan lodos activados demuestran que los tanques de aireación constituyen una fuente importante de emisiones de aerosoles que contienen microorganismos (4).

### III. JUSTIFICACION.

El Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias al localizarse en un área rural, carece de una red de alcantarillado para el vertido de sus desechos líquidos generados en los laboratorios de docencia e investigación y sanitarios. Estos desechos inicialmente eran eliminados a fosas sépticas y actualmente llegan a la planta de tratamiento. Por el origen de estos desechos este vertido contiene gran cantidad de residuos tóxicos así como residuos peligrosos biológico infecciosos, que provienen de los distintos laboratorios de investigación.

Para dar solución a este problema en el año de 1997 se construye una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo biológico con una capacidad instalada para una población de 1,400 personas, que recibe todos los desechos líquidos producidos en el centro universitario, proyecto que en su momento implicó una inversión muy costosa.

De 1997 a la fecha el CUCBA ha incrementado su población y como consecuencia de esto ha aumentado la generación de residuos sólidos y aguas residuales (2). Tabla 1.

Tabla 1. Población del CUCBA de 1997 al 2001.

Año	Estudiantes	Trabajadores	Maestros	Total
1997	1,400	280	350	2,030
1998	1,580	300	360	2,240
1999	1,800	330	360	2,490
2000	2,050	340	380	2,770
2001	2,200	350	400	2,950
2002	2,450	350	400	3,200

Fuente: Unidad de Protección Civil CUCBA.

Actualmente la planta de tratamiento se encuentra funcionando pero no cuenta con ningún tipo de mantenimiento, conservación, ni monitoreo ya que se carece de personal calificado para esto, además, se desconocen las condiciones de las poblaciones de los microorganismos presentes en los lodos, así como también la calidad del influente y del efluente, existiendo la probabilidad de que el efluente contenga sustancias tóxicas y tomando en cuenta que este va directamente a los mantos freáticos de la zona caracterizada por ser un área agrícola, es importante considerar el impacto ambiental que esto podría estar provocando por su efecto tóxico, así como por sus consecuencias sobre la producción de alimentos.

Existe la referencia de haberse realizado estudios parciales para evaluar la calidad del agua potable dentro del Centro Universitario, en los cuales se determinó que la calidad bacteriológica del agua es deficiente (2).

Por otra parte, la planta de tratamiento genera aerosoles que pueden estar afectando la salud de la población del Centro Universitario, por lo cual es importante determinar la presencia de microorganismos en distintos puntos del CUCBA para determinar si constituyen un riesgo para la salud de la comunidad universitaria.

Este estudio da respuesta a las siguientes preguntas:

- 1.- ¿Cuál es la eficiencia del proceso de depuración de aguas residuales de la planta de tratamiento del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara?
- 2.- ¿Cuáles son los puntos críticos de control en el proceso de depuración de aguas residuales?
- 3.- ¿Cuáles son los riesgos a la salud y al ambiente derivados de este proceso?

Con este estudio se determinan las características físico-químicas y microbiológicas del influente y efluente de la planta de tratamiento, así como el identificar los puntos críticos de dicho proceso de depuración, con base en los lineamientos establecidos por la Norma Oficial Mexicana de Ecología NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (5), lo que permitirá establecer si constituye un riesgo para el ambiente, además de identificar la presencia de patógenos en el aire en distintos puntos del CUCBA y determinar si los aerosoles generados por la planta de tratamiento representan un riesgo a la salud de la población universitaria, planteando las acciones necesarias para un adecuado funcionamiento de la depuradora, permitiendo que ésta trabaje eficientemente, reduciendo así riesgos al ambiente, y establecer medidas que reduzcan los riesgos sanitarios para la población universitaria derivados de la planta depuradora.

## IV. MARCO TEORICO

### 4.1 Antecedentes:

Aunque la captación y drenaje de aguas pluviales datan de tiempos antiguos, la recogida de aguas residuales tiene su primer precedente en el siglo XIX. El tratamiento sistémico de las aguas residuales surgió a finales del siglo pasado y principios del presente. El desarrollo de la teoría del germen en la segunda mitad del siglo XIX por Koch y Pasteur marcó el inicio de una nueva era en el saneamiento. Antes de esta época la relación entre contaminación y enfermedades había sido estudiada muy ligeramente y la bacteriología, en sus inicios, no había sido aplicada al tratamiento de aguas residuales (6).

Históricamente las poblaciones tomaban agua para su consumo en fuentes y ríos. Las aguas residuales se vertían de nuevo al cauce, aguas abajo de la población. Esta forma de actuar tenía una justificación, el cauce que recibía el agua de desecho recorría un cierto camino hasta que otra población volvía a recoger sus aguas para el consumo. En esta distancia el medio era capaz de recuperarse y las condiciones del agua volvían a ser aceptables para el consumo humano.

Este proceso mediante el cual el medio ambiente se regenera a sí mismo, se denomina autodepuración y en él participan numerosos y variados organismos que se desarrollan y nutren a partir de las sustancias que transporta el agua. (7,6) Fig 1.



Fig. 1 Paramecium caudatum uno de los microorganismos más usados en la depuración biológica del agua.

A principios del siglo XX, sin embargo, los daños y las condiciones sanitarias trajeron consigo una creciente demanda del tratamiento de aguas residuales (8). A medida que la población aumentaba y se industrializaba, los aportes de aguas residuales fueron en aumento y las distancias que separaban las poblaciones no eran suficientes para que la autodepuración natural actuara en su totalidad. Esto provocó que el medio ambiente no pudiera restablecer por sí mismo las condiciones naturales y la contaminación fue en aumento.

Actualmente con el desarrollo y la concentración de la población, la falta de planificación en el uso del agua y en el control de la contaminación producida por los vertidos tóxicos y no degradables tanto industriales, urbanos y agrícolas, crean situaciones peligrosas para la higiene y la salud humana, así como una degradación del medio natural e impiden reutilizar a continuación el recurso hídrico de aguas arriba a aguas abajo y en los acuíferos (6,9).

Así, los núcleos de población, las industrias, hospitales y escuelas, continúan utilizando el agua para evacuar sus desechos, los cuales finalmente son eliminados a los ríos, por ser la forma más económica para deshacerse de ellos, provocando un grave deterioro de los cuerpos de agua y con ello generando un grave problema de salud ambiental, ya que no cuentan con sistemas para el tratamiento de sus aguas residuales (6).

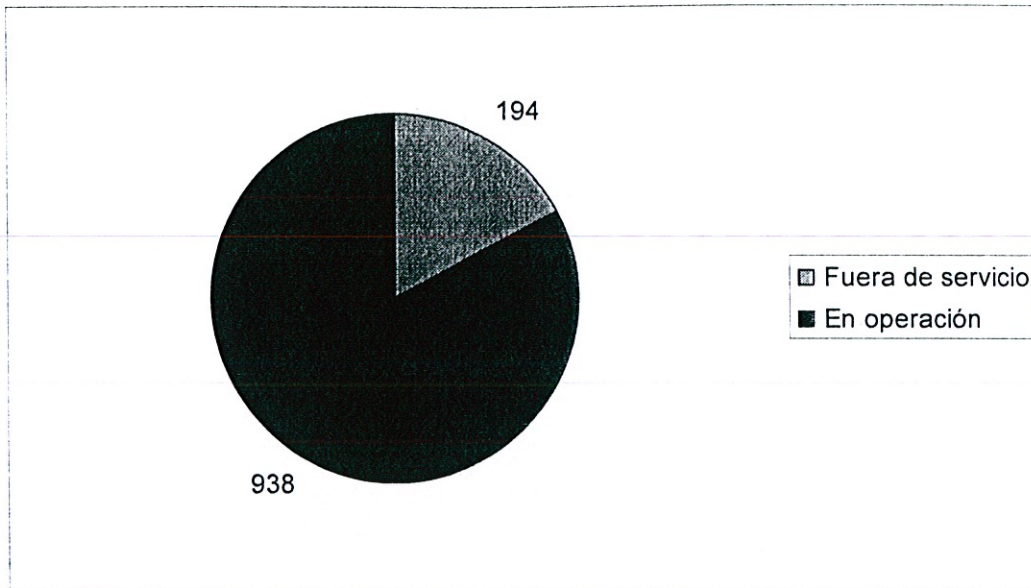
Analizando lo anterior se concluye que la contaminación del agua es la consecuencia de una sucesión de fenómenos asociados a la concentración poblacional y la actividad económica, ya que se demandan crecientes volúmenes de líquido y se generan más residuos y descargas de agua sin tratamiento (10).

México es un país con poca agua superficial. Aún cuando existen extensas zonas costeras, la humedad en el aire que se producen en ellas no alcanza un nivel alto de precipitación en tierra firme, en parte debido a la orografía y la geografía del país y al efecto de las corrientes de chorro en sus latitudes, entre otros factores. No se ha establecido hasta que grado puede ser posible incrementar el uso de los recursos acuíferos disponibles de acuerdo a los requerimientos de los ecosistemas y además que es muy reducido el establecimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales ya que implica grandes inversiones y no existen los estímulos por parte del gobierno para que esto se realice (9,11).

Solo en las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara se generan respectivamente 46, 8.5 y 8.2 m<sup>3</sup>/seg de aguas residuales que, en conjunto equivalen al 34% del total a nivel nacional (estimado en 184 m<sup>3</sup>/seg), de estos 105 corresponden a descargas municipales y 79 a industriales (10).

La Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) declaró que el problema de la contaminación del agua en México es provocada en un 60% por la industria y en el 40% restante por la población. De la descarga total de aguas residuales municipales que es de 105 m<sup>3</sup>/seg, solo se tratan el 15.7% haciendo hincapié en que, aproximadamente, la mitad del volumen tratado es para reuso. Por lo que respecta a las aguas residuales industriales, cuyo gasto es de 79.0 m<sup>3</sup>/seg, solo se trata el 15.5%. En cuanto a los sistemas de tratamiento a nivel nacional, se estima que del total de plantas de tratamiento, solo 20% operan adecuadamente, 35% operan en forma ineficiente y el 45% se encuentran fuera de operación (10). Figura 2.





FUENTE: SEMADES. 2002.

Fig. 2. Inventario nacional de las condiciones de operación de plantas tratamiento de aguas residuales.

En México existen Normas Oficiales que regulan la eliminación de contaminantes a las aguas y bienes nacionales, pero su cumplimiento no se lleva a cabo. De las 40 Cuencas Hidrológicas de México, 20 reciben el 90% de las aguas residuales, de las cuales solo alrededor del 8% son tratadas adecuadamente para regresarse a las corrientes de los ríos (11).

Esta situación ha provocado que en la actualidad el saneamiento ambiental sea el objetivo prioritario para lograr tener una calidad de vida aceptable (12).

La Comisión Nacional del Agua (CNA), establece en 1991 el Programa de Agua Limpia con el fin de reforzar el control de la calidad del agua. Entre los resultados más importantes obtenidos a más de diez años de vigencia del programa en relación a las aguas residuales está el hecho de que el número de hectáreas irrigadas con aguas residuales sin tratamiento, usadas en el riego de verduras y hortalizas que se consumen crudas, descendió de más de 24 mil a 180 hectáreas, beneficiando a la población consumidora y a los trabajadores del campo que se exponen al contacto directo con este tipo de aguas (10).

Jalisco cuenta con 64 acuíferos en 28 zonas geohidrológicas, con una recarga anual de 4,852 millones de  $m^3$ /año es decir, tres veces más que la aportación media anual que Chapala recibe de la Cuenca Lerma Chapala y se estima una extracción de 1,165 millones de  $m^3$ /año ( $Mm^3$ /año). Se utiliza sólo el 24% del agua a través de 9,163 aprovechamientos subterráneos. Tabla 2.

Tabla 2 .Balance de agua subterránea en el Estado de Jalisco.

Mantos acuíferos	Recarga ( $Mm^3$ /año)	Volumen de extracción ( $Mm^3$ /año)	Diferencia ( $Mm^3$ /año)
64	4,852.09	1,165.30	3,686.79

FUENTE: SEMADES. 2002.

Durante 1997 el Estado de Jalisco consumió cerca de 4,500 millones de  $m^3$ /año, de las cuales sólo cerca del 10 por ciento provienen de fuentes subterráneas. En el consumo de cerca de 90 millones de  $m^3$ /año, en el estado, participan las actividades económicas urbanas, siendo las fuentes subterráneas las principales proveedoras de agua para el sector industrial urbano. Es importante destacar que cerca de 3,000 millones de  $m^3$ /año de agua proveniente de fuentes superficiales, son consumidos por las hidroeléctricas (13).

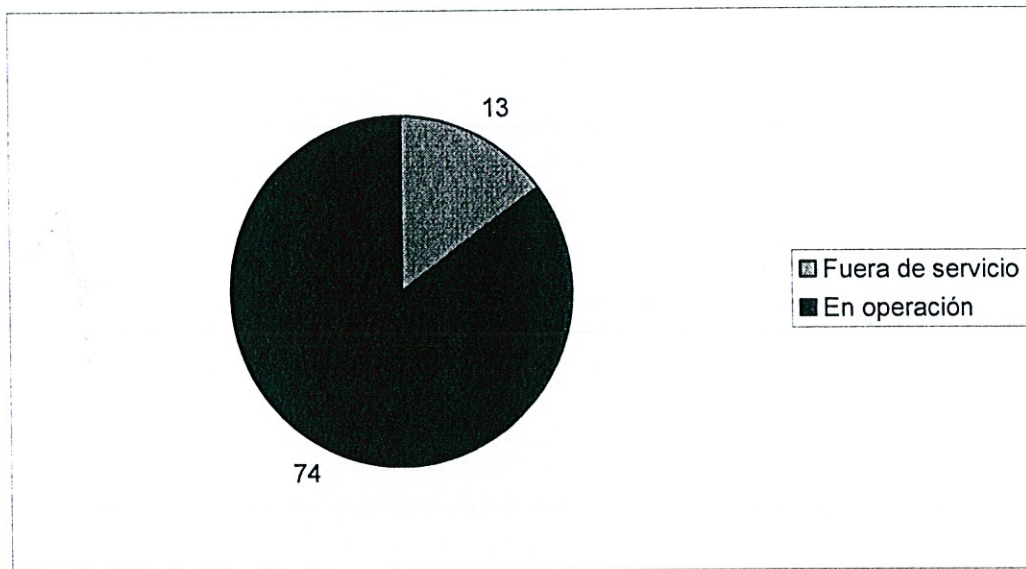
El Estado de Jalisco se divide en 6 regiones hidrológicas, 19 cuencas, subcuencas, escurrimientos y cuerpos de agua, destacando entre éstos últimos por su importancia 54, cuya capacidad de almacenamiento es de 9,977 millones de  $m^3$ , encontrándose actualmente al 35% de acopio (13).

La subcuenca del Río Santiago nace en el lago de Chapala y desemboca al occidente, en el Océano Pacífico; es el sistema hidrológico más explotado y contaminado de Jalisco, tiene un área de 12,238  $km^2$  y recibe una precipitación pluvial media de 870 mm anuales. Se le extraen 1,397 millones de  $m^3$ /año para diversos usos. Presenta, en su parte inicial, considerable contaminación debido a las industrias y poblaciones localizadas en sus márgenes y posteriormente es contaminado por las aguas residuales municipales e industriales descargadas de la Zona Metropolitana de Guadalajara, además de las poblaciones de Amatitán, Tequila, Arenal y Magdalena (13).

Así como la disponibilidad de agua es vital, su tratamiento también lo es, siendo éste un factor indispensable para evitar problemas de salud pública, disminuir afectaciones a los diversos usos benéficos, así como para prevenir daños ecológicos, además de representar una alternativa de rehusó en algunas actividades del sector agrícola e industrial. De ahí la importancia del saneamiento de cuencas y cuerpos de agua (13).

En el estado existen más de 12 000 localidades que generan aguas residuales, algunas vierten sus descargas a ríos o lagos, otras a fosas sépticas; unas en mayor grado que otras, puesto que un poco más de 2 000 de ellas concentran el grueso de la población y aproximadamente 10 000 son comunidades menores de 100 habitantes cada una. En total, se estima que producen 12.045 m<sup>3</sup>/seg. de los cuales sólo el 10 % se trata aceptablemente (13).

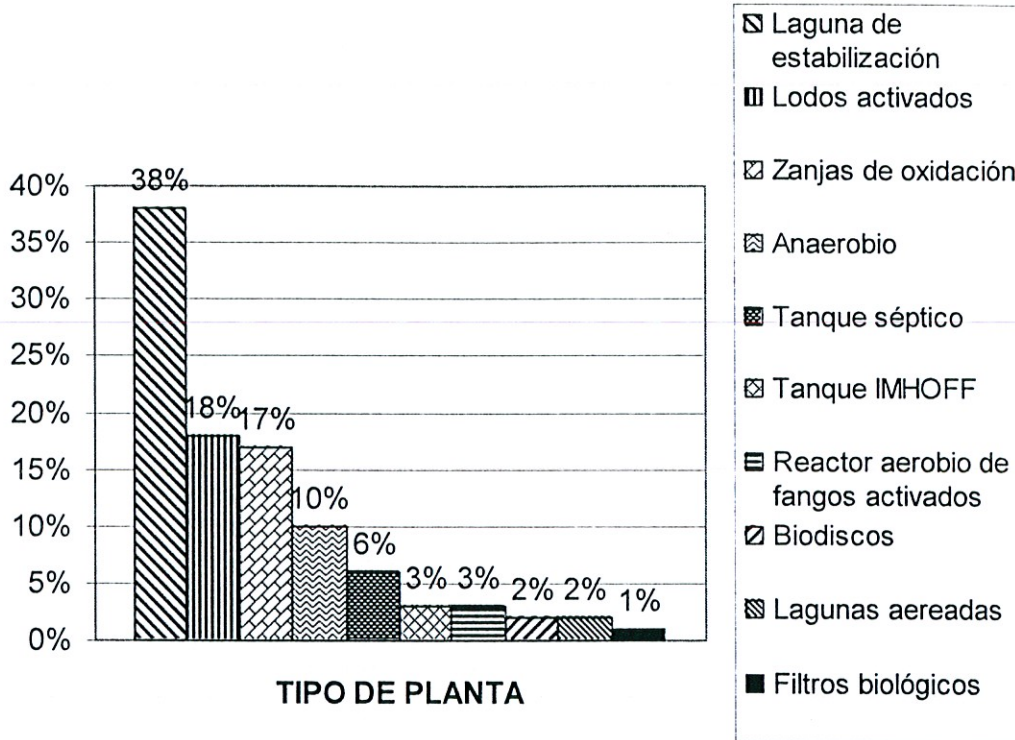
De los 87 sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales instaladas en la entidad, 36 requieren labores de rehabilitación y/o ampliación, 38 son obsoletos y sólo 13 operan aceptablemente. Cabe mencionar que de éstos, el 65% se localizan directamente en la cuenca del Lago de Chapala, en tanto que la Zona Metropolitana de Guadalajara generadora de mayor volumen de aguas residuales, dada la concentración poblacional e industrial, carece de ellos. (13).  
Figura 3.



FUENTE: SEMADES. 2002.

Fig 3. Inventario de las condiciones de operación de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Estado de Jalisco.

En Jalisco existen diversos tipos de plantas depuradoras, siendo el porcentaje más alto el que corresponde a las lagunas de estabilización, lodos activados y zanjas de oxidación. Figura 4.



FUENTE: SEMADES. 2002.

Fig.4. Tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Estado de Jalisco.

El CUCBA cuenta con una planta depuradora desde 1997 para el tratamiento de las aguas residuales generadas.

Las especificaciones técnicas de esta planta la definen como un sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo residencial doméstico, con capacidad de servicio a una población de 1,400 personas. Los datos para el año 2001 muestran que el CUCBA contaba con una población de 3,200 personas (Tabla.1). (14).

No se han realizado estudios de monitoreo sistemático de esta planta, lo que resulta necesario ya que el agua tratada es depositada a pozos de absorción que alimentan mantos freáticos y se debe determinar que no se está provocando un impacto al ambiente por la presencia de tóxicos o patógenos en el agua.

Durante el periodo de 1998 a 1999 se realizó un trabajo de investigación con el fin de evaluar la calidad del agua para uso y consumo humano en el CUCBA, en el cual se obtuvo que el índice de calidad del agua (ICAS) presentó un valor promedio anual mínimo de 86.52 y un máximo de 97.62, lo cual, tomando en cuenta este parámetro, se considera agua de buena calidad sin embargo, la evaluaciones respecto a organismos coliformes totales y fecales resultaron con valores que sobrepasaron los límites máximos permisibles reportados en la

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Se detectó la presencia de *salmonella* en algunos puntos de suministro de agua del Centro Universitario, por lo que se consideró que la calidad bacteriológica del agua es deficiente y permite considerar el agua como no potable (2).

#### 4.2 Aguas residuales

Las cuatro fuentes principales de aguas residuales son:

- Aguas domésticas o urbanas.
- Aguas residuales industriales.
- Escorrentías de usos agrícolas.
- Pluviales.

Los contaminantes de mayor interés presentes en el agua residual son los siguientes: Sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable, patógenos, nutrientes, nitrógeno, fósforo, metales pesados y sólidos orgánicos.

Las cargas contaminantes en las aguas se pueden valorar por medio de las siguientes unidades:

- Cantidades vertidas por unidad de tiempo.
- Cantidades vertidas por unidad de producción o su equivalente.
- Niveles de concentración previstas en aguas receptoras (8).

La contaminación que contienen las aguas residuales esta en función de (15):

- La cantidad de agua disponible por habitante por día, de donde es posible calcular los caudales y su contenido.
- El volumen de los sólidos insolubles que arrastran estas aguas después de pasar a la red de alcantarillado.
- La cantidad de oxígeno disuelto que exija su depuración, designada como  $DBO_5$  (Demanda Biológica de Oxígeno).
- La medida de la demanda química de oxígeno (DQO), que permite valorar la contaminación de origen industrial.

En México la Norma Oficial Mexicana de Ecología NOM-001-ECOL- 1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (5).

### 4.3 Métodos de tratamiento de aguas residuales.

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse por métodos físicos, químicos y biológicos.

Una vez establecidos los objetivos del tratamiento para un proyecto específico, y revisando las reglamentaciones estatales y federales aplicables, el grado de tratamiento puede determinarse comparando las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente. Seguidamente debe procederse al desarrollo y evaluación de las diferentes alternativas de evacuación o reutilización aplicables al caso para, finalmente, seleccionar la combinación óptima (8).

El grado de tratamiento aplicado se debe establecer atendiendo a los siguientes puntos principalmente:

- Las características del cauce receptor y del vertido.
- Las características del cauce receptor en los kilómetros posteriores al vertido.
- Las posibilidades de otros vertidos aguas abajo.
- La posibilidad de tomas de agua cerca del punto de vertido.

Las operaciones y procesos unitarios se agrupan conjuntamente para constituir lo que se conoce como tratamiento primario, secundario y terciario (o avanzado).

El término primario hace referencia a las operaciones físicas unitarias, tales como debaste y sedimentaciones para eliminar los sólidos sedimentables presentes en el agua residual; el secundario hace referencia a los procesos químicos y biológicos unitarios, encaminados a eliminar la materia orgánica principalmente y el terciario consiste en una combinación de los tres procesos unitarios, en los cuales se eliminan componentes tales como el nitrógeno, fósforo, bacterias, hidrocarburos y plaguicidas principalmente(16).

Debe hacerse notar que estos términos son arbitrarios y en la mayoría de los casos, de poco valor. Una aproximación más racional consiste en establecer en primer lugar, el grado de eliminación de contaminantes (tratamiento) que se precisa antes de que el agua residual pueda reutilizarse o verse al medio ambiente y agrupar las operaciones de los procesos necesarios para obtener ese grado de tratamiento requerido (8).

#### 4.4 Tratamiento biológico.

Los procesos biológicos de depuración se basan en el establecimiento de un ecosistema adecuado, con unas condiciones ambientales que favorezcan la actividad de los microorganismos. En estos se consigue la eliminación de contaminantes por una actividad biológica, se usa especialmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloides o disueltas) presentes en el agua residual (17).

Estas sustancias se convierten básicamente en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que puede eliminarse por sedimentación.

Los métodos biológicos se clasifican como se indica en la tabla 3:

Tabla 3. Principales procesos biológicos aerobios utilizados en el tratamiento de agua residual.

Tipo	Nombre común	Uso
Cultivo en suspensión	Fangos activados: proceso convencional, reactor de mezcla completa, aireación graduada, alimentación escalonada, contacto, estabilización, aireación prolongada, aireación de alta carga, empleo de oxígeno, en doble etapa A-B, (procesos Klaus, carrusel).	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación).
	Lagunas de estabilización: aerobias, facultativas, aireadas.	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación).
Cultivo fijo	Filtros percoladores	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación).
	Biodiscos	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación).
Procesos combinados	Filtros percoladores, fangos activados	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación).

Fuente: Metcalf and Eddy. 1994. (18).

Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica.

Estos objetivos se van a alcanzar, en una depuradora dotada con etapa biológica, a través de una doble acción. En primer lugar los microorganismos implicados en el proceso aprovechan parte de la materia orgánica presente en el agua residual, metabolizándola, en un proceso de asimilación del que solo quedará un residuo mineralizado. Por otro lado ciertas especies bacterianas son capaces de sintetizar una sustancia polimérica, una molécula de polisacárido, que les permite unirse entre ellas formando la llamada unión

zooglear y englobar los sólidos en suspensión. Se forman así unos agregados de gran tamaño, los flóculos que son fácilmente sedimentables.

#### 4.4.1 Lodos activados.

El proceso de lodos activados fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett y llamado así porque suponía la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. Se basa en la aireación de las aguas que se trata de depurar, de forma que se consigan oxidaciones rápidas de la materia orgánica, semejándose al proceso que se verifica en la naturaleza durante las diferentes fases de autodepuración de un curso de agua (18).

El procedimiento lo define la American Public Health Association como la agitación de una mezcla de agua residual con uno por ciento o más de lodo líquido, bacteriológicamente activo, en presencia de exceso de oxígeno atmosférico, durante el tiempo suficiente para que coagule gran parte de la materia coloidal que será arrastrada, en una posterior sedimentación, con el precipitado de lodo. El lodo activado ha sido producido previamente por la aireación de sucesivas cantidades de agua residual y mantenido activo por una aireación suficiente aisladamente o en contacto con el agua residual (16).

#### 4.4.2 Características generales del proceso:

El lodo activado se puede formar por acción lenta de microorganismos sobre lodos residuales (55 a 80 días). Estos son de color más claro, generalmente grisáceos, que los lodos residuales normales y carecen de olores desagradables.

Una estación depuradora de este tipo esta formada de las siguientes partes (16):

- Cárcamo donde se recibe el agua residual y es sometida a un proceso de aireación. Fig 5.
- Decantador primario, donde se eliminan los lodos sobrantes.
- Estanque de aireación, donde se trata la masa a depurar durante un mínimo de tres horas, con corriente de aire que proporcione un contenido de 1 a 2 mg/l de oxígeno.
- Decantador secundario, donde se reciclan los lodos hacia el decantador primario y hacia el estanque de aireación.

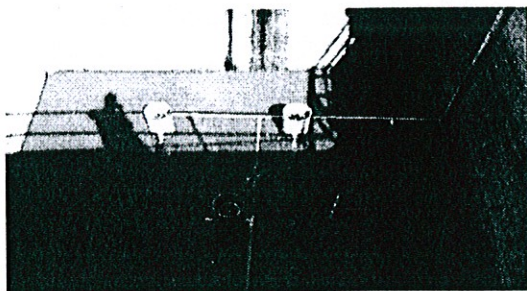


Fig 5 Cárcamo con aireadores



En el reactor se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se denomina líquido mezcla. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos, que a su vez, sirven para mantener el líquido mezcla en un régimen de mezcla completa. Fig. 6.

Tras un tiempo determinado de tiempo la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce a un tanque de sedimentación donde las células se separan del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas es recirculada para mantener la concentración deseada de organismos en el reactor, mientras que otra es purgada del sistema. El nivel al cual se debe mantener la masa biológica depende de la eficiencia deseada del tratamiento y de otras condiciones referentes a la cinética del crecimiento.

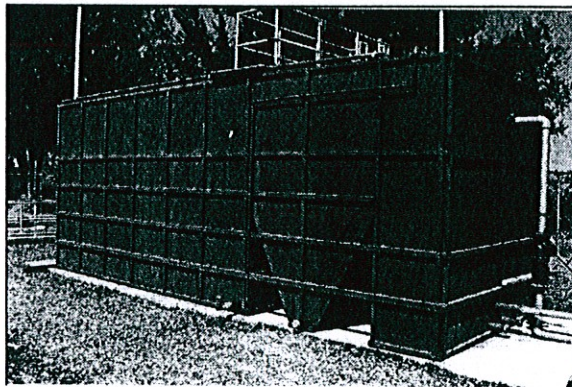


Fig 6. Reactor aerobio de fangos activados.

#### 4.4.3 Microbiología de los lodos activados:

La microbiología de las aguas residuales estudia la estructura y la vida de los microorganismos, así como su función en el ciclo del agua y en los sedimentos. Trata también de las relaciones de esos microorganismos con el resto de los animales y plantas que tienen su hábitat en esos medios.

Los conocimientos sobre la biología de las aguas residuales revelan la variedad de funciones que ejercen los microorganismos y su importante papel en los mecanismos de depuración. Por ello resulta de gran utilidad el conocimiento de su actividad, bajo las condiciones existentes en tales sistemas (16).

La actividad biológica en un reactor, depende del desarrollo de un consorcio microbiano en el cual, estén presentes e interactúen diversos grupos de organismos con morfología y metabolismo diferente (19).

El sistema de depuración por lodos activos es en realidad un ecosistema artificial en donde los organismos vivos (biocenosis) están representados con mayor o menor abundancia, por grupos de microorganismos que constituyen comunidades biológicas complejas interrelacionadas entre sí y con el medio físico que les rodea en la planta depuradora (biotopo).

Las bacterias en el proceso de fangos activados por lo general son gram negativas e incluyen miembros de los géneros *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Bdellovibrio*. Además pueden presentarse diversas formas filamentosas, tales como *Sphaerotilus*, *Thiothrix*, *Lecicothrix* y *Geotrichum*. Es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan rápidamente como sea posible, también lo es que formen un flóculo adecuado, puesto que ello es un requisito previo para la separación de los sólidos biológicos en la instalación de sedimentación. Se ha observado que cuando se aumenta el tiempo medio de retención celular, mejoran las características de sedimentación del flóculo biológico (17).

Aunque las bacterias son los organismos que realmente degradan el residuo orgánico del efluente, las actividades metabólicas de otros microorganismos son igualmente importantes en el sistema de fangos activados por ejemplo los protozoos y rotíferos actúan como depuradores de los efluentes. Los protozoos consumen las bacterias dispersas que no han flocculado y los rotíferos consumen cualquier partícula biológica pequeña que no haya sedimentado.

De esta manera los productos añadidos se incorporan a través de los organismos al metabolismo de las aguas. El proceso descrito en el que también intervienen fenómenos de absorción en el sedimento, se denomina autodepuración. El proceso de depuración está, pues relacionado con los organismos, empezando por las bacterias como descomponedores hasta los productores primarios, portadores de clorofila. De ahí el interés de los estudios de la actividad de los diferentes grupos de microorganismos en los procesos de tratamiento de aguas residuales (18).

Los organismos responsables de la depuración biológica de las aguas residuales utilizan la materia orgánica contaminante como alimento. A través de una larga serie de reacciones químicas que se dan en su interior, las células obtienen así la energía que necesitan para mantener su actividad.

La enorme complejidad de los procesos celulares, el gran número de reacciones químicas implicadas, harán necesarios mecanismos de regulación de la velocidad con que se realizan. Las enzimas son moléculas orgánicas complejas, catalizadores biológicos, cuya función es activar los procesos químicos celulares haciendo así posible el funcionamiento de las células. Cualquier circunstancia que afecte a las enzimas afectará el funcionamiento de las células.

Existen factores externos que pueden afectar la acción de las enzimas, así como variaciones en el medio en el que se encuentran los microorganismos, su pH, temperatura o las concentraciones de los nutrientes y otras sustancias químicas que influirán en la calidad del agua depurada (20,21).

Los microorganismos que intervienen en la depuración están adaptados a la vida en ambiente acuático. El agua es su hábitat y es también el medio que contiene su alimento.

La temperatura ambiental es un factor importante en la regulación de la vida en el medio acuoso. De ella depende la velocidad con que se producen las reacciones bioquímicas que generan la actividad celular. La eficiencia en los procesos de reproducción y por tanto de crecimiento de las poblaciones, están invariablemente ligados a la temperatura del medio.

Los intervalos de temperaturas a los cuales son capaces de vivir los diversos grupos de organismos son un elemento de selección de la fauna microbiana: los psicrófilos viven a temperatura baja, entre los 10 y los 20 °C. En temperaturas entre los 20 y 40 °C proliferan los mesófilos. Los termófilos son activos entre 45 y 60 °C.

El pH es otra importante característica ambiental que influye en la presencia de determinadas especies de microorganismos en los sistemas biológicos de los procesos de depuración. Cada especie puede vivir entre los márgenes más o menos definidos de pH a unos ciertos niveles de acidez o alcalinidad, presentando una actividad óptima a un valor concreto. La mayoría de los ambientes naturales tienen pH con valores comprendidos entre 6 y 8. Los valores mínimo y máximo entre los cuales pueden vivir la mayor parte de los seres vivos se encuentra entre 4.5 y 9.5 (18,16).

Por otra parte el crecimiento de las poblaciones de microorganismos en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales puede ser inhibido por concentraciones variables de determinados productos químicos.

Las concentraciones en las que estos compuestos se encuentren en el medio acuático determinarán los efectos que puedan producir sobre los microorganismos. Para un mismo producto químico a diferentes concentraciones, los efectos pueden ser totalmente opuestos. Algunos de ellos, a concentraciones bajas pueden ser metabolizados y usados como nutrientes (amonio, fosfatos) y a concentraciones elevadas pueden producir efectos nocivos (eutricación de las aguas). Otros pueden producir efectos nocivos a bajas concentraciones.

El hierro y el cobre son micronutrientes esenciales en cantidades muy bajas (trazas) para el metabolismo de la mayoría de microorganismos, pero a mayores concentraciones pueden llegar a inhibir la actividad de muchas enzimas. En el caso específico del cromo se ha demostrado que es capaz de inhibir los lodos activados (19).

Los metales pesados como el Cromo, Cadmio, Mercurio, Plomo, etc., pueden presentar potentes efectos tóxicos sobre la vida de los microorganismos incluso a bajas concentraciones. Algunos se unen a grupos específicos de las proteínas alterando su estructura funcional e inhibiendo su actividad (22).

El Cromo es esencial en pequeñas cantidades para el metabolismo de las grasas y de los hidrocarburos; las sales de Cromo de valencia 6 (cromatos y dicromatos) son solubles en agua y a bajas concentraciones inhiben los procesos biológicos.

Los detergentes y los fenoles atacan la membrana que rodea las células, destruyendo su estructura y afectando su capacidad de introducir el alimento y de excretar los residuos.

Algunos jabones y grasas, recubren las burbujas de aire e impiden la disolución de oxígeno (16).

La disponibilidad de oxígeno es otro factor importante a tener en cuenta en la actividad de los microorganismos. En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes ya que descomponen la materia orgánica del afluente. En el reactor parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada por las bacterias facultativas o aerobias con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células. Solo una parte del residuo original es oxidado a compuestos de bajo contenido energético, tales como  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  y  $\text{CO}_2$ , el resto es sintetizado en materia celular (23).

#### **4.4.4 Evaluación de un sistema de lodos activados.**

La importancia de la evaluación biológica de la calidad del agua reside tanto en la caracterización de la carga de contaminantes como en su capacidad de depuración biológica, y para ello se determinan parámetros como sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto, conductividad, DQO y  $\text{DBO}_5$  entre otros (21).

La carga contaminante se puede valorar con determinaciones individuales obtenidas en el momento, pero la integración de los cambios producidos por dicha carga y sus efectos a largo plazo sólo pueden indicarlos los análisis biológicos (16).

Otro factor importante que puede alterar la eficiencia de la depuración es el tiempo de retención del influente en el estanque de aeración, que puede variar entre tres y doce horas dependiendo de las características del agua residual a tratar(16).

Cuando se produce alguna alteración en un proceso de depuración biológica, hay que tener en cuenta la ocurrencia de muchos y variados factores, ya sean biológicos, funcionales, ambientales, etc.

Para poder intentar solucionar el problema e incluso poder prevenirlo en futuras ocasiones, se deben delimitar las posibles causas que hayan conducido a esa situación. Es necesario realizar el control microscópico de los fangos pues los microorganismos que los forman son los que sufren esas alteraciones y los que determinan el funcionamiento y calidad del proceso.

#### **4.5 Enfermedades transmisibles asociadas con el agua.**

A través del agua pueden difundirse gran cantidad de virus, bacterias y parásitos y causar enfermedades. La mayoría de estas enfermedades son llamadas transmisibles debido a que ellas van de persona a persona a través del agua. Las enfermedades más comunes de éste tipo son las enfermedades diarreicas, tales como el cólera, fiebre tifoidea y paratifoidea, salmonelosis, giardiasis, criptosporidiosis, etc. (3).

Un cuerpo de agua puede diluir, oxidar y remover patógenos mientras que su capacidad no sea excedida y transcurra el tiempo suficiente antes de que el agua sea retirada aguas abajo para su uso humano. Cuando la densidad de población de un área dada pone presión intensa sobre las fuentes de agua, esta capacidad de autodepuración del agua es excedida con frecuencia (3).

La mayoría de los agentes que causan enfermedad y que contaminan el agua y los alimentos son biológicos y provienen de heces humanas y de animales u orina infectada por virus o bacterias como resultado de la disposición insalubre de excretas.

El suministro inadecuado de agua juega un papel importante en la difusión de la enfermedad. El riesgo microbiano nunca puede ser completamente eliminado, debido a que las enfermedades que son transmitidas por el agua pueden ser también transmitidas a través de aerosoles e ingesta de alimentos (3).

#### **4.6 Riesgos a la salud por bioaerosoles.**

La microflora del aire consta de una gran diversidad de especies que llegan a éste procedentes del suelo, plantas y animales. En el aire suelen encontrarse bacterias saprófitas pigmentarias, micrococos, diferentes sarcinas y algunos actinomicetos, mohos, levaduras, etc. La cantidad de microorganismos en el aire oscila desde pocos ejemplares hasta muchas decenas de millares por metro cúbico. Los microorganismos pueden difundirse con las corrientes de aire y por el polvo (24).

Los microorganismos suspendidos en el aire pueden estar en tres fases de aerosol bacteriano: en gotas, en el núcleo de las gotas y en el polvo. Los aerosoles son partículas pequeñas sólidas o líquidas suspendidas en un medio gaseoso. Las gotas pequeñas de aerosol bacteriano (1-10 micras) pueden permanecer suspendidas en el aire durante varias horas o días (24).

La inhalación de bioaerosoles y polvo diseminado por las actividades humanas y animales es uno de los mecanismos primarios de transmisión de las infecciones respiratorias. La exposición a bacterias, hongos, micotoxinas y virus suspendidos en el aire es la causa de un riesgo biológico potencial (25,26).

Las principales vías de transmisión de enfermedades a los seres humanos desde el agua residual son: el contacto directo, transporte de aerosoles, cadena alimenticia e inadecuado tratamiento del de bebida (27).

Un individuo inspira diariamente de 12,000 a 14,000 litros de aire y el 99.8% de los microorganismos en el aire quedan retenidos en las vías respiratorias (24).

Los estudios realizados sobre el impacto ambiental de las plantas de tratamiento que utilizan lodos activados demuestran que los tanques de aireación constituyen una fuente importante de emisiones de aerosoles que contienen microorganismos (4).

En otros estudios se demuestra que se han encontrado altas concentraciones de bacterias y hongos en todos los sitios alrededor de los aereadores en las plantas de tratamiento, principalmente coliformes, *Escherichia coli* y *Estafilococos* (28).

Existen referencias que demuestran que la exposición a los aerosoles provenientes de plantas de tratamiento representa un riesgo a la salud para los trabajadores de la planta, así como para las personas que viven en los alrededores. Se han encontrado microorganismos provenientes de aerosoles generados en plantas de tratamiento con lodos activados hasta 600 metros de distancia de estas (29,30).

En otro trabajo sobre el tema se reportan que en emisiones de plantas de tratamiento de aguas residuales las concentraciones de bacterias están en rangos de  $1 \times 10^4$  UFC/ m<sup>3</sup> -  $1 \times 10^5$  UFC/ m<sup>3</sup> de aire. Estas concentraciones están determinadas por factores como velocidad del viento, altura de la fuente emisora y distancia de la fuente al punto de muestreo (31).

Aunque en México no existen normas que determinen las concentraciones permisibles de patógenos en el aire de espacios abiertos, algunos estudios consideran que el límite permisible para bacterias Gram - en ambientes ocupacionales interiores esta dentro del rango de 300 a 1000 UFC/m<sup>3</sup> (31,32).

El aire es un medio desfavorable para los microorganismos. Las condiciones ambientales como la temperatura, humedad, falta de sustancias nutritivas, desecación y radiación solar crean condiciones inapropiadas para la supervivencia de los microorganismos, alterándose la tasa de mortalidad bacteriana y como consecuencia el riesgo a la salud que estas representan (24).

Estudios microbiológicos demuestran que la pérdida de viabilidad para bacterias no patógenas o patógenas oportunistas que se encuentran con frecuencia en ambientes extramuros es de algunas horas, en cambio para bacterias patógenas es de tan solo algunos minutos o segundos (31).

#### 4.7 Riesgo ambiental por contaminación de aguas subterráneas.

El agua freática o subterránea es una fuente vital de agua para beber y para riego agrícola, ya que muchas comunidades dependen por completo del agua subterránea. Sin embargo es fácil de agotar porque se renueva muy lentamente. Por lo general, se contamina al tener contacto con los minerales que existen en el subsuelo, sin descartar la posibilidad por intromisión de descargas que penetren hasta el cuerpo de agua subterráneo a través del subsuelo permeable (13).

El mayor problema presentado por la contaminación en las aguas subterráneas, radica en que una vez afectado el manto acuífero, es imposible evitar su degradación, debido a la impregnación del suelo. Únicamente se puede dar tratamiento a través de procesos físico-químicos que en la mayoría de los casos resultan costosos (13).

En México las aguas subterráneas son una fuente importante de este recurso, sobre todo en aquellas regiones en donde no existen escurrimientos superficiales importantes. Se estima en más de 17,000 millones de m<sup>3</sup> el promedio de la recarga anual y en más de 16,000 millones de m<sup>3</sup> el de extracción en el mismo periodo; así como de 110,350 millones de m<sup>3</sup> el volumen total de almacenamiento considerando una profundidad no mayor de 100 m y con una cobertura del 57% del área total del país (10).

La precipitación pluvial es un factor determinante en el mantenimiento de volúmenes, tanto en aguas superficiales como subterráneas. En México se presenta un promedio anual de 780 mm de precipitación pluvial, lo que corresponde a un volumen anual de 1,532 millones de m<sup>3</sup>. Sin embargo, mientras en la zona norte y altiplano la media anual es inferior a los 500 mm en solo una porción del sureste (7% del territorio), la precipitación alcanza valores superiores a los 2,000 mm anuales (10).

Cuando esta llega a contaminarse no puede depurarse por sí misma, como el agua superficial, ya que los flujos de agua freática son lentos y hay pocas bacterias degradadoras ya que hay poco oxígeno. Debido a que el agua freática no es visible hay poca conciencia de ella (33).

Las principales fuentes de contaminación de las aguas subterráneas son:

- Escapes o fugas de sustancias químicas desde tanques de almacenamiento subterráneo.
- Infiltración de sustancias químicas orgánicas y compuestos tóxicos desde rellenos sanitarios, tiraderos abandonados de desechos peligrosos y desde lagunas de almacenamiento de desechos industriales localizados por arriba o cerca de los acuíferos.
- A través de fosas sépticas.
- Infiltración accidental en los acuíferos desde los pozos utilizados para la inyección de gran parte de los desechos peligrosos profundamente bajo tierra.

Los contaminantes tienden a moverse hacia abajo hasta que se encuentran alguna barrera (como una capa de lecho rocoso impermeable) y después se diseminan. Así los contaminantes pueden viajar muchos kilómetros antes de liberarse en un arroyo, lago o manantial (33).

Es frecuente detectar metales pesados y compuestos orgánicos en las fuentes de aguas subterráneas que constituyen la fuente de suministro de agua potable a la población a consecuencia del desarrollo industrial.

En áreas urbanas e industriales, las fugas de los depósitos de hidrocarburos o de efluentes líquidos, las descargas al terreno de aguas residuales y de sustancias utilizadas en procesos industriales y laboratorios y las fugas en las redes de alcantarillado son algunos de los principales focos de contaminación. En el medio rural, las fosas sépticas y letrinas, las aguas residuales descargadas al terreno o a corrientes superficiales y las instalaciones pecuarias también constituyen una carga contaminante (2).

La contaminación del agua subterránea es difícil de detectar y corregir. Frecuentemente se detecta hasta que el contaminante surge dentro de un pozo a cierta distancia de la fuente de contaminación. En áreas rurales donde el agua de pozos no se evalúa de manera rutinaria en busca de contaminación, es factible que el problema pase inadvertido por muchos años.

Con excepción de los derrames tóxicos en un río, los contaminantes de agua subterránea no siguen patrones fáciles de identificar, haciendo la evaluación más difícil. Aunque se detecte una fuente y se detenga el flujo de sustancia tóxica el acuífero contaminado permanecerá así y se arruinará como una fuente de agua fresca (33).

Actualmente el hombre está sufriendo las consecuencias de usar el suelo como un recipiente de desechos. En los Estados Unidos se están desarrollando leyes para regular la eliminación de desperdicios líquidos en pozos de inyección profunda (33).



#### 4.8 Definiciones.

##### a) Temperatura.

Es una propiedad termodinámica que influye notablemente en las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua.

La temperatura de un agua para consumo debe estar comprendida entre 8 y 15 °C, con un valor óptimo de 10. Conforme aumenta la temperatura a partir de este valor, se favorece gradualmente el desarrollo de microorganismos en las conducciones y se intensifican sabores y olores, mientras que conforme disminuye la temperatura por debajo de 10°C, son más lentas las reacciones químicas de los distintos tratamientos, pudiéndose producir, además, efectos directos sobre otras propiedades del agua, ya que juega un papel importante en la solubilidad de las sales, de los gases, en la conductividad, pH, etc (38).

##### b) Oxígeno disuelto.

Es la concentración de oxígeno que se encuentra presente en el agua, dependiendo dicha concentración de la temperatura, presión, salinidad y otros parámetros.

Su acción es oxidante y se va a manifestar sobre los distintos compuestos contenidos en el agua dando lugar a fenómenos de corrosión. Afecta notablemente a las reacciones de oxidación-reducción en las que participan el hierro, manganeso, cobre, etc. Es un indicador de la ausencia de procesos anaerobios, que tanto afectan a los caracteres organolépticos.

En general, el oxígeno disuelto debe ser considerado como un carácter positivo, ya que está íntimamente relacionado con la contaminación orgánica (generalmente de origen fecal). En las aguas con este tipo de contaminación, como consecuencia del metabolismo bacteriano (procesos autodepurativos) decae el contenido de oxígeno disuelto, solamente cuando ha sido oxidada la materia orgánica comienza a aumentar de nuevo.

En este sentido, puede ser considerado como un indicador de contaminación fecal. Por ello se recomienda mantener las concentraciones tan cerca como sea posible de la saturación, lo cual depende fundamentalmente de la temperatura, aunque puede ser influido por la presencia de determinadas sustancias presentes en el agua (38).

En los desechos líquidos, el oxígeno disuelto es el factor que determina el tipo de transformaciones biológicas que tienen lugar en su seno, efectuadas por microorganismos aerobios y anaerobios, según haya presencia o ausencia de oxígeno disuelto. Los microorganismos aerobios usan el oxígeno disuelto para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica produciendo sustancias finales inofensivas tales como bióxido de carbono y agua, en cambio los microorganismos anaerobios efectúan la oxidación utilizando el oxígeno de ciertas sales inorgánicas tales como los sulfatos, obteniendo productos sumamente ofensivos. Por lo tanto, es muy importante mantener las

condiciones favorables para el desarrollo de los microorganismos aerobios con el fin evitar olores ofensivos en las fuentes naturales de agua.

Así se puede ver que las mediciones de oxígeno disuelto, son vitales para conocer las condiciones (aerobias o anaerobias) de las aguas naturales que reciben materia de desecho. Por eso, una meta, de cualquier programa de control de la contaminación de corrientes, es garantizar un mínimo de oxígeno disuelto en el agua, tal que permita el desarrollo de la vida acuática (39).

**c) Demanda bioquímica de oxígeno.**

Cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en el agua.

**d) Demanda química de oxígeno.**

Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar bajo condiciones específicas, la materia orgánica y la inorgánica oxidable contenida en el agua.

**e) Conductividad.**

La conductancia es la propiedad que tiene una sustancia de permitir el paso de la corriente eléctrica originada por una diferencia de potencial, se expresa en  $\text{ohms}^{-1}$ .

La conductancia nos da información sobre las concentraciones de los minerales disueltos en muestras de agua y aguas de desecho (38).

Para comprobar la pureza de un agua destilada o desionizada, se ha aceptado un alto grado de pureza de agua destilada la que contenga una resistencia específica de 500,000 ohms es decir 2.0 micromhoms/cm a 25 °C. La conductancia depende del tamaño, número de iones, carga de los mismos y la viscosidad.

Es importante conocer el valor de la conductividad pues al aumentar ésta aumenta la presión osmótica lo que ocasiona una disminución en la respiración de las plantas (39).

**f) Turbidez.**

Parámetro que esta dado por la presencia de materias en suspensión finamente divididas: arcillas, limos, partículas de sílice, materia orgánica, etc.

Tiene una gran importancia sanitaria, ya que: puede ser indicio de contaminación, además de que puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular el crecimiento de bacterias y aumentar la demanda de cloro. Es conveniente resaltar que la cloración no es eficaz en aguas que presentan turbidez, por lo que es indispensable su clarificación previa para conseguir una adecuada desinfección (38).

La turbidez impide el paso de luz, afectando la fotosíntesis, provoca obstrucción de huecos del fondo donde desovan peces, afecta las propiedades organolépticas, aumenta el costo del tratamiento, afecta el proceso de determinadas industrias (39).

Un exceso en la turbidez puede proteger a los microorganismos frente a la acción del desinfectante y puede estimular el crecimiento de los mismos en proporción a los nutrientes (38).

**g) Color.**

El color es debido a la presencia de iones metálicos, humus, materiales turbios, plancton, extractos vegetales y descargas industriales (productos químicos, colorantes, explosivos y tenerías).

El color afecta propiedades organolépticas, da mal aspecto al agua, afecta la fotosíntesis de la flora acuática, al impedir la entrada de luz, además, aumenta el costo del tratamiento, ya que hay que eliminarlo (39).

**h) Grasas y aceites.**

Comprende una amplia variedad de sustancias orgánicas con características especiales. Estas características se refieren a su baja solubilidad en agua y a su tendencia a formar películas muy finas en la superficie de la misma. Comprende a aquellas sustancias que son extraíbles de una solución o suspensión acuosa, mediante solventes orgánicos, quedando comprendidos principalmente los hidrocarburos, ésteres, aceites, ceras y ácidos orgánicos de elevado peso molecular (38).

**i) pH.**

Término usado universalmente para definir en qué condiciones de acidez o alcalinidad se encuentra una solución.

Representa el comportamiento ácido o alcalino como resultado de las distintas sustancias presentes en el agua de las que el dióxido de carbono constituye uno de los factores más importantes.

Sin embargo, se debe señalar la escasa repercusión de este parámetro en la salud, y las connotaciones, sobre todo de tipo económico, al intervenir como un importante parámetro en los procesos de corrosión, dando lugar a la solubilización de metales de las conducciones que pueden ser tóxicos.

Generalizando, se puede decir que cuando el pH es inferior a 7, se pueden producir corrosiones de los metales del sistema de distribución, aumentando a medida que disminuye el pH. De otra parte, cuando es superior a 8 hay una disminución progresiva de la eficacia de la cloración (38).

### Importancia sanitaria del pH:

La determinación de la concentración de iones hidrógeno, a través del conocimiento del pH, es una práctica muy valiosa en el campo de la ingeniería del medio ambiente. Por ejemplo: en un sistema de abastecimiento de agua, el pH influye en los procesos de coagulación química, desinfección, ablandamiento y control de la corrosión; en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales, debe ser mantenido dentro de un cierto ámbito que sea favorable a los organismos comprendidos en el sistema, la alteración del pH en un ecosistema puede causar la muerte de peces y esterilizar una corriente acuosa natural; las aguas de pH bajo, pueden aumentar la corrosión de las estructuras de acero o concreto; los procesos químicos para secar lodos o para oxidar ciertas sustancias como el ión cianuro, requieren un control estrecho del pH.

Por estas razones y debido a las relaciones fundamentales que existen entre pH, acidez y alcalinidad, es muy importante comprender tanto los aspectos teóricos como prácticos del pH. Mientras que los términos "alcalinidad" y "acidez" indican la reserva total o capacidad amortiguadora de una muestra, el valor del pH representa la actividad instantánea del ión hidrógeno (39).

#### **j) Sólidos.**

Los compuestos sólidos se clasifican según su naturaleza en orgánicos e inorgánicos y según su condición física en suspendidos y disueltos. En términos generales los sólidos totales contienen un 50% de sólidos orgánicos y un 50% de sólidos inorgánicos, así mismo 2/3 de los sólidos totales están disueltos y 1/3 suspendidos (39).

#### **k) Sólidos suspendidos.**

Son aquellos que están en suspensión y son perceptibles a simple vista en el agua. Pueden separarse de las aguas residuales por métodos físicos o mecánicos, como sedimentación o filtración. Están compuestos en un 70% por sólidos orgánicos y un 30% por sólidos inorgánicos. Están constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pase el filtro estándar de fibra de vidrio.

#### **l) Sólidos sedimentables.**

Representan el 60% de los sólidos suspendidos y son aquellos cuyo tamaño y peso son suficientes para que sedimenten en un periodo determinado, generalmente una hora. Están compuestos por un 75% de sólidos orgánicos y un 25% de sólidos inorgánicos. Materiales que se depositan en el fondo de un recipiente debido a la operación de sedimentación.

**m) Sólidos suspendidos totales.**

Constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pase el filtro estándar de fibra de vidrio (39).

**n) Cloruros.**

Contenido de iones cloruro en el agua. El principal problema que plantean es el sabor desagradable en el agua, sobre todo cuando se encuentran en forma de cloruro sódico, potásico o cálcico, situándose el umbral gustativo en 200-300 mg/l. Además de la incidencia de los caracteres organolépticos, producen un efecto corrosivo, que para los elementos, de acero inoxidable el riesgo se incrementa a partir de los 50 mg/l.

El principal aporte de cloruros en la dieta del hombre proviene de los alimentos, alcanzándose un promedio de 6 g/día. De acuerdo con un grupo de expertos de la OMS, se debe conseguir una reducción progresiva por lo que en las aguas se debe tender al valor guía que se establece para los cloruros; en 25 mg/l. (38).

No son dañinos a la salud, pero dan sabor desagradable al agua (arriba de 250 mg/l). Aceleran los procesos de corrosión e interfieren en procesos industriales. Son una buena medida de contaminación de aguas subterráneas por aguas residuales (39).

La presencia de cloruros en el agua es indicativa de: Contaminación por aguas residuales, drenajes de irrigación y causas naturales y salinización (28).

**o) Nitrógeno.**

El análisis del nitrógeno ha sido practicado desde que el hombre se convenció que el agua puede transmitir enfermedades. Durante mucho tiempo el análisis de éste ha sido una base de juicio para determinar la calidad sanitaria del agua. Hoy en día los análisis de nitrógeno se efectúan por diferentes razones. Se sabe que las aguas contaminadas tienen el poder de la autopurificación en un periodo determinado de tiempo. La posibilidad de contraer enfermedades por la ingestión del agua contaminada decrece con el tiempo y con el aumento de temperatura.

Previo al desarrollo de las pruebas bacteriológicas para determinar la calidad del agua, las personas encargadas de conservar la salud pública dependieron de las pruebas químicas para identificar la presencia de contaminación. Trabajos químicos con desechos de agua recientemente contaminada muestran que mucho del nitrógeno se encuentra en forma orgánica (proteínas) y amoníaco.

A medida que pasa el tiempo, el nitrógeno orgánico se convierte en nitrógeno amoniacal y posteriormente, si se encuentra en condiciones aerobias, se oxida

a nitritos y nitratos. Por ejemplo, las aguas que contienen principalmente materia orgánica y amoníaco se considera que fueron recientemente contaminadas y por tanto de peligro potencial. Las aguas en las que el nitrógeno se encuentra en forma de nitratos se considera que fueron contaminadas mucho tiempo antes y por tanto son menos dañinas a la salud pública (39).

## **P) Metales pesados:**

Son contaminantes mediambientales comunes que se producen como resultado de las actividades industriales, comerciales y domésticas.

### **p.1) Cromo**

Se considera que su presencia está casi siempre relacionada con la contaminación producida por determinadas actividades industriales. Aunque se trata de un elemento tóxico, la ingesta de pequeñas cantidades, del orden de varios microgramos, es considerada como útil para el metabolismo de la glucosa, e incluso ciertos autores indican que este tendría cierta acción protectora contra la arteriosclerosis. No obstante, desde un punto de vista sanitario, el cromo ejerce una toxicidad hepatorenal, además de un efecto cancerígeno, siendo el cromo hexavalente más tóxico que el trivalente (38).

### **p.2) Arsénico.**

La toxicidad del arsénico depende de la forma físico-química en que se encuentren de la vía de entrada, de la dosis y duración de la exposición, de los niveles interactivos y de la edad y sexo del sujeto expuesto. El arsénico mineral es más tóxico que el orgánico su forma trivalente más peligrosa que la pentavalente.

La intoxicación aguda por arsénico alcanza al sistema nervioso central, produciendo incluso la muerte a dosis de 70 a 80 mg. La intoxicación crónica se manifiesta por una atonía muscular general, pérdida de apetito, náuseas, y origina una inflamación de las mucosas del ojo, nariz y laringe. Igualmente se pueden producir lesiones cutáneas, manifestaciones neurológicas e incluso tumores (34).

### **p.3) Cadmio.**

Suele estar presente en las aguas de bebida en pequeñas cantidades, del orden de 1 microgramo/litro o menos. El contenido es probablemente más alto en las regiones abastecidas con aguas de bajo pH, que origina corrosión en las conducciones de plomo cadmiado. En cuanto a los efectos sobre la salud, se puede señalar hipertensión, efectos tóxicos y gonadotóxicos, efectos mutagénicos, teratogénicos y cancerígenos, aunque la mayor parte de estos efectos no están suficientemente demostrados (34).

**p.4) Cobre.**

La ingestión de dosis excesivas de cobre se traduce en una irritación de las mucosas, con afectación a capilares, lesiones hepáticas y renales y una irritación del sistema nervioso central seguida de depresión. Sin embargo el envenenamiento por cobre es muy raro en el hombre a causa de sus potentes propiedades heméticas. Este metal da al agua un sabor astringente desagradable cuando las concentraciones son superiores a 5 g/l.

Aunque la presencia de cobre en el agua de consumo no sea peligrosa para la salud, sí tiene efectos indeseables. Así, el cobre aumenta la corrosión de utensilios y accesorios de zinc y aluminio y produce manchas sobre la ropa y los sanitarios cuando la concentración sobrepasa 1 mg/l. (34).

**p.5) Mercurio.**

Los efectos principales del envenenamiento por mercurio comprenden los trastornos neurológicos y renales, que se relacionan principalmente con los compuestos de mercurio orgánicos e inorgánicos respectivamente, el mercurio además se produce efectos tóxicos generales, también es causa de efectos gonadotóxicos y mutagénicos y altera el metabolismo del colesterol (34).

**p.6) Níquel.**

El níquel es un elemento relativamente tóxico. Los niveles de níquel que suelen encontrarse en los alimentos y el agua no se consideran como una amenaza seria para la salud.

Se ha comprobado que ciertos compuestos de níquel son carcinogénicos en experimentos con animales. Sin embargo, no se considera que los compuestos solubles de níquel sean carcinogénicos para las personas o animales (38).

**p.7) Plomo.**

El plomo es un elemento especialmente importante debido a su amplia utilización en gran variedad de procesos industriales. Su resistencia a la corrosión hace que el plomo sea muy útil en las instalaciones de fábricas de productos químicos, en tuberías y envolturas de cables (38).

**Q) Bioaerosol:**

Es un aerosol que contiene partículas de origen biológico las cuales pueden afectar la vida de los organismos a través de su infectividad, alergicidad, toxicidad y otros procesos. El tamaño de estas partículas tiene rangos entre 0.5 y 100 micrómetros (47).

**q.1) Aerosoles infectantes:**

Son un subgrupo de los bioaerosoles. Estos llevan microorganismos patógenos por lo que tienen la capacidad de transmitir enfermedades hacia las personas (47).



## V. LOCALIZACION DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El CUCBA se localiza en una zona periurbana denominada Las Agujas en Nextipac, municipio de Zapopan, Jalisco, (Fig.7), que hasta 1976 fue un campo de cultivo de maíz. En 1977 se trasladó ahí la antigua Escuela de Agricultura y en el mismo año, el Instituto de Madera Celulosa y papel y el Instituto de Botánica. En 1993 se traslada la Facultad de Biología y a partir de la conformación del Centro Universitario en Mayo de 1994 se incorpora la antigua Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Este Centro Universitario tiene una superficie aproximada de 19 hectáreas, a las cuales se tiene acceso a través de la desviación ubicada en el Km. 15.5 de la carretera Guadalajara-Nogales, al occidente de la Ciudad de Guadalajara. Otro acceso es a 7 Kilómetros al Sur de San Francisco Tesistán; al Oriente del CUCBA se encuentra la Venta del Astillero a 5.5 Km., y al Sureste Nextipac. dos Kilómetros al Sur se encuentra en Bosque de la Primavera.

En este Centro Universitario se ofertan las carreras de Licenciado en Biología, Ingeniero Agrónomo y Médico Veterinario, así como diversos posgrados en el área de las ciencias biológicas y agropecuarias.

Las Agujas se encuentra rodeado por parcelas privadas y ejidales dedicadas al cultivo de maíz. El CUCBA cuenta con un total de 26 laboratorios de investigación, docencia y servicio, así como 5 áreas de almacenamiento de materiales químicos y reactivos, distribuidos en 8 edificios. ANEXO I (34).

El CUCBA se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas geográficas, al Norte a  $20^{\circ} 44' 46.4''$  y al Oeste  $103^{\circ} 30' 40.8''$  (2).

La planta de tratamiento de aguas residuales de este centro se localiza en el extremo oriente del mismo (Anexo I). Es una planta tipo paquete prefabricada en acero diseñada para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico, con un sistema de aireación extendida, con desinfección a base de solución de hipoclorito de sodio. Los gastos de diseño son de 1 litro/segundo como gasto medio, 0.5 litros/segundo como mínimo y 1.5 litros/segundo como gasto máximo de diseño para interconexiones hidráulicas y bombeos. Estos gastos son calculados en base a una población de 1,400 personas, considerando una generación de aguas residuales de  $84 \text{ m}^3 / \text{día}$  (14).

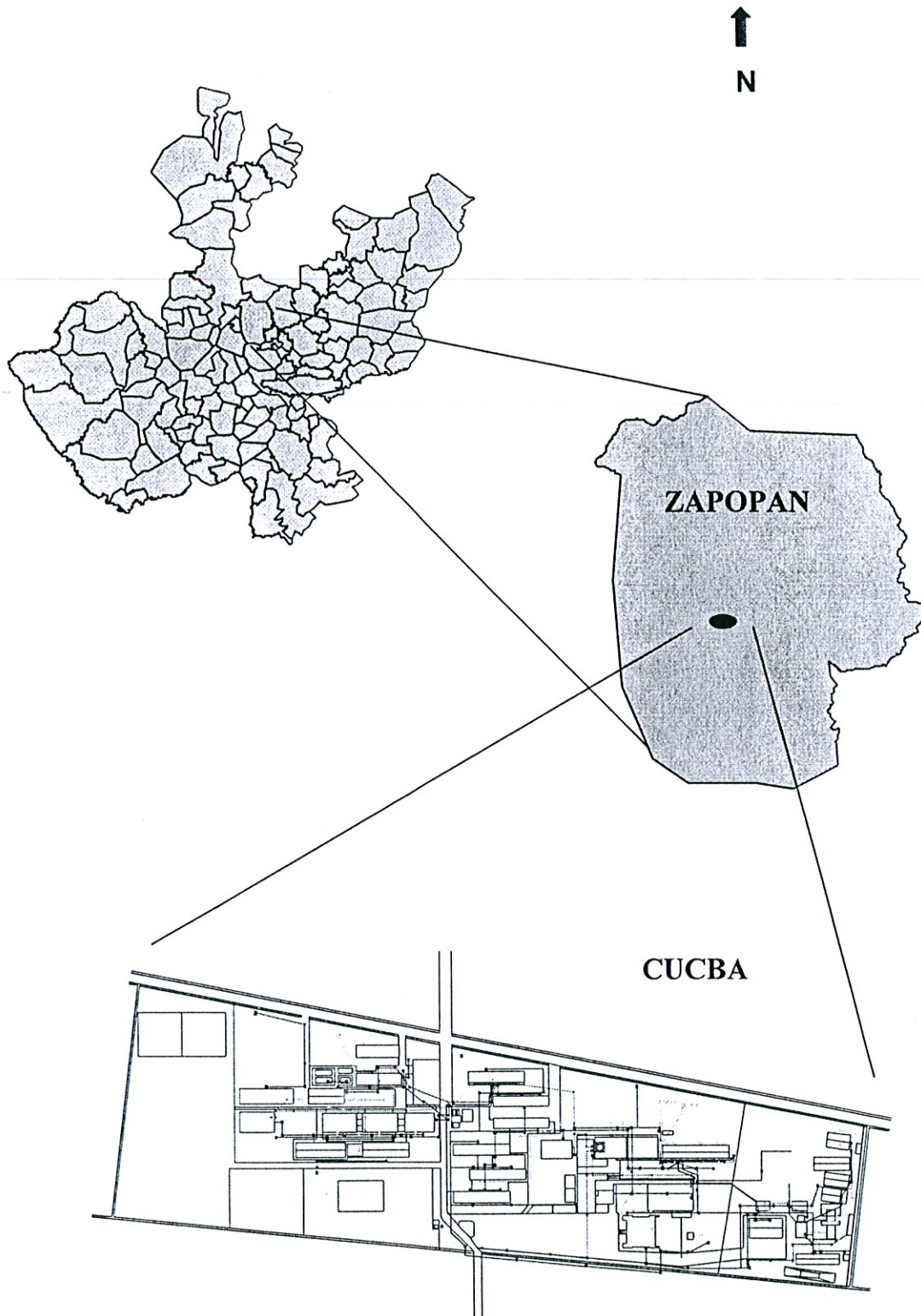


Fig. 7 Localización del CUCBA.  
(Adaptado por Rosas R. 2002)

## VI. OBJETIVOS

### **Objetivo general:**

1.- Evaluar el proceso integral de depuración de aguas residuales de la planta de tratamiento y los riesgos a la salud y al ambiente derivados de dicho proceso en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la U de G.

### **Objetivos específicos:**

1.- Determinar la eficiencia del proceso de depuración de aguas residuales de la planta de tratamiento del CUCBA.

2.- Identificar los puntos críticos de control en el proceso de depuración de aguas residuales de la planta de tratamiento del CUCBA.

3.- Identificar los riesgos a la salud y al ambiente derivados del proceso de depuración de aguas residuales de la planta de tratamiento del CUCBA.

4.- Proponer medidas que reduzcan los riesgos sanitarios para la comunidad universitaria derivados de la planta depuradora.

## VII. MATERIAL Y METODOS

Esta investigación es un estudio descriptivo longitudinal y se realizó en el periodo comprendido de septiembre de 2001 a agosto de 2002 en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.

El desarrollo metodológico se llevó a cabo según las siguientes fases:

- 1.- Recopilación de la información.
- 2.- Selección y ubicación de los puntos de muestreo.
- 3.- Selección de la metodología.
- 4.- Análisis e interpretación de datos.

## 7.1 Operacionalización de variables.

Tabla 4. Operacionalización de variables.

Variable	Unidad	Método Analítico	Límite máximo permisible NOM-001-ECOL-1996
Temperatura	°C	2550-B* Método visual con termómetro	Hasta 40°C
Grasas y aceites	mg/l	NMX-AA-5-2000 Extracción Soxhlet	Hasta 25 mg/l
Sólidos Disueltos Totales.	mg/L	NMX-AA-34-2001	500 mg/l*
Sólidos Suspendidos Totales.	mg/L	NMX-AA-34-2001	Hasta 75 mg/l
Sólidos Sedimentables	ml/L	NMX-AA-4-2000 Método del cono Imhoff	Hasta 1 ml/l
Oxígeno Disuelto	mg/L	4500-O-C*	4 mg/l*
pH	pH	NMX-AA-8-2000 Potenciómetro	6.5- 8.5
Turbiedad	UTN	NOM-AA-38-1981	Hasta 5 UTN
DBO <sub>5</sub>	mg/l	NMX-AA-28-2001 Incubación por diluciones	Hasta 75 mg/l
Arsénico	mg/L	NOM-117-SSA1-1994 Espectrofotométrico	Hasta 0.1 mg/l
Cadmio	mg/L	NOM-117-SSA1-1994 Método ditizona.	Hasta 0.1 mg/l
Cloruros	mg/L	NOM-AA-73-1981	250 mg/l
Color	Esc. Pt.-Co.	NOM-AA-45-1981	Hasta 20 Esc. Pt.-Co.
Conductividad	µmhos/cm <sup>2</sup>	2510-B*	1.0 µmhos/cm <sup>2</sup> *
Cromo total	mg/L	NOM-117-SSA1-1994	Hasta 0.5 mg/l
Mercurio	mg/L	NOM-117-SSA1-1994 Método ditizona.	Hasta 0.005 mg/l
Níquel	ppm	EPA-6010B Lectura directa en espectofotómetro I.C.	Hasta 2 mg/l
Cobre	ppm	EPA-6010B Lectura directa en espectofotómetro I.C.	Hasta 4 mg/l
Zinc	ppm	EPA-6010B Lectura directa en espectofotómetro I.C.	Hasta 10 mg/l
Plomo	mg/L	NOM-117-SSA1-1994 Método ditizona.	Hasta 1 mg/l
Fósforo Total	Mg/L P-PO <sub>4</sub>	4500-P-C* Espectrofotométrico.	Hasta 20 mg/l
Nitrógeno total	mg/l	NMX-AA-26-2001 Método Kjeldahl	Hasta 40 mg/l
D.Q.O.	mg/L	NMX-AA-30-2001	
Coliformes totales	NMP	Filtración de membrana	Hasta 2 NMP/100ml
Coliformes fecales	UFC	Filtración de membrana	Cero UFC/100ml
Mesófilos aerobios	UFC	Exposición de caja abierta.	
(*) APHA, AWWA-WDCF, 1992, (35).			

**7.2 Método.**

7.2.1 Diagrama de flujo de la metodología.

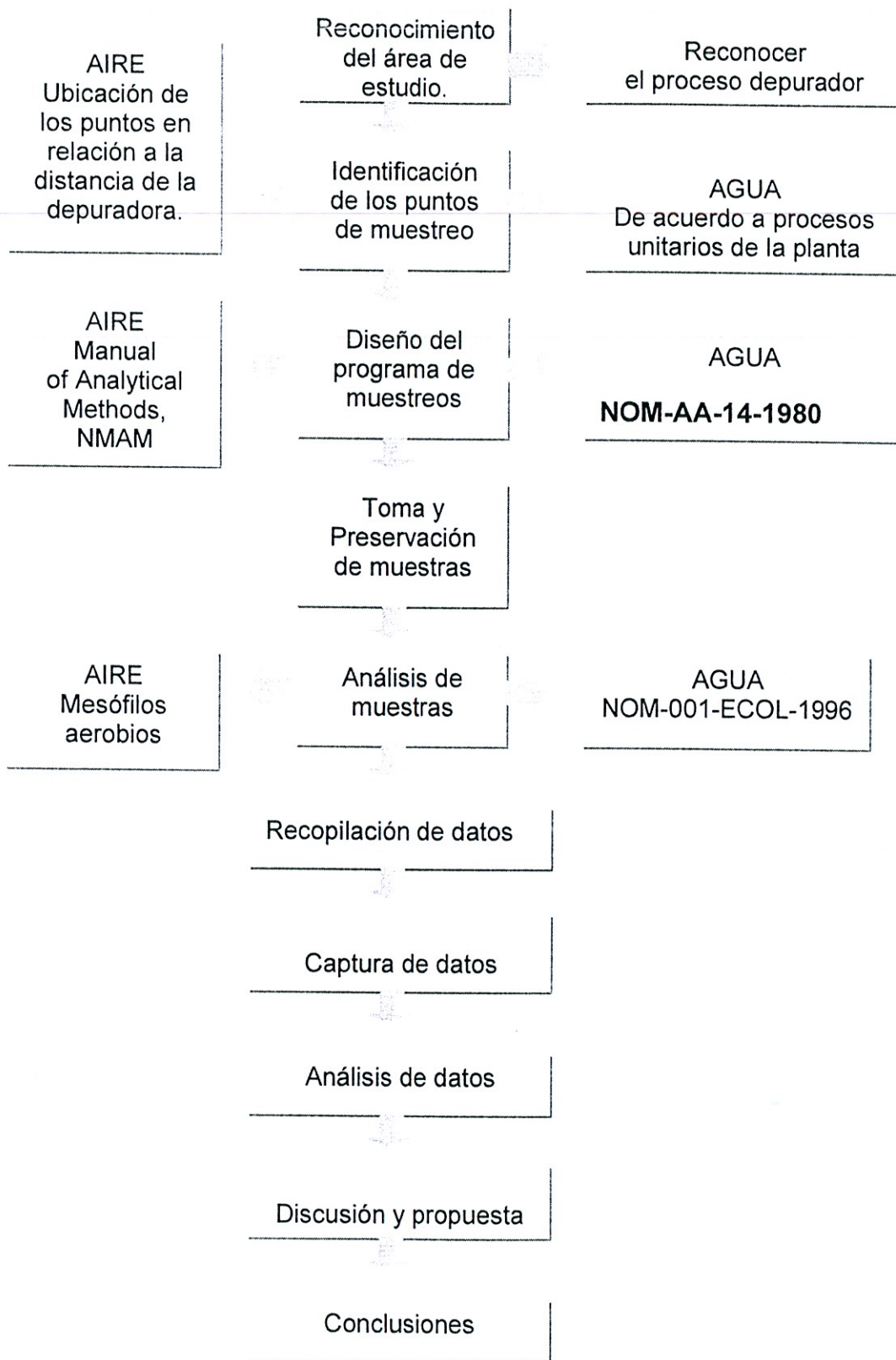


Figura 8. Diagrama de flujo de la metodología.

### 7.2.2 Selección de los puntos de muestreo en agua.

El número de muestras y la elección de los puntos se establecieron con base a los procesos unitarios que se realizan durante el tratamiento y a la duración de cada uno de ellos. Se tomaron muestras simples. Para la realización de los muestreos en agua se aplicaron los criterios establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980 "CUERPOS RECEPTORES MUESTREO " (36).

Los muestreos se realizaron en el cárcamo, reactor biológico y tanque de cloración de la planta de tratamiento (Fig.9).

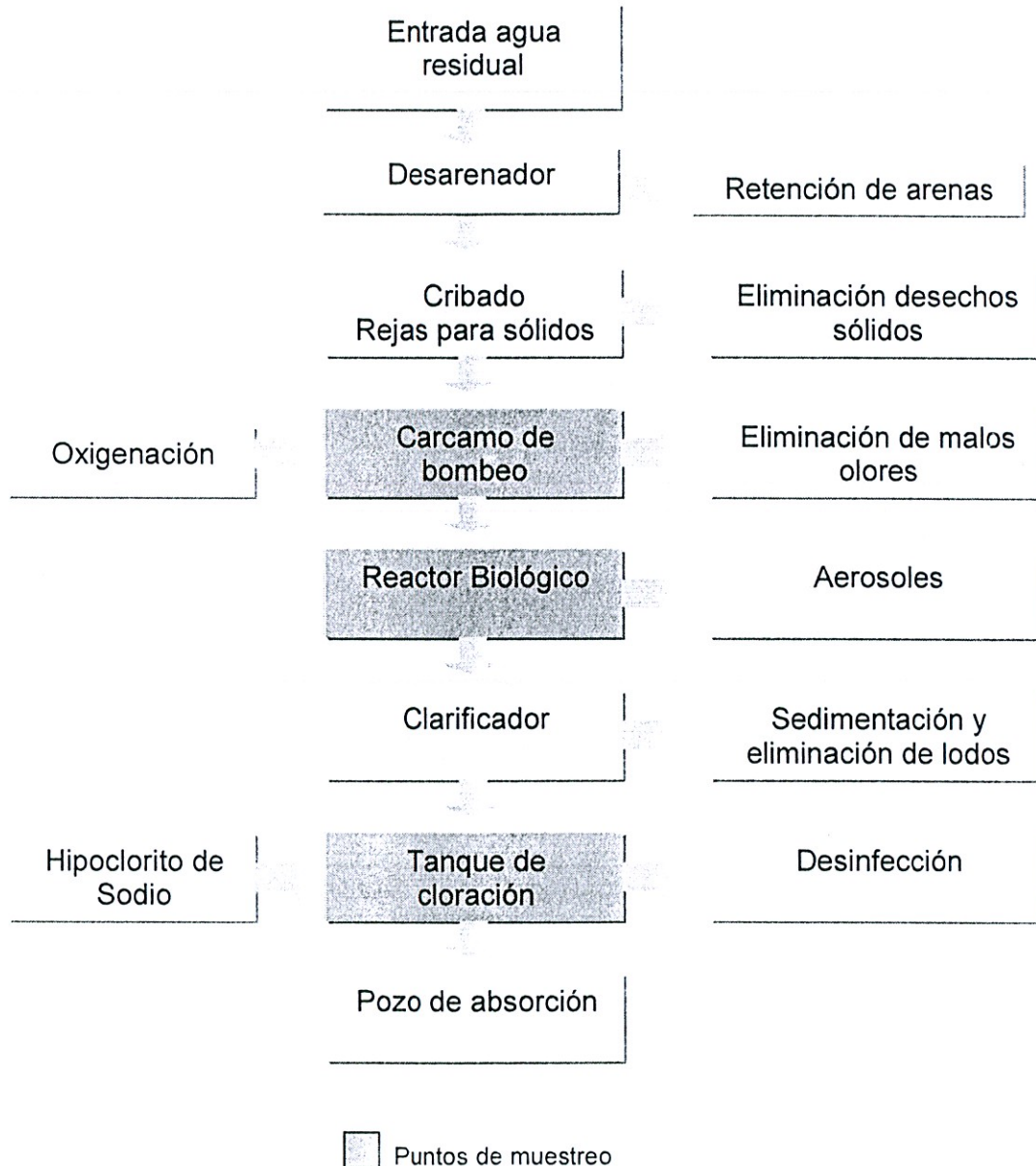


Figura 9. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento del CUCBA.

### 7.2.3 Selección de los puntos de muestreo en aire.

Los puntos de muestreo de aerosoles y las zonas en donde se localizan cada uno de ellos se establecieron de acuerdo a la dirección de los vientos y la distancia de estos puntos a la planta de tratamiento. La zona proximal incluyó puntos entre 20 y 100 metros de distancia, la zona media incluyo rangos de distancia entre 200 y 300 metros y la zona distal de 500 a 800 metros de distancia a la planta respectivamente. Anexo I.Tabla 5.

La descripción de estos puntos se indica a continuación:

Tabla 5. Localización de los puntos de muestreo en aire.

PUNTO DE MUESTREO	LOCALIZACION	ZONA
1	Ala sur del Instituto de Madera Celulosa y papel	Media
2	Parada de autobuses del CUCBA	Media
3	Frente a la planta piloto de lombricultura	Media
4	Frente edificio de Rectoría	Media
5	Frente a la planta de tratamiento de aguas residuales	Proximal
6	Frente al Centro de Cómputo	Proximal
7	Jardín Botánico	Distal
8	Canchas de Básquetbol	Distal

### 7.2.4 Determinaciones a realizar en cada punto de muestreo en la planta de tratamiento.

Con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-001 de Ecología de 1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se determinaron los parámetros indicados en la tabla 6. El criterio para establecer estos parámetros además de los establecidos por la norma antes mencionada, van de acuerdo con aquellos que establece la metodología para evaluación de la eficiencia de los procesos de depuración.



Tabla 6. Determinaciones a realizar en cada punto de la planta de tratamiento.

Parámetros	Cárcamo	Reactor Biológico	Tanque De Cloración	Laboratorio de Análisis
Temperatura	X	X	X	Lab.Fis-Qui Alimen CUCBA
pH	X	X	X	Lab.Fis-Qui Alimen CUCBA
Oxígeno disuelto	X	X	X	Lab.Fis-Qui Alimen CUCBA
Conductividad	X	X	X	Lab.Fis-Qui Alimen CUCBA
Cloro residual	X		X	Lab.Fis-Qui Alimen CUCBA
Cloruros	X	X	X	Lab.Fis-Qui Alimen CUCBA
Turbidez	X		X	Lab.Fis-Qui Alimen CUCBA
Color	X		X	Lab.Fis-Qui Alimen CUCBA
Grasas y aceites	X		X	Lab.Fis-Qui Alimen CUCBA
Fósforo total	X		X	Ingeniería de Proyectos CUCEI
DQO	X	X	X	Ingeniería de Proyectos CUCEI
Sólidos sedimentables	X	X	X	Ingeniería de Proyectos CUCEI
Sólidos suspendidos totales	X	X	X	Ingeniería de Proyectos CUCEI
Sólidos disueltos totales	X		X	Ingeniería de Proyectos CUCEI
DBO <sub>5</sub>	X	X	X	Ingeniería de Proyectos CUCEI
Nitrogeno total	X		X	Ingeniería de Proyectos CUCEI
Metales pesados	X		X	Ingeniería de Proyectos CUCEI
Coliformes totales	X		X	Lab.Microbiología CUCBA
Coliformes fecales	X		X	Lab.Microbiología CUCBA

### 7.2.5 Determinaciones a realizar en cada punto de muestreo de aire.

Tabla 7. Determinaciones a realizar en cada punto de muestreo de aire.

Determinaciones	Laboratorio De Análisis
Mesófilos aerobios.	Lab. Microbiología CUCBA

### 7.3 Material y Equipo.

#### 7.3.1 Muestreo de agua.

Para la realización de los muestreos en agua se aplicaron los criterios establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA-1993 "PROCEDIMIENTOS SANITARIOS PARA EL MUESTREO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PÚBLICOS Y PRIVADOS" (37).

Envases para toma de muestra:

- ❖ Frascos de plástico de 500 ml de boca ancha con tapa roscada resistentes a esterilización en estufa para análisis bacteriológico.
- ❖ Envases de plástico de 1 galón de capacidad, con tapa del mismo material que proporcionen cierre hermético para análisis físico-químico.
- ❖ Guantes de plástico
- ❖ Lentes para muestreo.
- ❖ Tapabocas.
- ❖ Hielera con bolsas con hielo.

Para realizar la toma de muestras del agua de la planta tratadora, se utilizó bata blanca de manga larga, guantes de látex, anteojos protectores, cubrebocas.

Después de coleccionar las muestras estas se colocaron en una hielera para su transporte al laboratorio correspondiente.

#### a) Equipo para determinaciones en agua:

Tabla 8. Características del equipo.

Nombre del equipo	Marca	Modelo
Termómetro con escala de -10 a 110°C.	ERTCO	KX23879B
Comparador visual para determinación de cloro residual	TAYLOR TECHNOLOGIES, Inc.	K-1205
Potenciómetro.	ORION	720 A.
Oxímetro	HANNA	H19373
Turbidímetro	HACH	2100N
Conductímetro	HACH.	Modelo CO 150
Espectrofotómetro de luz	HACH.	DR/2000
Espectrofotómetro de absorción atómica.	I.C.P. Spectro.	KX8589J

### 7.3.2 Muestreo en aire.

Cajas de petri con agar soya tripticasa

#### a) Equipo para determinaciones en aire:

Cuenta colonias.

Microscopio.

### 7.3.3 Identificación y Control de Muestras

Para la identificación de las muestras se etiquetaron los frascos y envases con la siguiente información:

- ❖ Número de registro para identificar la muestra, y
- ❖ Fecha y hora de muestreo.

Para el control de la muestra se llevó un registro con los datos indicados en la etiqueta del frasco o envase, así como la siguiente información:

- ❖ Identificación del punto o sitio de muestreo,
- ❖ Temperatura ambiente y temperatura del agua,
- ❖ pH,
- ❖ Cloro residual,
- ❖ Tipo de análisis a efectuar,
- ❖ Técnica de preservación empleada,
- ❖ Observaciones relativas a la toma de muestra, en su caso, y
- ❖ Nombre de la persona que realiza el muestreo.

### 7.3.4 Método de muestreo y preservación del agua.

La evaluación de la calidad de agua se realizó en los siguientes puntos de la planta de tratamiento (tanque de almacenamiento inicial, reactor biológico y conducto de salida) del CUCBA. En cada una de ellas se realizó la toma de muestra específica para cada parámetro de calidad a evaluar siguiendo los lineamientos técnicos establecidos para tal fin en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980 "CUERPOS RECEPTORES, MUESTREO ", (36), así como los publicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA-1993 "PROCEDIMIENTOS SANITARIOS PARA EL MUESTREO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PÚBLICOS Y PRIVADOS", (37). Se utilizó el material de muestreo con las condiciones específicas de material y volumen requerido en cada parámetro a evaluar, y con las especificaciones de preservación y traslado al laboratorio.

### 7.3.5 Preparación de Envases para Toma de Muestras

- a) Para análisis bacteriológico:
- ❖ Toma de muestra de agua sin cloro residual.- Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min. Antes de la esterilización, con papel resistente a ésta, debe cubrirse en forma de capuchón el tapón del frasco.
  - ❖ Toma de muestra de agua con cloro residual.- Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min, los cuales deben contener 0.1 ml de tiosulfato de sodio al 3% por cada 125 ml de capacidad de los mismos. Debe colocarse un papel de protección al tapón del frasco en forma similar a la indicada anteriormente.
- b) Para análisis físico-químico.- Los envases deben lavarse perfectamente y enjuagarse a continuación con agua destilada o desionizada.

### 7.3.6 Procedimiento para Toma de Muestra

a) **Para análisis bacteriológico.**

En captación de un cuerpo de agua superficial o tanque de almacenamiento:

- ❖ Deben lavarse manos y antebrazos con agua y jabón.
- ❖ Utilizar cubrebocas.
- ❖ Debe quitarse el papel de protección evitando que se contamine la muestra.
- ❖ Sumergir el frasco en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, abrir y enderezar a continuación con el cuello hacia arriba (en todos los casos debe evitarse tomar la muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento y en el caso de captación en cuerpos de agua superficiales, no deben tomarse muestras muy próximas a la orilla o muy distantes del punto de extracción); si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca del frasco en contracorriente. Efectuada la toma de muestra debe colocarse el tapón, sacar el frasco del agua y colocar el papel de protección.
- ❖ En el caso de tanques de almacenamiento, si no es posible la toma de muestra como se indica en este punto, debe procederse como se menciona en el apartado de pozo profundo.

En pozo somero o fuente similar:

- ❖ Cuando no es posible tomar la muestra con la extensión del brazo, debe atarse al frasco un sobrepeso usando el extremo de un cordel limpio.
- ❖ Deben quitarse simultáneamente el tapón y el papel de protección, manejándolos como unidad, evitando que se contaminen el tapón, o el papel de protección, o el cuello del frasco.
- ❖ Debe mantenerse el cuello del frasco hacia abajo y se procede a tomar la muestra, bajando el frasco dentro del pozo, y desenrollando el cordel lentamente, evitando que el frasco toque las paredes del pozo.
- ❖ Efectuada la toma de muestra, deben colocarse el tapón y el papel de protección al frasco.

**b) Para análisis físico-químico.**

El volumen de muestra debe tomarse como se indica en el Apéndice "A" de la NOM-014-SSA-1993 "PROCEDIMIENTOS SANITARIOS PARA EL MUESTREO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PÚBLICOS Y PRIVADOS" (37).

- ❖ En bomba de mano o grifo del sistema de distribución o pozo profundo.
- ❖ Debe dejarse correr el agua aproximadamente por 3 min o hasta asegurarse que el agua que contenían las tuberías ha sido vaciada totalmente.
- ❖ El muestreo debe realizarse cuidadosamente, evitando que se contaminen el tapón, boca e interior del envase; se requiere tomar un poco del agua que se va a analizar, se cierra el envase y agitar fuertemente para enjuagar, desechando esa agua; se efectúa esta operación dos o tres veces, procediendo enseguida a tomar la muestra.
- ❖ En captación de un cuerpo de agua superficial, tanque de almacenamiento, pozo somero o fuente similar, debe manejarse el envase siguiendo las indicaciones comprendidas en el caso descrito para muestreo microbiológico en bomba de mano o grifo del sistema de distribución.

**7.3.7 Manejo de Muestras**

Las muestras tomadas como se indican en el apartado anterior deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo para su transporte al laboratorio, de preferencia a una temperatura entre los 4 y 10°C, cuidando de no congelar las muestras.

El periodo máximo que debe transcurrir entre la toma de muestra y el análisis es:

- ❖ Para análisis bacteriológico 6 horas.
- ❖ Para análisis físico-químico, el periodo depende de la preservación empleada para cada parámetro como se indica en el apéndice "A" (37).

**7.3.8 Metodología para el análisis de agua.**

Las muestras de agua se analizaron conforme a los procedimientos establecidos para cada parámetro en la Normativa Oficial Mexicana, así como a los métodos establecidos por la APHA-AWWA-WDCF (1992) (35). Los parámetros evaluados y la metodología aplicada se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Descripción de métodos analíticos en agua (1).

Parámetro	Método Analítico
Cloruros	Método Argentométrico de Mohr, también llamado de nitrato de plata, la determinación se basa en la formación de cromato de plata de color rojizo insoluble, esto ocurre cuando se adicionan al agua iones cromato como indicador e iones de plata como reactivo precipitante.
Color	Comparación espectrofotométrica de la muestra con soluciones coloridas de Platino-Cobalto de concentraciones conocidas.
Conductividad	Método Electrométrico, se trata de una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica, capacidad que dependerá del tipo de iones presentes en la disolución de una concentración y naturaleza, así como de la temperatura a la que se efectúe la medida.
Demanda Química De Oxígeno	Método de la oxidación ácida, se basa en la oxidación enérgica de la materia orgánica y de la inorgánica oxidable que se encuentra en el agua, en un medio fuertemente ácido, con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso del agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amoniacal en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina como indicador interno.
Fósforo Total	Método de digestión ácida y valoración por el método del ácido ascórbico
Metales	Método de digestión ácida. La determinación se realiza en un espectrómetro de absorción atómica adaptado con horno de grafito para Cd, Cr, Pb y Ni, con flama para Al, Cu, Fe, Mn y Zn, y con generador de hidruros en frío para As y Hg.
Oxígeno Disuelto	Método electrométrico, utilizando un electrodo de membrana unible al oxígeno, en determinaciones de campo. En laboratorio se aplica el método iodométrico de Winkler.
pH	Método Electrométrico, se basa en la determinación de la actividad de los iones hidrógeno medidos en un potenciómetro usando un electrodo de vidrio y otro de referencia. La fuerza electromotriz producida por el sistema de electrodos es proporcional al pH de la solución problema.
Sólidos Disueltos Totales.	Método Gravimétrico, se basa en la evaporación y calcinación de la muestra, en donde los residuos de una y otra operación sirven de base para el cálculo del contenido de sólidos.
Sólidos Suspendidos Totales.	Método Gravimétrico, son aquellos retenidos en filtros de fibra de vidrio, se secan en estufa a 103-105 °C y se pesan.
Sólidos Sedimentables	Método Volumétrico, se llena un cono imhoff con 1 l de muestra y se observa el material sedimentado a las 2 horas.
Sólidos Totales Totales	Método Gravimétrico. se realiza tras evaporar en placa de porcelana la muestra y secarla a 103-105 °C.
Temperatura	Método Visual, mediante termómetro de mercurio.
Turbiedad	Método Nefelométrico, el procedimiento se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión de referencia estándar (Polímero de formazina), en condiciones semejantes.

### 7.3.9 Estimación del Índice de Calidad del Agua.

El índice de calidad del agua (ICA), propuesto por Martínez de Basarán (1979) es ampliamente utilizado debido a su diseño sencillo y a que permite incluir un número de variables en la integración, previa ponderación de su agnitud, siendo entonces aplicable a series de datos. Proporciona un valor global de la calidad del agua en función de los valores individuales a una serie de parámetros, para lo cual se realizan varias transformaciones numéricas en cada uno de los resultados a integrar (Tabla 10).

Primeramente se normalizan los valores individuales que conforman el índice al establecer una correspondencia de los resultados obtenidos en cada uno de los análisis con una escala variable de 0 a 100.

Se asigna un peso numérico a cada uno de los parámetros indicado de acuerdo con su importancia en los criterios normales de calidad. La determinación del peso de un parámetro se realiza en forma conjunta con equipo especializado en la calidad del agua y mediante la aplicación del método Delphi se llega a un resultado estimativo de peso para cada uno de ellos.

Obtenidos los resultados del valor en escala de 0 a 100 y el peso asignado a cada uno, se aplica la siguiente fórmula para el cálculo del índice de calidad del agua.

$$ICA = \frac{\sum C_i P_i}{\sum P_i} \quad k$$

Donde:

$C_i$  = Valor porcentual asignado a los parámetros  
 $P_i$  = Peso asignado a cada parámetro  
 $K$  = Constante que varía de 1 a 0.25 según la contaminación aparente del agua definida de la siguiente forma:  
 0.1 para aguas claras sin aparente contaminación  
 0.75 para agua con ligero color, con espumas y ligera turbiedad, aparentemente no natural.  
 0.50 Para aguas con apariencia de estar contaminadas y con fuerte olor  
 0.25 Para aguas negras que presentan fermentaciones y olores.

Tabla 10. Parámetros utilizados en este estudio para el cálculo del Índice de Calidad del Agua.

Temperatura	Cloruros
DQO	Nitrógeno total
DBO <sub>5</sub>	Fósforo total
pH	Grasas y aceites
Color	Sólidos Disueltos Totales
Conductividad	Sólidos sedimentables
Coliformes Totales	Sólidos suspendidos totales
Coliformes Fecales	Turbiedad
Oxígeno disuelto	

#### Valor asignado a los parámetros:

Se establecen escalas variables de 0 a 100 que permiten obtener valores de los resultados obtenidos en los análisis. Estos valores corresponden a un agua natural típica, por lo que son genéricos, y por lo tanto susceptibles de conducir error cuando se trata de determinar la calidad del agua para un uso específico, como puede ser pecuario, acuicultura, suministro público, etc, en estos casos se deberá adecuar el valor porcentual a cada parámetro en función de la normatividad que proceda.

Los valores porcentuales asignados a los parámetros en el presente estudio se presentan en las tablas 11, 12, 13, 14, 15, 16. Cabe señalar que cuando el valor del parámetro presenta una valoración menor a 50%, significa que existen limitantes de importancia para su utilización, requiriendo de algún tipo de tratamiento previo al uso asignado.

Tabla 11. Valor asignado a los parámetros de turbiedad, color, pH y conductividad.

Parámetro	Turbiedad	Color	pH	Conductividad	Valoración
	10	40	1 – 14	>16.000	0
	9	36	2 – 13	12.000	10
	8	32	3 – 12	8.000	20
	7	28	4 – 11	5.000	30
	6	24	5 – 10	3.000	40
	5	20	6.5 – 8.5	2.500	50
	4	16	6.0	2.000	60
	3	12	9	1.500	70
	2	8	8.5	1.250	80
	1	4	8	1.000	90
	0	0	7	<750	100
Unidades	UTN	Esc. Pt-Co	Unidad	Umhos/cm	%



Tabla 12. Valor asignado a los parámetros de cloruros, Sólidos disueltos totales y Coliformes totales.

Parámetro	Cloruros	Coliformes Totales	Oxígeno disuelto	Valoración
	1200	300	0	0
	1000	250	1	10
	700	200	2	20
	500	100	3	30
	300	40	3.5	40
	250	20	4	50
	150	10	5	60
	100	8	6	70
	50	4	6.5	80
	25	<2	7	90
	0	0	7.5	100
Unidades	mg/l	NMP/100ml	mg/l	%

Tabla 13. Valor asignado a los parámetros de temperatura, Demanda química de oxígeno y Demanda bioquímica de oxígeno.

Parámetro	Temperatura	DQO	DBO <sub>5</sub>	Valoración
	>50/>-8	180	48	0
	45/-6	162	54	10
	40/-4	144	48	20
	36/-2	126	42	30
	32/0	108	36	40
	30/5	90	30	50
	28/10	72	24	60
	26/12	54	18	70
	24/14	36	12	80
	22/15	18	6	90
	21 a 16	0	0	100
Unidades	°C	mg/l	mg/l	%

Tabla 14. Valor asignado a los parámetros de Nitrógeno total, Fósforo total, Grasas y aceites.

Parámetro	Nitrógeno total	Fósforo total	Grasas y aceites	Valoración
	30	>0.65	30	0
	27	0.60	27	10
	24	0.55	24	20
	21	0.50	21	30
	18	0.45	18	40
	15	0.40	15	50
	12	0.30	12	60
	9	0.25	9	70
	6	0.20	6	80
	3	0.15	3	90
	0	<0.10	0	100
Unidades	mg/l	mg/l	mg/l	%

Tabla 15. Valor asignado a los parámetros de Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales, Sólidos disueltos totales.

Parámetro	Sólidos sedimentables	Sólidos suspendidos totales	Sólidos Disueltos Totales	Valoración
	3.5	80	2000	0
	3	72	1800	10
	2.5	64	1600	20
	2	56	1400	30
	1.5	48	1200	40
	1	40	1000	50
	0.5	32	800	60
	0.25	24	600	70
	0.12	16	400	80
	0.06	8	200	90
	0.03	0	0	100
Unidades	mg/l	mg/l	mg/l	%

Tabla 16 Valor asignado a los parámetros de coliformes fecales.

Parámetro	Coliformes Fecales	Valoración
	Positivo	10
	Negativo	100
	No detectable NMP/100ml	

El peso de los parámetros está indicado de acuerdo con su importancia en los criterios normales de calidad.

En la determinación del peso de cada parámetro se utilizó el criterio de acuerdo a la toxicidad del parámetro a determinar. (tabla 17)

En el proceso de cálculo numérico se aplicó en la fórmula de ICA un valor para la constante  $k$  de 1.0 considerando que es agua clara sin aparente contaminación.

Tabla 17. Peso asignado a los parámetros

Valor Asignado	Parámetro
Valor máximo de 4	Oxígeno disuelto DQO DBO <sub>5</sub> Nitrógeno total
Valor medio de 3	Grasas y aceites Fósforo total Coliformes Totales Coliformes Fecales
Valor menor de 2	Sólidos sedimentables Sólidos suspendidos totales Turbiedad Color Conductividad
Valor mínimo de 1	Temperatura PH Cloruros Sólidos Disueltos Totales

### 7.3.10 Metodología para el análisis de patógenos en aire.

El muestreo de aerosoles se realizó por el método de exposición de caja abierta. Para de determinación de bacterias se utilizará agar soya tripticasa (38).

Las cajas de petri se incubaron a 37 grados centígrados durante 24 horas, tiempo al que se cuantificaron las unidades formadoras de colonias (UFC) utilizando un cuenta colonias.

#### a) Aislamiento de bacterias.

Después de transcurridas las 24 hrs.de incubación se dividió la caja de petri por cuadrantes y se eligió una colonia en cada uno de ellos, tomando como criterio de inclusión solo las colonias más grandes. Las colonias elegidas fueron diferentes entre sí. La colonia seleccionada se aisló en cultivo puro. Solo se incluyeron en el estudio aquellas colonias que presentaron un crecimiento puro o limpio. Se realizó tinción de gram a todas las colonias aisladas tomando como criterio de inclusión para el estudio solo las gram negativas (bacilos), las gram positivas de cualquier tipo se excluyeron por no ser de interes para este estudio. Se aplicaron pruebas bioquímicas específicas para la identificación de enterobacterias. Para estimar la concentración de bacterias por metro cúbico de aire se multiplicó el número de UFC por el factor 38 (38).

## 7.4 Calendario de muestreos.

### 7.4.1 Muestreo de agua.

Tabla 18. Calendario de muestreos en agua.

12 Marzo	Cárcamo	Reactor biológico	Agua tratada	Volumen de muestra
8 A.M.	DQO			500 ml. DQO
10	DQO NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab.fis-quim	NOM-001-ECOL Lab. Fis-quim	NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab.fis-quim	500 ml DQO Galon NOM-001-ECOL Microbiológico 500 ml
12	DQO			500 ml DQO
2 P.M.	DQO NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab.fis-quim	NOM-001-ECOL Lab.fis-quim	NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab.fis-quim	500 ml DQO Galon NOM-001-ECOL Microbiológico 500 ml
4	DQO			500 ml DQO
Total de muestras	5 DQO 2 NOM.001- ECOL 2 microbiológicos	2 NOM.001-ECOL	2 NOM.001-ECOL 2 microbiológicos	5 DQO 500 ml. 6 NOM-001-ECOL Galón 4 Microbiologicos 500 ml 9 Lab fisico-quim 500 ml

14 Marzo	Carcamo	Reactor biológico	Agua tratada	Volumen de muestra
8 A.M.	DQO			500 ml. DQO
10	DQO NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab.fis-quim	NOM-001-ECOL Lab. Fis-quim	NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab.fis-quim	500 ml DQO Galon NOM-001-ECOL Microbiológico 500 ml
12	DQO			500 ml DQO
2 P.M.	DQO NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab.fis-quim	NOM-001-ECOL Lab.fis-quim	NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab.fis-quim	500 ml DQO Galon NOM-001-ECOL Microbiológico 500 ml
4	DQO			500 ml DQO
Total de muestras	5 DQO 2 NOM.001- ECOL 2 microbiológicos	2 NOM.001-ECOL	2 NOM.001-ECOL 2 microbiologicos	5 DQO 500 ml. 6 NOM-001-ECOL Galón 4 Microbiologicos 500 ml 9 Lab fisico-quim 500 ml

10 Abril	Cárcamo	Reactor biológico	Agua tratada	Volumen de muestra
2 P.M.	NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab.fis-quim	NOM-001-ECOL Lab.fis-quim	NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab..fis-quim	Galón NOM-001-ECOL Microbiológicos 500 ml
Total de muestras	1 NOM.001- ECOL 1 microbiol 1 Lab.fis-quim	1 NOM.001-ECOL 1 Lab. Fis-quim	1 NOM.001-ECOL 1 microbiol 1 Lab.fis-quim	3 NOM-001-ECOL Galón 3 Lab.fisico-quim 500 ml 2 Microbiologicos 500 ml

17 Abril	Cárcamo	Reactor biológico	Agua tratada	Volumen de muestra
2 P.M.	NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab.fis-quim	NOM-001-ECOL Lab.fis-quim	NOM-001-ECOL Microbiológicos Lab..fis-quim	Galón NOM-001-ECOL Microbiológicos 500 ml
Total de muestras	1 NOM.001- ECOL 1 microbiol 1 Lab.fis-quim	1 NOM.001-ECOL 1 Lab. Fis-quim	1 NOM.001-ECOL 1 microbiol 1 Lab.fis-quim	4 NOM-001-ECOL Galón 4 Lab.fisico-quim 500 ml 2 Microbiologicos 500 ml

#### 7.4.2 Muestreo de aerosoles.

Se realizó una prueba de exposición para la determinación normalizada de los tiempos de exposición en cuatro puntos del CUCBA. Se eligieron para el muestreo los puntos 1,2, 3 y 4 que se muestran en el Anexo I.

Con base en los resultados obtenidos de esta prueba se decidió muestrear durante tres semanas, una vez por semana (10, 17,24 Junio), en las dos condiciones antes indicadas (reactor activado y no activado) y en los mismos horarios, exponiendo las cajas de petri 5 minutos.

#### 7.5 Análisis estadístico.

Se realizó estadística descriptiva estimando medias y desviación standart. Los cálculos estadísticos se realizaron aplicando el programa SPSS versión 10 para Windows.

Con los datos del análisis de agua en la depuradora se determinó la carga contaminante y la dinámica por día en la planta depuradora. Como producto final del estudio en agua, se obtuvo la eficiencia del proceso depurador en función a parámetros físico -químicos y al índice de calidad del agua (ICA).

## VIII. RESULTADOS.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de los análisis realizados en la depuradora obteniéndose con ello, la eficiencia del proceso depurador en función a las especificaciones técnicas de la planta así como al ICA, además de los hallazgos bacterianos en los muestreos de aerosoles. El análisis descriptivo de cada uno de los parámetros analizados para el proceso de depuración de encuentra en el anexo V.

### 8.1 Resultados de los muestreos en agua en la planta depuradora.

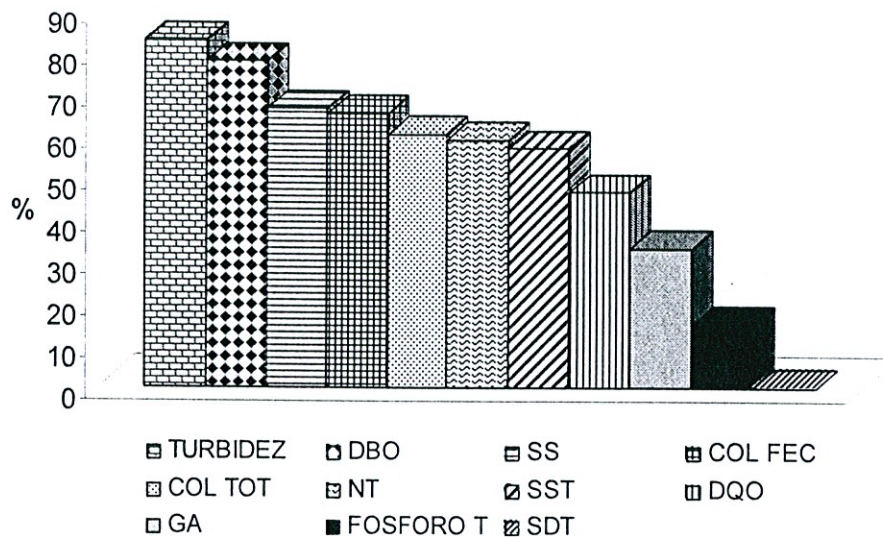


Figura 10. Eficiencia del proceso depurador en función de parámetros físico-químicos de la planta depuradora del CUCBA.

Para el cálculo de la eficiencia global del proceso depurador se consideró como el 0% de eficiencia los valores obtenidos para cada parámetro en el cárcamo estableciendo una relación con los valores obtenidos en el agua tratada.

La eficiencia de depuración del proceso en función de la turbidez es de 83%,  $DBO_5$  de 78%, coliformes fecales de 65%, coliformes totales de 60% sólidos sedimentables 66.6%, nitrógeno total de 59.1% sólidos suspendidos totales de 57%, DQO es de 46.8%, para grasas y aceites de 33.36% y fósforo total 15%, Figura 10.

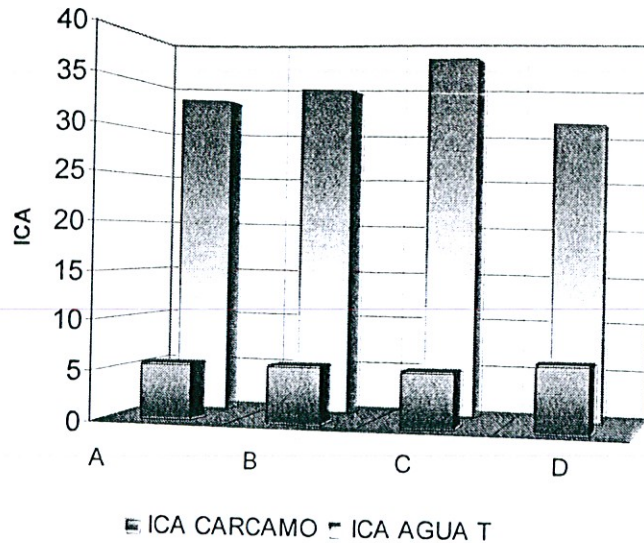


Figura 11. Valores comparativos del índice de calidad del agua (ICA) de la planta depuradora del CUCBA. (Semanas de muestreo: A,B,C,D).

La calidad del agua se expresa en función al ICA para lo cual se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: Temperatura, pH, oxígeno disuelto, DQO, DBO<sub>5</sub>, color, cloruros, conductividad, grasas y aceites, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fósforo total, turbidez, coliformes totales y coliformes fecales.

Los resultados indican que el ICA para el cárcamo fue de 5.6, 5.72, 5.6 y 6.7 y para el agua tratada de 33.13, 34.35, 37.7 y 30.87 respectivamente para cada una de las semanas de muestreo (Fig. 11).

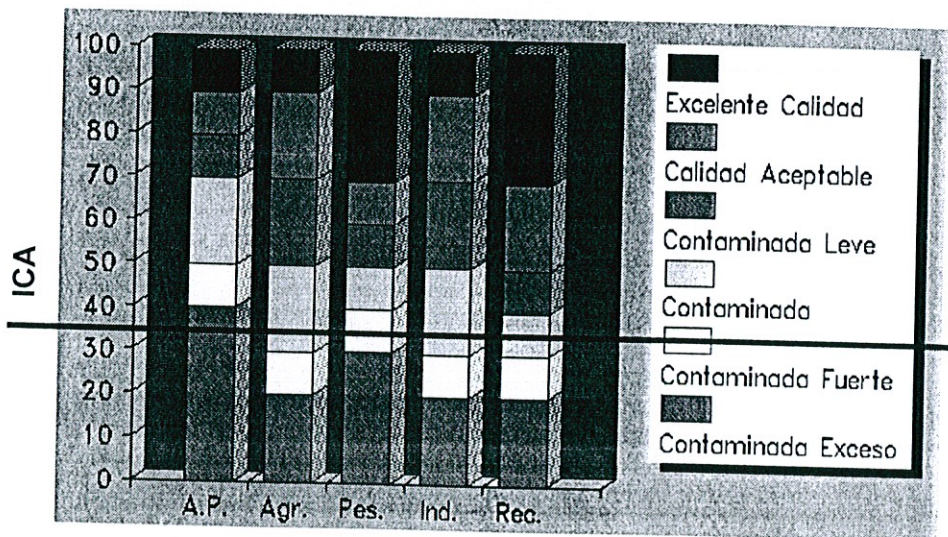


Figura 12. Valores comparativos del índice de calidad del agua (ICA) en función a su uso .A:P. Agua potable; Agr. Agricultura; Pes. Pesca; Ind. Industria; Rec. Recreación (14).



El valor promedio del ICA obtenido en este estudio para agua tratada indica según los lineamientos de calidad establecidos en la figura 12 las siguientes limitantes de uso (2). Tabla 19:

Tabla 19. Usos del agua en función de su calidad.

Usos	Calidad
Agua Potable	Contaminada En Exceso
Agricultura	Contaminada
Pesca	Contaminada Fuerte
Industria	Contaminada
Recreación	Contaminada

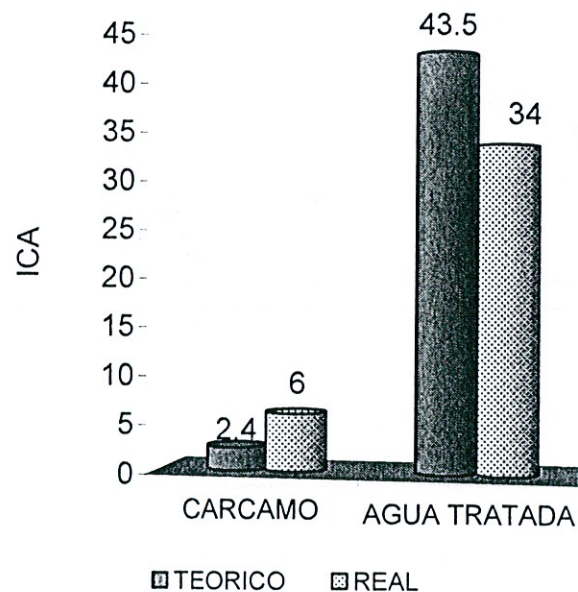


Figura 13. Valores del ICA real y teórico en el cárcamo y agua tratada.

Los valores promedio obtenidos en el cálculo del ICA fueron de 6 y 34 para el cárcamo y agua tratada respectivamente. Los valores teóricos esperados para el ICA en función a los parámetros establecidos en el manual técnico de la planta son de 2.4 y 43.5 para el cárcamo y agua tratada respectivamente (13). (Fig. 13).

Comparando los valores reales con los valores teóricos del ICA se tiene que para el agua tratada este se encuentra por debajo de los valores mínimos esperados establecidos por el manual técnico de la planta (Fig. 13).

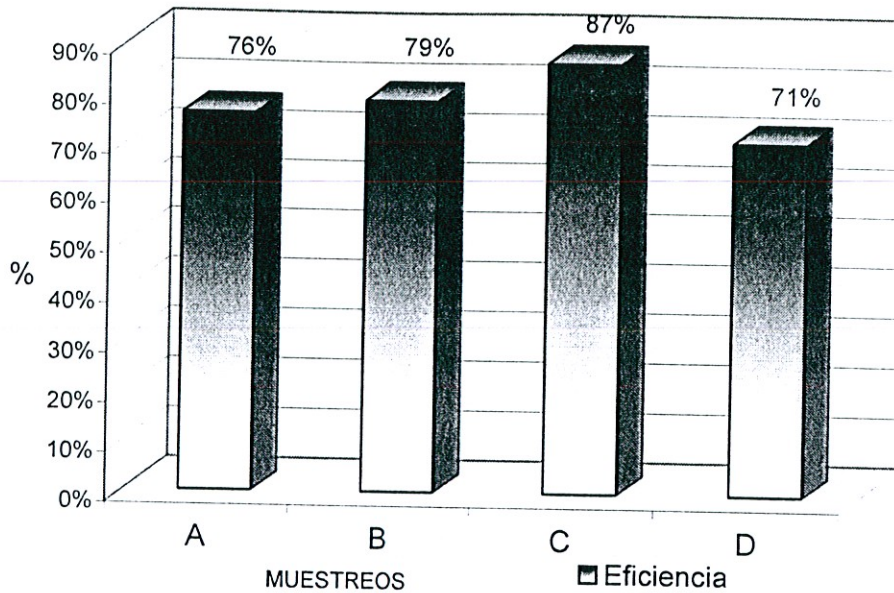



Figura 14. Eficiencia del proceso depurador en función del Índice de calidad del agua de la planta depuradora del CUCBA. (Semanas de muestreo: A,B,C,D).

En función al ICA de 43.5 que el agua tratada debe presentar correspondiente al 100% de eficiencia, los resultados indican que el porcentaje de eficiencia para la primera semana de muestreo fue del 76%, para la segunda del 79%, del 87% para la tercera y del 71% para la cuarta (Fig. 14).

De acuerdo a estos resultados la eficiencia promedio con la actualmente trabaja la planta es de 78% en función a la carga contaminante para la que fue diseñada.

En relación a los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos por la NOM-001-ECOL-1996 el efluente de la planta de tratamiento del CUCBA se encuentra fuera de norma es los siguientes parámetros: Grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales y nitrógeno total. No se encontraron metales pesados en ninguna muestra. Tabla 20.

Tabla 20. Cuadro comparativo entre los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996 y los resultados obtenidos para el efluente de la planta de tratamiento del CUCBA.

Parámetros (miligramos por litro excepto cuando se especifique)	Límites máximos permisibles NOM-001- ECOL-1996. Agua para riego.	Efluente planta CUCBA
Temperatura °C	40	23.5
Grasas Y Aceites	15	32.6
Sólidos Sedimentables	1	7.5
Sólidos Suspendidos Totales	75	234
DBO <sub>5</sub>	75	39.3
Nitrógeno Total	40	69.8
Fósforo Total	20	12.01
Arsénico	0.2	< .0419
Cadmio	0.2	< .0020
Cobre	4.0	< .0015
Cromo	1	< .0035
Mercurio	0.01	< .0217
Niquel	2	< .0049
Plomo	0.5	< .0109
Zinc	10	< .0015
Parámetros fuera de norma.		
		

## 8.2 Resultados de los muestreos en aire.

Tabla 21. Resultados generales de los muestreos de aire unidades formadoras de colonias (UFC).

Lugar	Muestreos *		
	15/Junio/02	17/Junio/02	24/Junio/02
1 A	41	284	568
1 B	714	624	1562
2 A	9	688	952
2 B	73	207	1232
3 A	3	1184	125
3 B	15	103	1213
4 A	43	64	incontables
4 B	25	815	43
5 A	71	66	772
5 B	40	1690	252
6 A	51	29	508
6 B	32	90	46
7 A	5	46	22
7 B	54	23	44
8 A	15	67	53
8 B	53	118	72

\* UFC

A .Muestreo 12:00 P.M.

B. Muestreo 2:00 P.M.

Los recuentos totales de bacterias en el Centro Universitario estuvieron entre  $1.2 \times 10^3$  y  $1.4 \times 10^4$  UFC /m<sup>3</sup> con el reactor activado y de  $2.2 \times 10^3$  y  $2.1 \times 10^4$  UFC /m<sup>3</sup> con el reactor desactivado. Los recuentos bacterianos más elevados se detectaron en la zona media con valores de  $1.4 \times 10^4$  y  $2.1 \times 10^4$  UFC/m<sup>3</sup> en las dos condiciones respectivamente. Tabla 21.

Tabla 22. Concentración de bacterias aerotransportadas en las distintas zonas de muestreo del CUCBA con el reactor activado y desactivado.

Zona	Muestreo *						Media *	
	10/Jun/02		17/Jun/02		24/Jun/02		Activado	Desactiv.
	Activado	Desactiv.	Activado	Desactiv.	Activado	Desactiv.		
Proximal	2 318	1 368	1 805	33 820	24 320	5 662	9 481	13 616
<b>Media*</b>	<b>671</b>	<b>7 856</b>	<b>27 309</b>	<b>16 615</b>	<b>20 836</b>	<b>38 475</b>	<b>16 272</b>	<b>20 982</b>
Distal	380	2 033	2 147	2 679	1 425	2 204	1 317	2 305

**Zona crítica.**

\*UFC/m<sup>3</sup>

Los resultados obtenidos nos muestran una variación en la concentración de bacterias en los distintos puntos muestreados del CUCBA. La zona que presenta una mayor concentración de bacterias corresponde a la zona media, donde se encuentra la mayor parte de los edificios del CUCBA así como el 74% de la población total del centro universitario, a esta zona le sigue la zona proximal, con una concentración menor, aquí se encuentra el 15% de la población del centro universitario. La zona que presenta una menor concentración de bacterias es la distal en la que se encuentra el 10.6% de la población del centro universitario. Tabla 22.

Tabla 23. Unidades formadoras de colonias (UFC) por metro cúbico de aire respirado por las personas en las distintas zonas de muestreo del CUCBA con el reactor activado y desactivado.

Zona	UFC/ m <sup>3</sup> de aire respirado	
	Activado	Desactiv.
Proximal	41,052	58,957
<b>Media*</b>	<b>70,457</b>	<b>90,852</b>
Distal	5,702	9,980

NOTA: Los cálculos realizados para la elaboración de esta tabla se encuentran en el anexo IV.

Se observa un notable aumento en la cantidad de bacterias respiradas por metro cúbico en la zona media en relación con las otras zonas de muestreo. En todos los casos los valores rebasan los límites máximos permisibles de UFC/m<sup>3</sup> de aire para ambientes ocupacionales (31). Tabla 23.

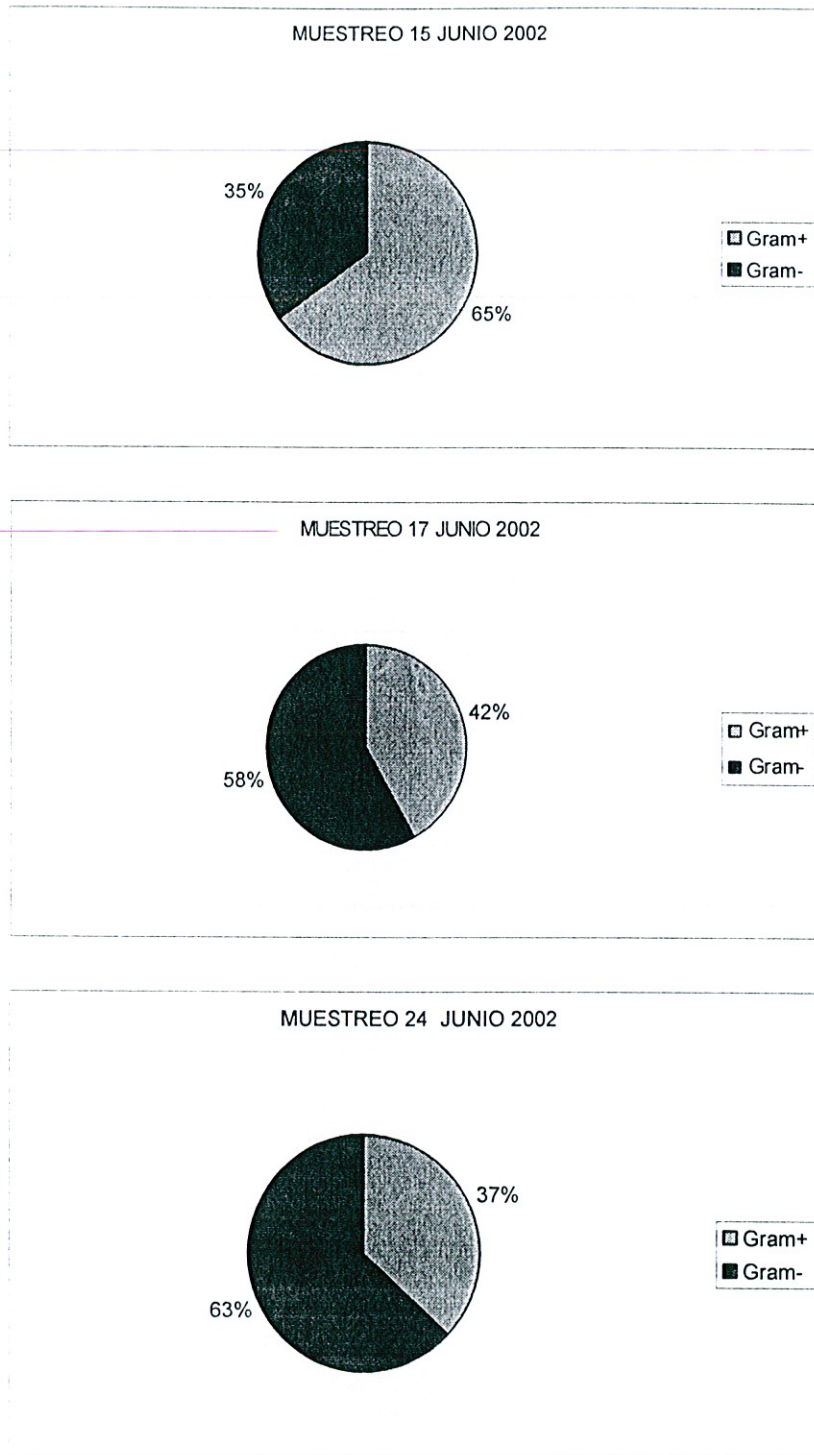


Figura 15. Tendencias acumulativas por muestreo bacterias Gram + y Gram -.

Los resultados obtenidos de la tinción de Gram nos muestra un aumento en el porcentaje de bacterias Gram - en los distintos muestreos. Para el muestreo del 15 de junio tenemos un 35% de bacterias Gram - y 65% de Gram +. Para el muestreo del 17 de junio tenemos 58% de bacterias gram- y 42% de Gram+. Para el muestreo del 24 de junio tenemos un 63% de bacterias Gram- y 37% de Gram+. Figura 15.

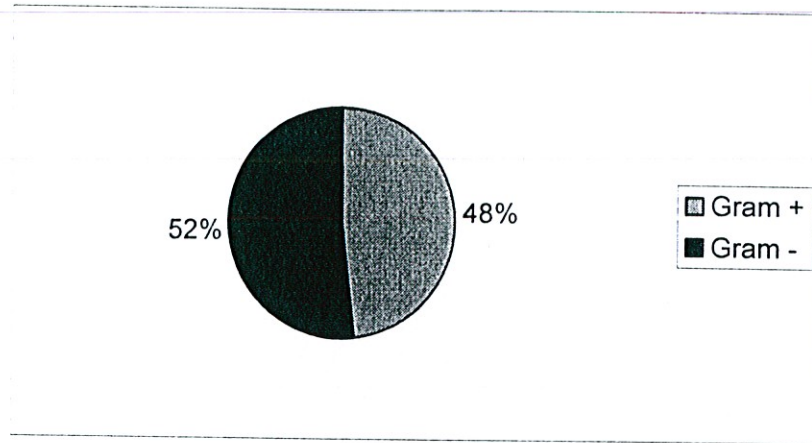


Figura 16. Distribución porcentual de hallazgos bacterianos.

En el porcentaje total de todo el estudio para bacterias gram - y gram +, podemos observar un 52% y un 48% respectivamente. Figura 16.

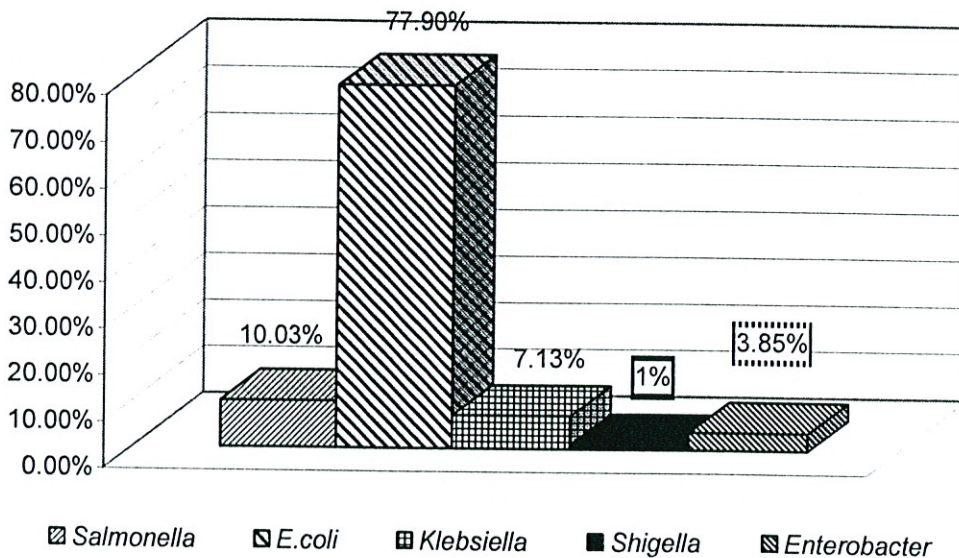


Figura 17. Porcentaje total de bacterias aisladas

Los resultados de las pruebas bioquímicas aplicadas en este estudio nos muestran un 70% de *E. coli*, un 13% de *Klebsiella*, un 10.03% de *Salmonella* un 3.85% de *Enterobacter* y un 1% de *Shigella*. Figura 17.

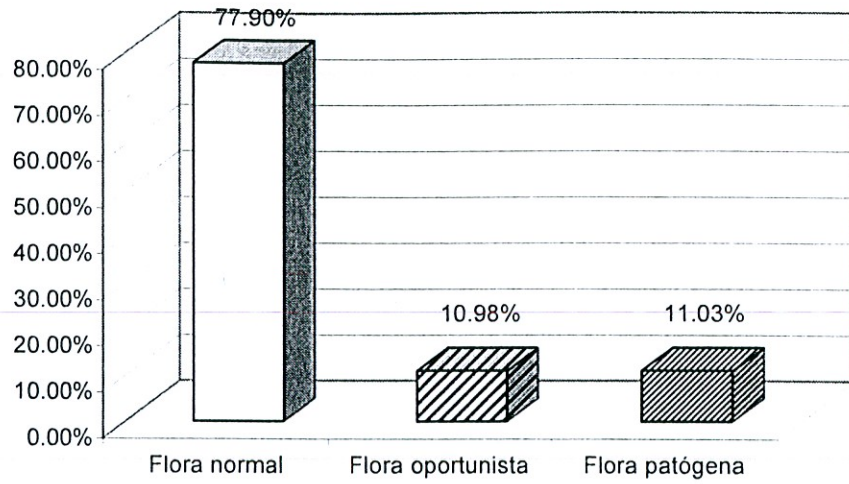


Figura 18. Porcentaje total de bacterias aisladas de acuerdo a su patogenicidad.

De todas las bacterias aisladas en este estudio el 77.9 % se considera flora normal, el 10.98 % flora oportunista y el 11.03 % flora patógena. Figura 18.



## IX. DISCUSION

En Jalisco existen 12,000 localidades que generan aguas residuales, de las cuales se estima que solo el 10% del total se trata adecuadamente. Se cuenta con 87 sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales, y 36 requieren de rehabilitación, 38 son obsoletas y solo 13 operan adecuadamente (13).

El CUCBA se localiza en la subcuenca Río Santiago, que es el sistema hidrológico más explotado y contaminado de Jalisco. A este sistema se le extraen 1,397 millones de m<sup>3</sup> al año de agua para diversos usos. Presenta en su parte inicial considerable contaminación debido a las industrias y poblaciones localizadas en sus márgenes y posteriormente es contaminado por las aguas residuales municipales e industriales descargadas de la zona metropolitana de Guadalajara, además de las poblaciones de Amatitán, Tequila, Arenal y Magdalena. Esto genera problemas ecológicos y económicos diversos, como es el uso de aguas negras para el riego de hortalizas, con graves consecuencias a la salud, disminución en la disponibilidad de agua para uso y consumo humano, degradación de ecosistemas y finalmente un aporte de contaminantes al Océano Pacífico (13).

En consideración al planteamiento anterior es de suma importancia que el CUCBA cuente con un sistema eficiente de tratamiento de sus aguas residuales debido a sus condiciones particulares de uso de recursos hídricos, además de que es el primer Centro Universitario en la Universidad de Guadalajara que cuenta con esta infraestructura, y por encontrarse en una zona netamente agrícola y muy cerca del bosque de la primavera, considerado este último como una zona vital de recarga de acuíferos.

Los resultados obtenidos en este estudio en relación a la eficiencia del proceso depurador, indican que el ICA del agua tratada se encuentra por debajo del valor mínimo que establece el manual técnico de la planta (43.5), por lo que ésta trabaja con un 78% de eficiencia que corresponde a un ICA de 34, esto no significa que el agua sea de buena calidad ya que ésta debería tener un ICA de 100.

Es importante resaltar que el proceso depurador se controla mediante el análisis de parámetros de calidad del agua, los cuales se enumeran en el manual técnico del mismo, y para lograr los porcentajes de eficiencia que técnicamente se tiene la capacidad, es necesario que se realice un seguimiento del sistema depurador en su conjunto, lo que incluye como se menciona antes, parámetros de calidad del agua, acciones de mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones y valoraciones periódicas de la funcionalidad y los impactos ambientales de dicho proceso.

En este estudio se ha determinado que los procesos de control de la calidad del agua no están operando satisfactoriamente, debido a que no existe personal capacitado específicamente en este procedimiento tecnológico, lo cual a su vez deriva en un manejo más rutinario que técnico, con los consecuentes resultados de eficiencia y de impacto ambiental.

Es importante señalar que la planta de tratamiento del CUCBA al ser adquirida en 1997 se considero una capacidad técnica instalada para cubrir con las exigencias de depuración de una población de 1,400 personas, cuando en ese momento el centro universitario contaba ya con una población de 2,030 personas y para el año 2002 se tiene una población de 3,200 personas, lo cual induce a plantearse lo siguiente: en primer lugar las cargas contaminantes deberán ser mayores a las que inicialmente empezó a procesar esta planta, en segundo lugar los procesos de contaminación puntual de origen laboratorial deben de ser mas frecuentes, por lo que los impactos a los procesos biológicos que se efectúan también deberán estar aumentados en su frecuencia, lo cual no se tiene documentado de forma alguna, tercero, la calidad del agua tratada deberá responder a la eficiencia de los proceso unitarios que se aplican, por lo que su control y evaluación final para disposición también deberá ser replanteada. Es interesante mencionar que en ninguna de las muestras de agua se encontraron metales pesados y que por el origen del agua residual se esperaría encontrar. Es probable que estos metales se encuentren depositados en los lodos.

Los resultados indican que los problemas de eficiencia que se presentan en la planta no es el aumento de población del CUCBA, ya que no esta sobrepasada en su capacidad de carga contaminante a procesar, dado que recibe un 50% del DQO para lo que esta diseñada, con una eficiencia real del 78%. El manual técnico establece una capacidad máxima de procesamiento de DQO de 720 mg/l y actualmente recibe DQO máximos de 350 mg/l.

El análisis de resultados revela que existen puntos críticos de control en el proceso depurador del CUCBA, los cuales deben regularse técnicamente ya que los procesos unitarios no se están efectuando en forma apropiada, por lo que el agua tratada no tiene la calidad esperada.

Estos puntos críticos se identifican como sigue:

Primero se requiere una regulación en el flujo del agua residual al reactor, ya que la carga contaminante que recibe actualmente (y que es producto de la acumulación de aproximadamente 12 horas) no es suficiente para que el proceso se lleve a cabo eficientemente.

Segundo, el control del tiempo de retención en el reactor (así como los tiempos de aireación), que debe determinarse de acuerdo a la carga contaminante recibida. Numerosas referencias bibliográficas demuestran que un sistema de tratamiento de aguas residuales trabajará adecuadamente si su capacidad de carga contaminante no es excedida y permanece en el reactor el tiempo adecuado que es de 3 a 12 horas dependiendo de la carga contaminante del agua a tratar (18,23).

Tercero, en el clarificador, el incremento de los sólidos en el sobrenadante del digestor deteriora el proceso depurador dando como resultado un efluente de mala calidad (3,18, 39), por lo que su estricto seguimiento es primordial para eficientar el proceso.

Cuarto, la ausencia de cloro residual en todas las muestras y la presencia de coliformes fecales en el agua tratada igualmente permite considerar al sitio de cloración como otro punto crítico en el proceso depurador.

Los procesos de depuración requieren del reciclado de lodos para mantener en condiciones adecuadas las poblaciones de microorganismos en el reactor biológico, a fin de evitar que se desarrollen poblaciones viejas o bien de baja densidad biológica (18,23). En el caso de la planta del CUCBA no existen evidencias que permitan asegurar que las poblaciones de microorganismos en los lodos estén alteradas, por lo que será necesario realizar estudios posteriores sobre el tema, ya que hasta el momento no se tiene referencia de estudios realizados tanto por la compañía que instaló la planta como por personal de propio centro universitario.

Un aspecto a resaltar son los niveles de los sólidos suspendidos presentes en el agua tratada, ya que presentan valores superiores a los máximos especificados en el manual técnico de la planta, lo que puede ser ocasionado por un periodo corto de tiempo de permanencia por lo que el tiempo que dura el agua en el clarificador es otro punto crítico. Estudios sobre el tema indican que este problema puede ser causado por la producción de lodos muy hidratados, gelatinosos, que tienen muy poca densidad o por el crecimiento de organismos filamentosos, que pueden crecer de un flóculo a otro y actuar, impidiendo la compactación de las partículas de lodo, así como también por un bajo nivel de oxígeno disuelto, tiempo de aireación escaso, baja concentración de nitrógeno (18,39).

En relación a la NOM-001-ECOL los resultados indican que el agua tratada no cumple con los límites máximos permisibles que dicha norma establece por lo que el hecho de que el agua tratada se vierta a pozos profundos puede representar un riesgo al ambiente que estará en función de las características propias del suelo principalmente y de la profundidad a la que se encuentran los mantos freáticos (16,18).

La localización de la planta de tratamiento actualmente rodeada de edificios en el CUCBA, así como las particularidades inherentes a su diseño, representa un riesgo para la salud de la comunidad universitaria que se encuentra continuamente expuesta a los aerosoles generados por la misma. Estudios previos demuestran que a través del agua y los aerosoles pueden difundirse gran cantidad de organismos patógenos y causar enfermedades diarreicas tales como el cólera, fiebre tifoidea y paratifoidea, salmonelosis, giardiasis, criptosporidiosis (3,4, 30).

En el caso particular de los aerosoles, las gotas pequeñas de aerosol bacteriano (1-10 micras) pueden permanecer suspendidas en el aire durante varias horas o días (24).

Diversos estudios han demostrado que la inhalación de bioaerosoles y polvo diseminado por las actividades humanas y animales es uno de los mecanismos primarios de transmisión de las infecciones respiratorias. La exposición a bacterias, hongos, micotoxinas y virus suspendidos en el aire es la causa de un riesgo biológico potencial (25,26). Con respecto a la salud, los aerosoles son considerados como una de las principales vías de transmisión de enfermedades a los seres humanos desde el agua residual (38).

Actualmente dentro de las alternativas de saneamiento ambiental en relación con la depuración de aguas residuales se utilizan diversos tipos de plantas de tratamiento. Los estudios realizados sobre el impacto ambiental de las plantas de tratamiento que utilizan lodos activados demuestran que los tanques de aireación constituyen una fuente importante de emisión de aerosoles (4).

Los resultados obtenidos en relación al porcentaje de bacterias Gram negativas encontradas en el aire, se apoyan en otros estudios donde se establece que los bioaerosoles provenientes de las plantas de tratamiento presentan un 50% de este tipo de bacterias. Igualmente, dichos hallazgos bacterianos son similares a los encontrados en diferentes investigaciones donde se han determinado altas concentraciones de bacterias y hongos en todos los sitios alrededor de los aireadores de las plantas de tratamiento. Principalmente, se han identificado algunos coliformes como *Escherichia coli*, *Estafilococos*, *Salmonella*, *Reovirus*, *Enterovirus*, y también se ha demostrado que la exposición a estos aerosoles representa un riesgo a la salud para los trabajadores de la planta así como para las personas que viven o trabajan en los alrededores ya que durante su jornada de trabajo se encuentra expuestos continuamente a concentraciones elevadas de bacterias (28,29 ,40) Además los resultados de este estudio muestran un aumento en la concentración de bacterias gram negativas a medida que aumentaba la humedad en el aire, ya que el periodo de lluvias iniciaba cuando se comenzó con los muestreos de aire. Así que el aumento en la humedad favoreció el desarrollo de estas bacterias.

En México no existen Normas Oficiales que establezcan los límites máximos permisibles de bacterias en espacios abiertos. Sin embargo, aunque no es comparable la valoración en espacios cerrados y abiertos por la imposibilidad de controlar todos los factores involucrados, es importante considerar el establecimiento de sistemas que minimicen el riesgo a la salud que representan las plantas de tratamiento (4,28).

Los resultados obtenidos en este estudio, en relación a las UFC/m<sup>3</sup> de aire en las distintas zonas de muestreo, coinciden con otros trabajos donde se reporta que en emisiones de plantas de tratamiento de aguas residuales las concentraciones de bacterias están en rangos de  $1 \times 10^4$  a  $1 \times 10^5$  UFC/m<sup>3</sup> y que estas concentraciones están determinadas por factores como la velocidad del viento, altura y distancia de la fuente y condiciones meteorológicas, lo que podría explicar la mayor concentración de bacterias con el reactor apagado.

En estos estudios se menciona que el límite permisible para bacterias Gram negativas en ambientes ocupacionales es de 1000 UFC/m<sup>3</sup> (31,40).

Sin embargo el riesgo a la salud que implica el número de UFC dependerá del tipo de bacterias, el tiempo de exposición y vía de entrada de estas al organismo (24).

Está demostrado que las condiciones ambientales como la temperatura, humedad y la radiación son factores que alteran la tasa de mortalidad bacteriana y por lo tanto el riesgo a la salud que estas representan. Además indican que la pérdida de viabilidad para bacterias no patógenas o patógenas oportunistas, que se encuentran con frecuencia en ambientes extramuros es de algunas horas. En cambio para bacterias patógenas es de tan sólo algunos segundos o minutos (31,32). A pesar de esto, algunos microorganismos tienen una extraordinaria habilidad de adaptación y sobrevivencia ya que llegan a ser capaces de completar su ciclo biológico en el aire mismo, aún a pesar de las condiciones extremas a las que se encuentran expuestos (24).

En el caso de las vías respiratorias se ha comprobado que el 99.8% de los microorganismos contenidos en el aire, quedan retenidos en las mucosas respiratorias, lo que no implica una disminución total del riesgo a la salud, ya que estas mucosas pueden funcionar como puntos de concentración microbiana, que en caso de aquellos altamente patógenos, representa un riesgo importante a la salud (24).

Para nuestro estudio, aunque la diversidad de morfotipos bacterianos no es muy grande, la presencia de *Salmonella* y *Shigella*, representan un riesgo a la salud.

Para el caso de *E.coli* que representa en este estudio el 77% de los hallazgos bacterianos, aunque es considerada como flora normal las pruebas bioquímicas disponibles en este estudio, no nos permitieron discriminar la presencia de variedades de *E coli*, dentro de las cuales tenemos algunas altamente patógenas.

Con respecto a las bacterias consideradas como oportunistas, el nivel de riesgo que estas representan para la población, dependerá de las condiciones generales de salud que presenten las personas expuestas a estas (24).

En relación a los resultados de la concentración de bacterias por metro cúbico de aire respirado por las personas en una jornada de trabajo de 8 horas en la zona crítica de este estudio, esta rebasa los límites máximos permisibles establecidos en estudios similares (31).

De acuerdo a los datos obtenidos en este estudio la zona donde se encuentran la mayor concentración de bacterias en el aire es la zona media donde se localizan la mayor parte de los edificios del CUCBA y por lo tanto la mayoría de la población universitaria, seguida de la zona proximal a la planta de tratamiento por lo que al parecer los factores ambientales y de distancia antes mencionados pueden estar influyendo directamente en los niveles de bacterias en el aire. Además esta zona incluye actualmente el área de puestos de comida pudiéndose generar una probable contaminación de los alimentos que ahí se expenden.

Es interesante mencionar que los registros del servicio médico del CUCBA reportan una mayor incidencia de enfermedades gastrointestinales y respiratorias en el personal que labora en la zona media, en comparación con el personal que se encuentra en la zona distal y proximal.

Los datos anteriores nos indican que es probable que aunque nuestros resultados muestran altas concentraciones de bacterias en el aire en algunas de las zonas de estudio, estas pierdan su viabilidad y por lo tanto el riesgo a la salud este reducido.

Cabe mencionar, que en la actualidad existen nuevos edificios que rodean prácticamente la planta de tratamiento del CUCBA, por lo que la zona de influencia de la planta de tratamiento es mayor, aumentando con esto el riesgo potencial a la salud al que están expuestos las personas que ahí se encuentren.

## X. CONCLUSIONES.

1. La planta de tratamiento de aguas residuales del CUCBA trabaja con un 78% de eficiencia en función a la carga contaminante para lo que fue diseñada.
- 2.- Los procesos de control de calidad del agua no están operando satisfactoriamente, debido a que no existe personal capacitado en este procedimiento tecnológico.
- 3.- Los puntos críticos de control en el proceso son:
  - Regulación de la carga contaminante hacia el reactor biológico, ya que la carga contaminante que recibe actualmente no es suficiente para que el proceso se lleve a cabo eficientemente.
  - Control del tiempo adecuado de retención en el reactor así como tiempos de aireación de acuerdo a la carga contaminante recibida.
  - Control del tiempo adecuado del agua en el clarificador, con el fin de disminuir los niveles de sólidos en el sobrenadante del digestor.
  - Aplicación y control de hipoclorito de sodio en el agua tratada eliminando la contaminación microbiológica.
- 4.- El efluente de la planta no cumple con los límites máximos permisibles que establece la NOM-001-ECOL-1996 para grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales y nitrógeno total, así como también presenta contaminación por coliformes fecales por lo que no cumple con las características de agua para riego para lo que fue diseñada la planta.
- 5.- Al no encontrarse sustancias tóxicas en el efluente de la planta, el vertido de este en el pozo de absorción no representa una posible contaminación ambiental. Para el caso de las bacterias encontradas en dicho efluente, el riesgo de contaminación microbiológica dependerá de la sobrevivencia de estas en relación con las características del suelo y la profundidad a la que se encuentran los mantos freáticos.
- 6.- Las características técnicas de la planta, diseñada para tratar aguas de origen doméstico, le impiden procesar aguas residuales que contienen contaminantes tóxicos provenientes de los laboratorios y que generan un impacto en los procesos biológicos.
- 7.-La presencia de *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Klebsiella* y *Enterobacter* en las muestras de aire coinciden con los encontrados en los bioaerosoles provenientes de plantas de tratamiento, lo que representa un riesgo a la salud para la población del CUCBA y este dependerá del tipo de bacteria, tiempo de exposición, vía de entrada al organismo y condiciones fisiológicas del individuo que lo hagan más vulnerable.

8.-La concentración de bacterias por metro cúbico de aire respirado por las personas en una jornada de trabajo de 8 horas en la zona media de este estudio, rebasa los límites máximos permisibles establecidos en estudios similares tomados como referencia ai no existir normas al respecto en México, lo que implica que las personas que laboran en esta zona sean más vulnerables a la presencia de las bacterias.



## XI. RECOMENDACIONES:

- A. Contar con personal calificado para el manejo de la planta de tratamiento de aguas residuales, con el fin de que cada uno de los procesos unitarios se realice adecuadamente.
- B. Establecer un programa de seguimiento y control de la planta que garantice la eficiencia del proceso monitoreando cada uno de los puntos críticos de control identificados en este estudio.
- C. Debido a la naturaleza del agua a tratar es indispensable conocer las condiciones reales de los lodos en el reactor para valorar de qué manera están siendo afectados por los tóxicos presentes en el agua y decidir si es necesario un pretratamiento del agua residual antes de ingresar al reactor.
- D. Instalar un sistema que impida que los aerosoles generados por la planta de tratamiento se dispersen por las zonas del Centro Universitario que la rodean y así reducir los riesgos a la salud derivados de este proceso.
- E. Realizar un estudio epidemiológico para la población del CUCBA con el fin de correlacionar la presencia de patógenos en el aire con las patologías más frecuentes en dicha población.
- F. Realizar análisis microbiológicos de los alimentos que se expenden al aire libre en la zona media del CUCBA con el fin de reducir los riesgos a la salud por la ingestión de estos.

## XII. BIBLIOGRAFIA

- 1.- GARCÍA V.J. ET AL. (1996). Proyecto: Evaluación de riesgo en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Diagnóstico de la calidad del agua. Universidad de Guadalajara.
- 2.- LÓPEZ ILLÁN, Y. (2001). Evaluación de la calidad del agua e identificación de riesgos a la salud en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (marzo de 1998 a febrero de 1999). Tesis profesional. Maestría en Ciencias de la Salud Ambiental. U de G.
- 3.-YASSI, A. (2000).Salud Ambiental básica Cap.6.
4. FILIPKOWSKA Z. (2000). Microbiological air pollution in the surroundings of the wastewater treatment plant with activated-sludge tanks aerated by horizontal rotors. Polish Journal of Environmental Studies. 9(4):273-280.
- 5.-Norma Oficial Mexicana NOM-001- ECOL- 1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Salud. Diario Oficial.
- 6.- Microscopia de la depuración biológica. SEAR.S.A.
- 7.-SANTOS BURGOA ET AL. (1998). La Salud Ambiental en México. Perspectivas en la Salud Pública.
- 8.- GARCIA VELASCO J.(1992). Evaluación de la Depuración de Aguas Residuales en la Comunidad Foral de Navarra. Tesis de Maestría. Universidad de Navarra.
- 9.-DONZIER, JEAN F. (2000). Primera reunión nacional de consejos de cuenca. Las tendencias en la gestión moderna del agua. Comisión Nacional del Agua. México, D.F.
- 10.- BUSTANIO A.A. (1999). México y su problemática ambiental referente al recurso agua. Centro de calidad Ambiental ITESM.
- 11.- BUSTANIO A.A. (1987). Uso sustentable del agua en México. Centro de calidad Ambiental ITESM.
- 12.-SHEPPARD T. POWENÑ. (1988). Manual de Agua para usos industriales, Ediciones Ciencia Técnica, S.A. 1a. edición. Volúmenes 1 al 4. México.
- 13.- <http://semades.Jalisco.gob>. (2002).
- 14.- Manual Técnico de la planta de tratamiento del CUCBA. (1997).

- 15.-FERNANDEZ ALONSO.M.(1992). Curso de Aguas Residuales. Técnicas de Análisis y Evaluación por Métodos químicos y espectofotométricos.Colegio Oficial de Farmacéuticos de Valencia y Laboratorio ANAYCO. Valencia, España.
- 16.-SEOANEZN CALVO M. (1996). Ingeniería del Medio Ambiente Aplicada al Medio Continental. Ediciones Mundi-Prensa.Madrid España. p.p.324.
- 17.-GORDON M. FAIR. JOHN C. GEYER, DANIEL A. OKUM.(1971). Ingeniería Sanitaria y Aguas Residuales. Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Limusa Wiley. México.
- 18.-METCALF AND EDDY. (1994). Ingeniería Sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor. 3a. Edición. Colombia.
- 19.-SVATAVA VAN, K., JAN KUPEC AND JAROMO. (2001). Toxicity of Chromium to Activated Sludge. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 49, 40-53.
- 20.-NACHTOMI, E. LIPSTEIN, B. KARY, S. (1989). Toxicological aspects of activated sludge feeding. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*. Vol. 43, No 6, pp. 879-885.
- 21.- AL-RAWI, S.M. (1997). Field evaluation of activated sludge system. *Journal of Environmental Science & Health, Part A: Environmental Science & Engineering & Toxic & Hazardous Substance Control*. Vol A32, No. 4, pp. 1099-1108.
- 22.- J.V. ABRAHAM-PESKIR, R.D. BUTLER AND D.C. SIGGE. (1997). Seasonal Changes in Whole-Cell Metal Levels in Protozoa of Activated Sludge. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 38, 272-280.
- 23.-GORDON M. FAIR, JOHN CH. GEYER.(1988). Ingeniería Sanitaria de aguas residuales. Limusa, México.
- 24.- PIATKIN K.D. , KRIVOSHEIN YU.S. (1981). Microbiología (con virología e inmunología). 2ª. Edición. Editorial Mir. Moscú.
25. G. GARLETS .S. REYNOLDS, S. MAHAR, (1996) .Characterization of Bioaerosols in Work Areas at Two Refuse-Derived Fuel (Rdf) Facilities., University of Minnesota, Minneapolis,
- 26.- HAMEED AWAD.A. (2000). Biocontaminantes y niveles de polvo suspendido en el aire en el interior del edificio de la Escuela de Orman. Centro nacional de Investigaciones Dokki, Egipto.

- 27.- MARISCAL, L.A. ET AL. (1995). Estudio Sanitario del Agua. Universidad de Valencia España.
- 28.-BRANDI G. SISTI M. (2000). Evaluation of the environmental impact of microbial aerosols generated by wastewater treatment plants utilizing different aeration systems. *Journal of applied Microbiology*. 88(5): 845-852.
- 29.-CARDUCCI.A.TOZZI E. (2000). Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment. *Mater Research*.34(4):1173-1178.
- 30.-SHUVAL,H.I. WAX,Y. (1989). Transmission of enteric disease associated with wastewater irrigation: A prospective epidemiological study. *American Journal of Public Health*. Vol 79.no.10, pp. 850-852.
- 31.-SANTOS-BURGOA ,C., ROJAS-BRACHO, L. (1992). Método para estimar el riesgo poblacional atribuible a una estación de transferencia de desechos sólidos municipales. *Salud Pública de México*. Septiembre-October, Vol.34, No.5
32. L. ROBERTSON. (1996). Monitoring Viable Fungal and Bacterial Bioaerosol Concentrations to Identify Acceptable Levels for Common Indoor Environments. Mycotech Biological, Inc. American Industrial Hygiene Association. <http://www.aiha.org/abstract/6evalbio.html>
- 33.- HARTE,J.,HOLDREN,C. (1995). Guía de las sustancias contaminantes. El libro de los tóxicos de la A a la Z. Ed. Grijalbo. México, D.F.
- 34.- SOLÓRZANO H.G. (1999). El riesgo por sustancias peligrosas en los laboratorios del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. Tesis profesional. U de G.
- 35.- APHA, AWWA, WPCF. (1995). Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater.U.S.A. 19a. Edición. E.U.A.
- 36.-Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980 "CUERPOS RECEPTORES, MUESTREO ", publicado en el Diario Oficial de la Federación el viernes 27 de agosto de 1980.
- 37.-Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA-1993 "PROCEDIMIENTOS SANITARIOS PARA EL MUESTREO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PÚBLICOS Y PRIVADOS", publicado en el Diario Oficial de la Federación el viernes 12 de agosto de 1994.
- 38.-RUVALCABA L. (1996). Enterobacterias en el aire circulante del canal de aguas negras" Río San Juan de Dios" Guadalajara. Tesis de Maestría. U de G.
- 39.-GARCIA VELASCO J. (1992). Evaluación de la depuración de aguas residuales en Navarra. Instituto de Salud Pública. Pamplona. España.

40.- DOBBINS RA. (1979) .Atmospheric motion and air pollution. New York: John Wiley & Sons. 219-227.

41.- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.(1991). Salud Ambiental en el Desarrollo Urbano. Serie de Informes Técnicos.

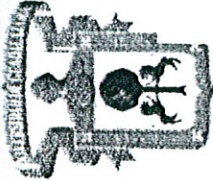
42.- TORTORA. FUNKE. CASE. (1995). Microbiology An Introduction. 5ª. Ed. Benjamin Cummings Ed. E.U.A.

43-ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. (1987).” Guías para la calidad del agua potable”. Volumen I. Recomendaciones.

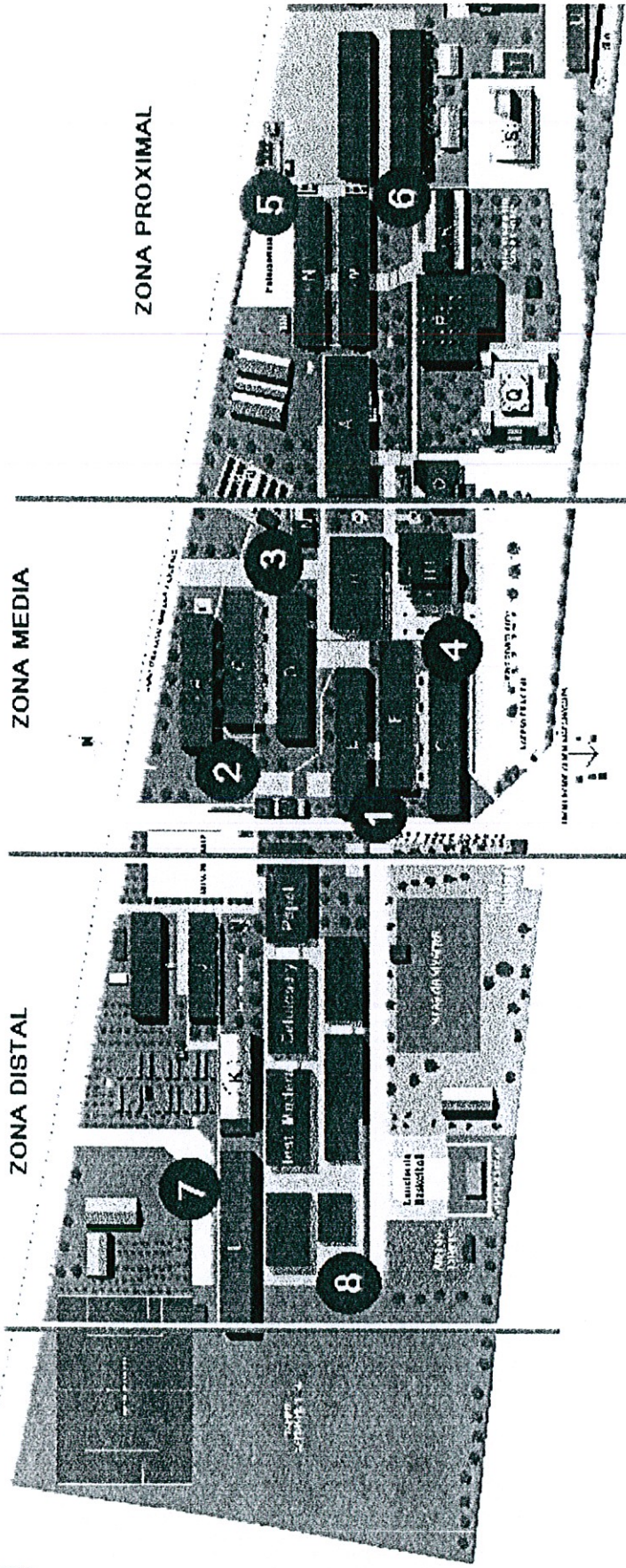
44.- FERNANDEZ A.M. (1992). Memorias del Curso de Aguas Residuales. M.I. Colegio Oficial de Farmaceúticos de Valencia y Laboratorio Anayco. Valencia España.

## XIII. ANEXOS

**ANEXO I  
CROQUIS DEL CUCBA**



# CENTRO UNIVERSITARIO DE CS. BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS



## EDIFICIOS

- A. DIV. DE CS. AGRONOMICAS, DIV. DE CS. VETERINARIAS, DIV. DE CS. BIOLÓGICAS, COORD. DE SERVICIOS GENERALES, COORD. DE POSGRADO, COORD. DE INVESTIGACION, UNIDAD DE EDUCACION ABIERTA Y A DISTANCIA, UNIDAD DE SERVICIO SOCIAL, UNIDAD DE DIFUSION, UNIDAD DE PATRIMONIO, UNIDAD DE PROTECCION CIVIL Y UNIDAD DE ZOOLOGIA.
- B. DEPTO DE CS. AMBIENTALES, INST. DEL MEDIO AMBIENTE Y COMUNIDADES HUMANAS, LAB. DE ENSEÑANZA EN SALUD AMBIENTAL, SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA, CUBICULOS PROFESORES, MAESTRIA EN CS. DE LA SALUD AMBIENTAL, MAESTRIA EN EDUCACION AMBIENTAL Y BAÑOS.
- C. VIDEO AULA, COMITÉ ESTUDIANTIL DE BIOLOGIA Y AULAS.
- D. DEPTO. DE PRODUCCION FORESTAL, CENTRO DE ESTUDIO DEL MEDIO FISICO, LAB. DE CS. BASICAS, LAB. DE ZOOLOGIA, CUBICULO PROFESORES, ALMACEN DE EQUIPO TOPOGRAFICO, AULAS Y BAÑOS GENERALES.
- E. UNIDAD DE TRANSPORTE, LAB. DE SUELOS Y AGUA, LAB. DE MUESTRAS, COMITÉ ESTUDIANTIL DE AGRONOMIA, LAB. DE DOCENCIA DE CS. AMBIENTALES Y AULAS.
- F. DEPTO. DE PRODUCCION ANIMAL, AREA DE DOCENCIA, LAB. DE NUTRICION ANIMAL, COMITÉ ESTUDIANTIL DE VETERINARIA, CENTRO DE COPIADO, AULAS Y BAÑOS.
- G. DEPTO. DE PRODUCCION AGRICOLA, LAB. DE BOTANICA, LAB. DE ANALISIS DE SEMILLAS, LAB. DE TAXONOMIA DE INSECTOS, LAB. DE ENTOMOLOGIA, LAB. DE PARASITOLOGIA VEGETAL, LAB. DE FITOPATOLOGIA, CUBICULO DE PROFESORES Y AULAS.
- H. COORD. DE CONTROL ESCOLAR, ARCHIVO DE LA COORD. DE CONTROL ESCOLAR, COORD. DE LA CARRERA DE AGRONOMIA, COORD. DE LA CARRERA DE VETERINARIA, COORD. DE LA CARRERA DE BIOLOGIA, COORD. DE LA CARRERA DE TÉCNICO SUPERIOR UNIVERSITARIO, ARCHIVO DE LAS COORDINACIONES DE LAS CARRERAS, UNIDAD DE NOMINA, UNIDAD MEDICA Y BAÑOS.
- H1. RECTOR, SECRETARIA PARTICULAR, SECRETARIA ACADEMICA, SECRETARIA ADMINISTRATIVA, COORD. DE FINANZAS, COORD. DE PERSONAL, COORD. DE SERVICIOS ACADEMICOS, UNIDAD DE PERSONAL ACADEMICO, UNIDAD DE ADMINISTRATIVO, UNIDAD DE BECAS E INTERCAMBIOS, UNIDAD DE SUMINISTROS UNIDAD DE CONTABILIDAD, UNIDAD DE PRESUPUESTO, RECEPCION Y BAÑOS.
- I. INST. DE BOTANICA Y ZOOLOGIA, LAB. DE BIOTECNOLOGIA, LAB. DE ECOSISTEMATICA, LAB. DE CULTIVO "IN-VITRO", CULTIVO DE GRANA O COCHINILLAS, LAB. DE FICOLOGIA, HERBARIO DE DOCENCIA, CENTRO DE ESTUDIO DE ZOOLOGIA, CUBICULO PROFESORES, DIBUJO CIENTIFICO Y BAÑOS.
- I1. CAFETERIA BOTANICA Y ZOOLOGIA
- J. LAB. DE ETNOBOTANICA, LAB. DE PALINOLOGIA, LAB. DE CACTOLOGIA, LAB. DE MICOLOGIA, SALA DE MONTAJE, RECEPCION HERBARIO, HERBARIO I II
- K. SALA DE CULTIVO DE HONGOS, INVERNADERO Y BODEGA.
- L. DEPTO. DE BIOLOGIA MOLECULAR Y CELULAR, DEPTO. DE ECOLOGIA TERRESTRE, LAB. DE GENETICA, LAB. DE ECOSISTEMAS, VEGETAL, LAB. DE MICROBIOLOGIA, LAB. DE NEUROCIENCIAS, LAB. NATURALES, AREA COMUN CUBICULOS Y BAÑOS.
- M. DEPTO. DE SALUD PUBLICA, LAB. DE RESIDUOS TOXICOS I, LAB. DE I LAB. DE MICOTOXICOLOGIA, LAB. DE PARACLINICOS, LAB. DE MICRO PROFESORES, AREA DE SECRETARIAS, AULA Y BAÑOS.
- N. DEPTO. DE VETERINARIA, SALA DE NECROPCIAS, VESTIDORES, PAT ANFITRATRO ANATOMIA I, PRACTICAS FISIOLOGIA, LAB. DE NEURO PARASITOLOGIA, BACTEREOLOGIA INMUNOLOGIA I, CUBICULOS DELEGACION ACADEMICA DE AGRONOMIA, DELEGACION ACADEMICA DE BIOLOGIA, SALA DE JUNTAS, RECEPCION Y BAÑOS.
- Ñ. CAFETERIA UNIVERSITARIA.
- O. UNIDAD DE BIBLIOTECA, AREA DE AUTO APRENDIZAJE, AREA DE AC UNIDAD DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO Y AUDITORIO DE US COORDINACION DE TECNOLOGIAS PARA EL APRENDIZAJE, UNIDAD COMPUTO Y TELECOMUNICACIONES PARA EL APRENDIZAJE, ALMA ALMACEN GENERAL Y BANCO DE GERMOPLASMA Y CIPROS.
- S. APICULTURA QUEEPA.
- T. BODEGA DE FORRAJES, AULAS Y BAÑOS GENERALES.
- U. REPRODUCCION Y GENETICA ANIMAL.
- V. BOVINOS.
- W. BORREGOS Y CAPRINOS.
- X. Y. AREA DE ALIMENTACION DE ANIMALES.
- Z. PORQUERIZAS.
- Z1. LABORATORIO DE INSECTOS BENEFICOS.
- Z2. SUBESTACION ELECTRICA, AGUA, GAS Y GENERADOR ELECTRICO.



**ANEXO II**  
**RESULTADOS DEL ESTUDIO PILOTO EN AGUA**

## RESULTADOS DEL ESTUDIO PILOTO EN AGUA.

Se realizó un estudio piloto con el fin de conocer las condiciones generales de la planta y plantear los muestreos posteriores.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que con base a los límites máximos permisibles que establece la NOM-001-ECOL-1996 los sólidos suspendidos totales, el DBO<sub>5</sub>, la turbidez y el color se encuentran fuera de norma. De estos parámetros llama la atención los sólidos suspendidos totales (Tabla 24).

Tabla 24. Parámetros fuera de la NOM-001-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Parámetros	Agua Residual	Agua Tratada
Temperatura °C	23	23
Grasas y Aceites ppm	5.9	<0.1
Sólidos sedimentables ml/lit	1.8	<0.1
Sólidos suspendidos totales ppm	144.0	1,006.0
DBO <sub>5</sub> ppm	2,253	504
PH	6	7
Turbidez UTN	74	6.3
Color UPC	348	132
Nitrógeno amoniacal mg/lit	46.76	29.12
Arsénico ppm	0.836	<0.0419
Plomo ppm	<0.0109	<0.0109

**ANEXO III  
RESULTADOS DEL ESTUDIO PILOTO EN AIRE**

### RESULTADOS DE LA PRUEBA DE EXPOSICIÓN PARA LA DETERMINACIÓN NORMALIZADA DE LOS TIEMPOS DE EXPOSICIÓN.

Tabla 25. Resultados del estudio piloto en aire.

Fecha	Lugar	Hora	Tiempo De Exposición Minutos	UFC Mesófilos	Observaciones
29/04/2002	1	12:00	5	8	28 grados centígrados
	1	12:00	10	34	
	1	2:00	5	82	
	1	2:00	10	117	33 grados centígrados
	2	12:00	5	13	
	2	12:00	10	15	
	2	2:00	5	125	
	2	2:00	10	134	
	3	12:00	5	67	
	3	12:00	10	147	
	3	2:00	5	29	
	3	2:00	10	57	
	4	12:00	5	48	
	4	12:00	10	73	
	4	2:00	5	64	
	4	2:00	10	70	

Fecha	Lugar	Hora	Tiempo De Exposición Minutos	UFC Mesófilos	Observaciones
6/05/2002	1	12:00	5	1203	25 grados centígrados
	1	12:00	10	Inc*	
	1	2:00	5	308	29 grados centígrados
	1	2:00	10	645	
	2	12:00	5	16	
	2	12:00	10	28	
	2	2:00	5	52	
	2	2:00	10	96	
	3	12:00	5	42	
	3	12:00	10	54	
	3	2:00	5	34	
	3	2:00	10	116	
	4	12:00	5	67	
	4	12:00	10	112	
	4	2:00	5	138	
	4	2:00	10	231	

- Inc= incontables

Fecha	Lugar	Hora	Tiempo De Exposición Minutos	UFC Mesofilos	Observaciones
16/05/2002	1	12:00	5	273	26 grados centígrados
	1	12:00	10	Inc*	
	1	2:00	5	0	
	1	2:00	10	0	29 grados centígrados
	2	12:00	5	588	
	2	12:00	10	808	
	2	2:00	5	0	
	2	2:00	10	0	
	3	12:00	5	272	
	3	12:00	10	324	
	3	2:00	5	0	
	3	2:00	10	0	
	4	12:00	5	720	
	4	12:00	10	Inc*	
	4	2:00	5	0	
	4	2:00	10	0	

\*Inc = incontables

NOTA:

12:00 reactor activado

2:00 reactor no activado

**ANEXO IV  
CALCULO DE UFC RESPIRADAS POR JORNADA  
DE TRABAJO**

Volumen de aire respirado por una persona en 24 hrs. 13,000 lt.  
Volumen de aire respirado por una persona en 8 hrs. 4,333 lt.

$$1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ lt}$$

$$4,333 \text{ lt} = 4.33 \text{ m}^3$$

Tabla 26: Unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire respirado en cada una de las zonas del CUCBA.

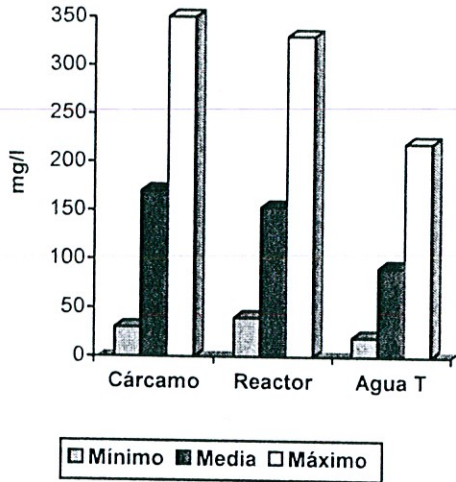
ZONA	UFC/ m <sup>3</sup> DE AIRE RESPIRADO	
	Activado	Desactiv.
Proximal	41,052	58,957
Media*	70,457	90,852
Distal	5,702	9,980

## **ANEXO V**

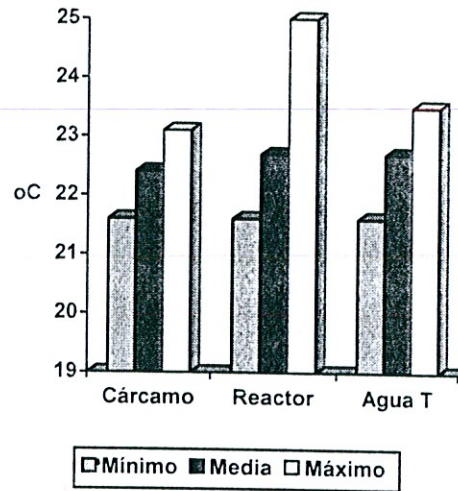
# **ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE PARÁMETROS DE CALIDAD ESTUDIADOS EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL CUCBA.**



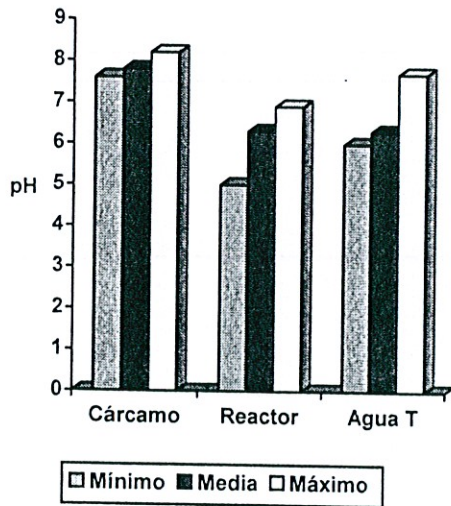
**Demanda Química de Oxígeno**



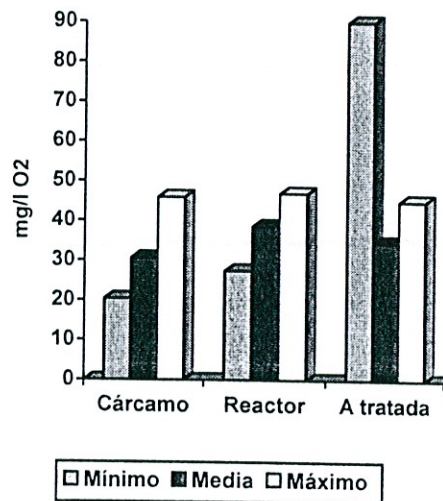
**Temperatura**



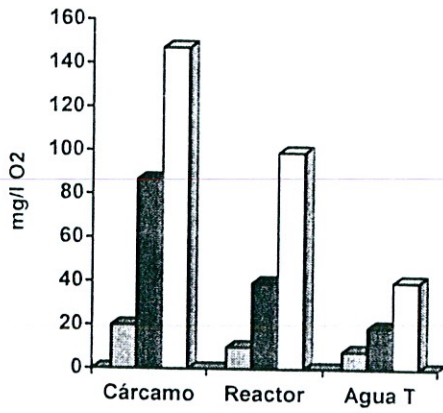
**pH**



**Oxígeno Disuelto**

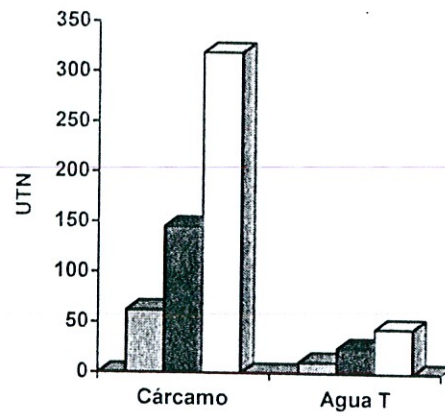


DBO<sub>5</sub>



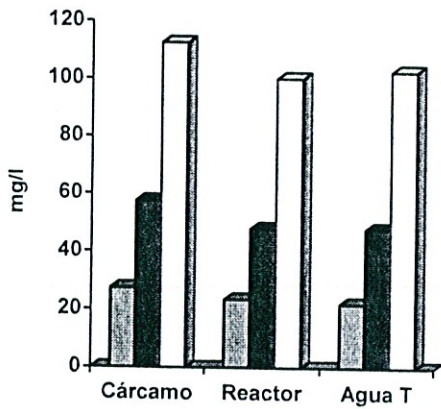
□ Mínimo ■ Media □ Máximo

Turbiedad



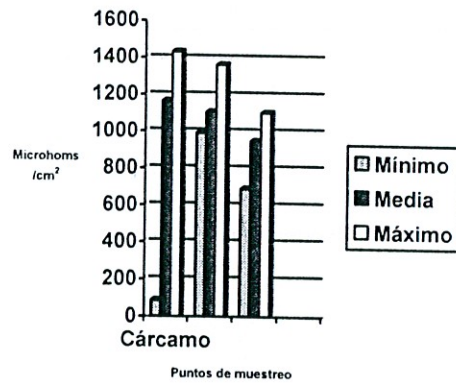
□ Mínimo ■ Media □ Máximo

Cloruros



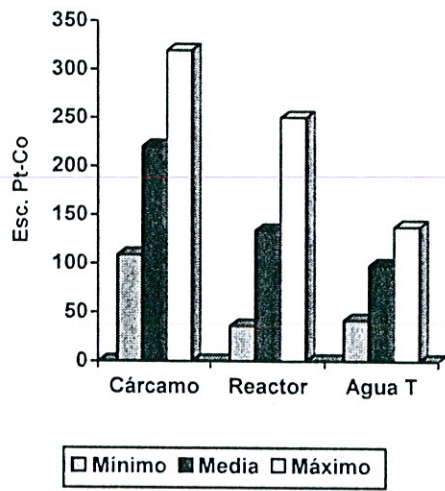
□ Mínimo ■ Media □ Máximo

Conductividad

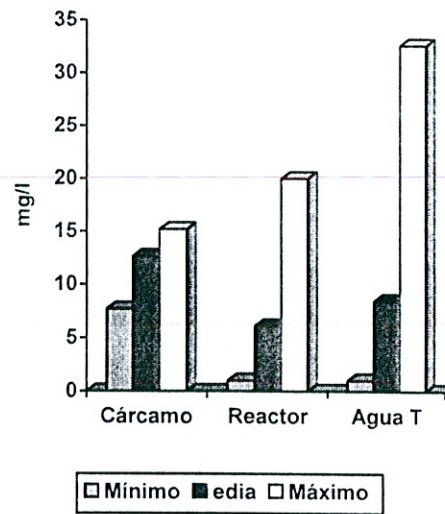


□ Mínimo ■ Media □ Máximo

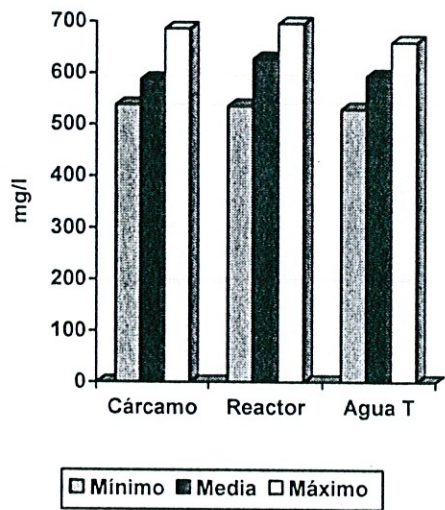
**Color**



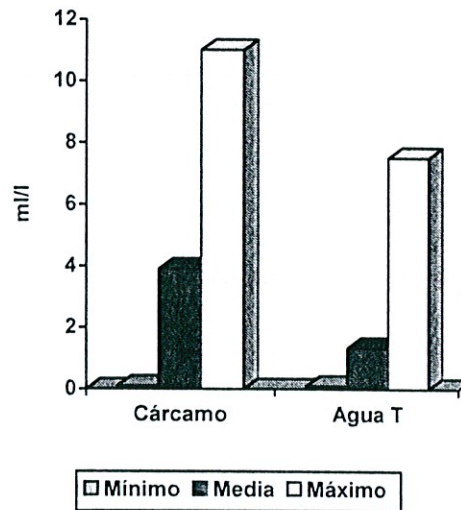
**Grasas y Aceites**



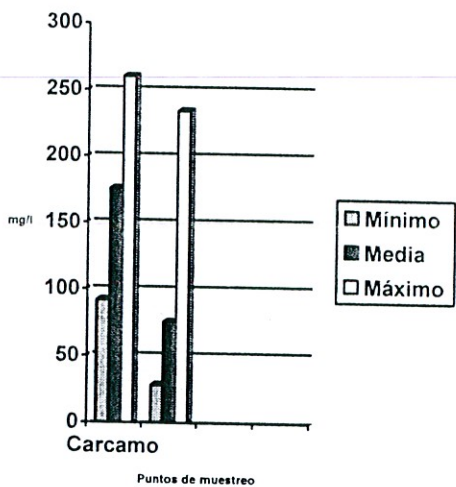
**Sólidos Disueltos Totales**



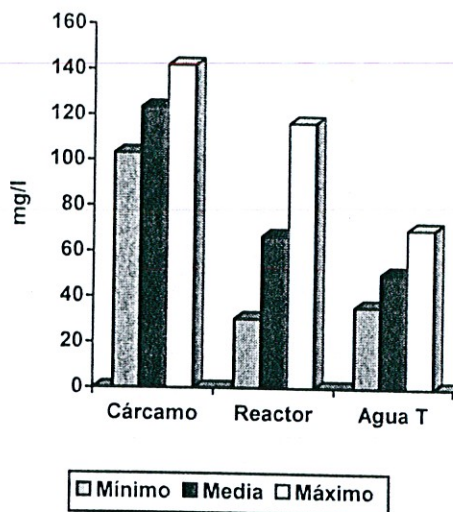
**Sólidos Sedimentables**



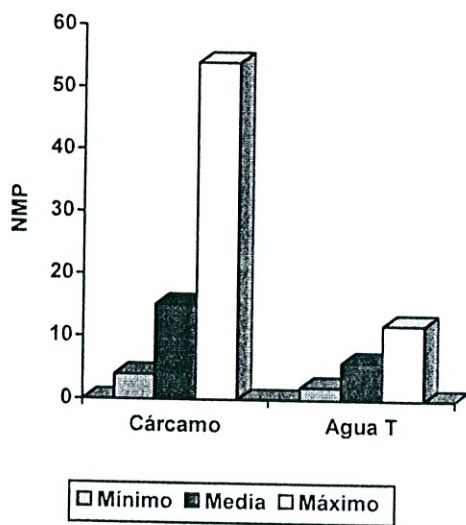
Sólidos Suspendidos Totales



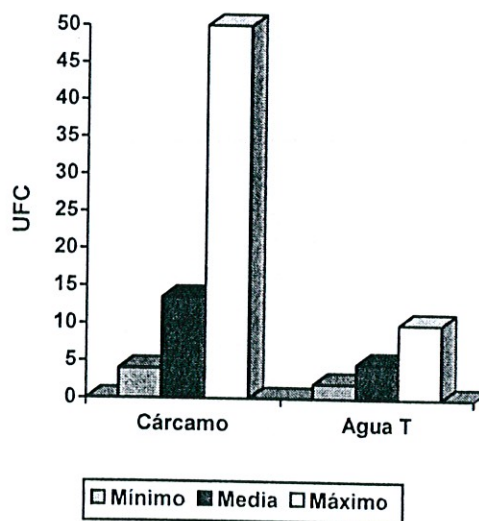
Nitrogeno Total



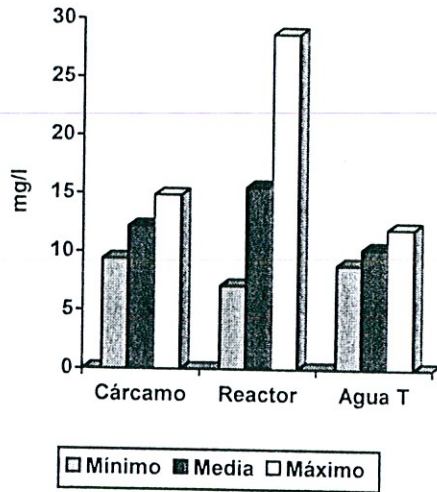
Coliformes Totales



Coliformes Fecales



### Fosforo Total



**ANEXO VI  
FOTOGRAFIAS**

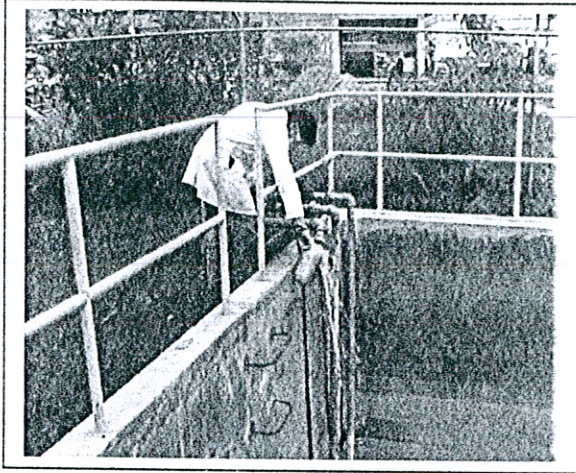


Foto 1. Muestreo en el cárcamo.



Foto 2. Muestreo en el reactor biológico.



Foto 3. Muestreo de agua tratada

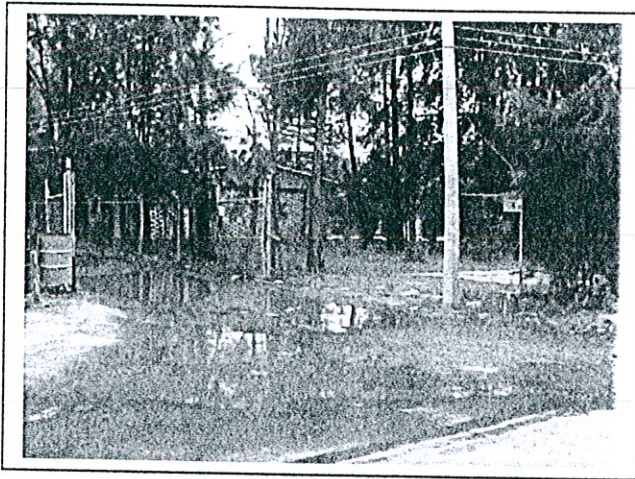


Foto 4. Muestreo de aire Edificio Instituto Madera Celulosa y Papel. Sitio 1

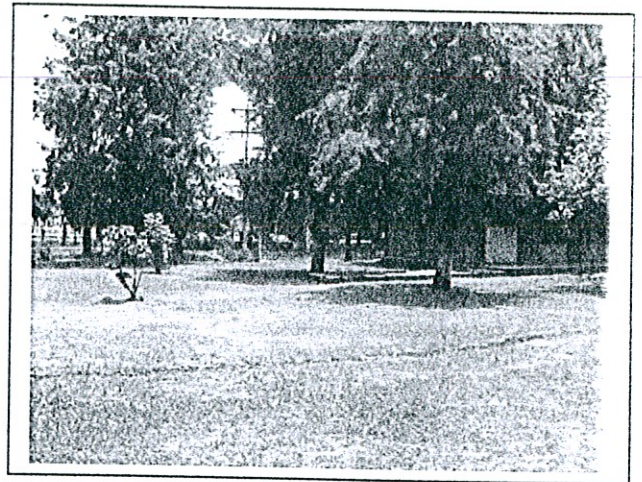


Foto 5. Muestreo de aire. Edificio B. Sitio 2.

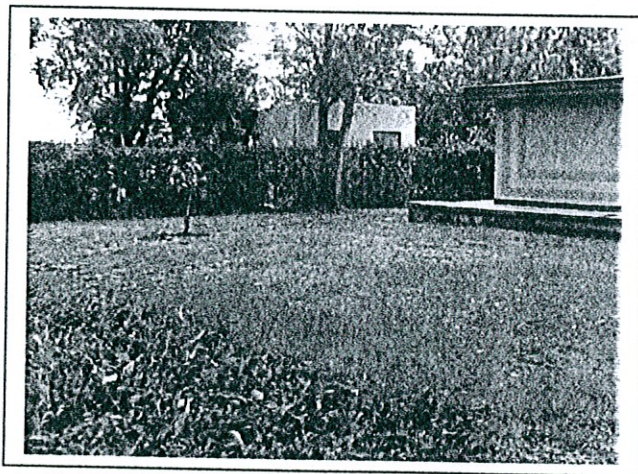


Foto 6. Muestreo de aire Edificio N. Sitio 3.

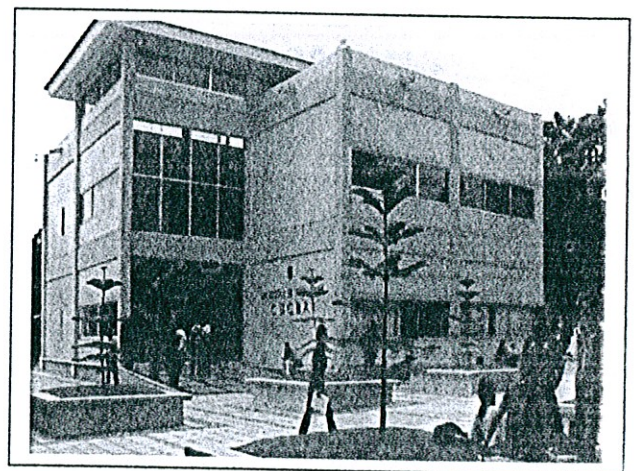


Foto 7. Muestreo de aire Edificio de Rectoría CUCBA. Sitio 4



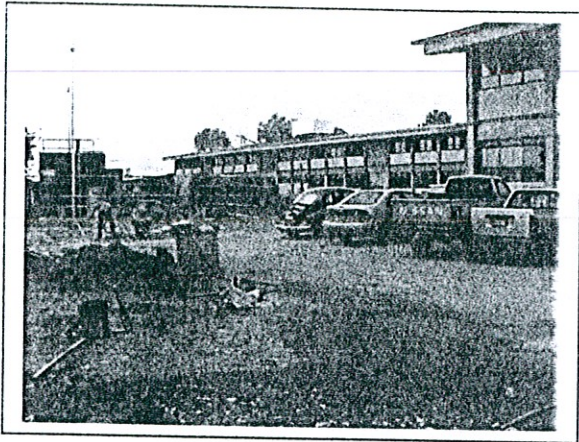


Foto 8. Muestreo de aire Edificio N .Sitio 5.

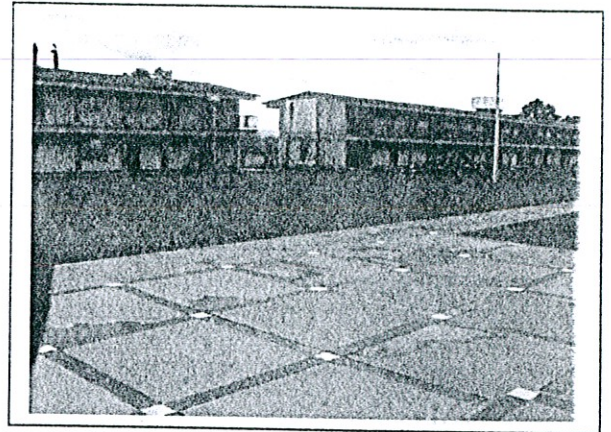


Foto 9. Muestreo de aire Centro de Cómputo. Sitio 6.

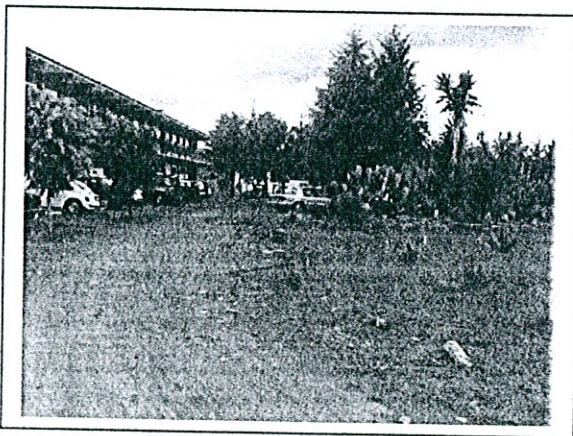


Foto 10. Muestreo de aire Edificio L. Sitio 7.



Foto 11. Muestreo de aire Canchas. Sitio 8.