

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERIA



**CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA ZONA
SALTILLO-RAMOS ARIZPE, COAHUILA**

**POR:
ISAÍAS MONTEJO LÓPEZ**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO
DE:
INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
NOVIEMBRE DE 2003**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE SUELOS**

**CARACTERIZACION DE AGUAS RESIDUALES DE LA ZONA
SALTILLO-RAMOS ARIZPE, COAHUILA**

**POR:
ISAÍAS MONTEJO LÓPEZ**

**TESIS
QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:
ING. AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

**DR. EDMUNDO PEÑA CERVANTES
PRESIDENTE DEL JURADO**

**M.C. SILVIA TORRES RINCÓN
SINODAL**

**M.C. EMILIO RASCON ALVARADO
SINODAL**

**M.C. LUIS EDMUNDO RAMÍREZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERIA**

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por llenarme de bendiciones desde mi nacimiento hasta ahora con una vida llena de retos y libertades, asimismo por darme la oportunidad de completar una página más de mi vida.

Un agradecimiento especial al Dr. Edmundo Peña Cervantes, por el gran interés y enorme apoyo que prestó durante la elaboración, revisión, corrección y conducción al buen término del presente trabajo.

Al M.C. Emilio Rascón Alvarado, por su apoyo, confianza y sus oportunas observaciones para la realización de esta investigación.

Al L.C.Q. José Luis Saucedo, por su gran apoyo técnico, así como permitir el acceso y uso de infraestructura de la Gerencia de Estudios Ambientales del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), durante el desarrollo práctico de la presente tesis.

A la M.C. Silvia Torres Rincón, por su valiosa participación en la revisión, coordinación y obtención de datos para la finalización de este documento.

Agradezco a los responsables de pruebas de la Gerencia de Estudios Ambientales: Q.F.B. Myriam Lozano, L.C.Q. Irma Y. Angulo, M.C. Federico Cerda y a la Lic. Noemí Cantú, a todos por el excelente trabajo realizado; que sin ellos se hubiera dificultado las determinaciones realizadas en el presente.

Al Ing. Carlos Murguía encargado de la planta tratadora de la escuela de forestal por el acceso permitido a la misma a las instalaciones de la misma durante los muestreos realizados en esta investigación.

A mi Alma Mater, por haberme permitido dar un paso más profesionalmente y por darme las bases suficientes para un futuro presente.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización de éste trabajo. A todos gracias.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre Francisco Montejo Méndez y una dedicación muy especial a mi madre Fabiana López Arcos, que juntos me dieron el ser, amor, tolerancia ante todo y que frente a las grandes adversidades tuvieron la sabia decisión de darme este logro que he tenido.

A mis hermanos: Juana, Maria, Rebeca, Gaspar, Francisco, Enoch, Sara, Noé, Moisés y Eunice, que gracias a ellos todo es posible, y juntos han sido y serán mi mejor apoyo.

A mi sobrinos: Xochilt del Rosario, Fco. Uvaldo y Fco. Ervin, con mucho cariño.

A mis cuñadas Mary y Cristy, con gran admiración.

A mis tíos (as), primos (as) y demás familiares.

A una persona muy especial: Verónica Treviño, con mucho amor.

A mis amigos: Rosendo, Reyna, Victorino, Calixto, Salvador, Samuel y Oscar, que sigan superándose.

Y a todos mis compañeros de la carrera.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE CUADROS.....	X
INDICE DE FIGURAS.....	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Hipótesis.....	2
Objetivos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Situación actual del agua	3
2.2 Origen de las aguas residuales.....	4
2.3 Importancia del estudio de la composición del agua.....	4
2.4 Composición de las aguas residuales.....	5
2.4.1 Propiedades físicas	5
a) Sólidos.....	5
a.1) Sólidos sedimentables.....	6
a.2) Sólidos en suspensión.....	6
a.3) Disoluciones coloidales.....	6
a.4) Sólidos disueltos.....	6
b) Color.....	7
c) Olor.....	7
d) Temperatura.....	8
2.4.2 Propiedades químicas	8
a) Conductividad eléctrica (CE)	9
b) Potencial hidrógeno (pH).....	9
c) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	9
d) Cloro residual.....	10
e) Metales pesados.....	11
f) Nitrógeno total.....	12
g) Nitratos.....	12

h) Nitritos.....	13
i) Grasas y aceites.....	13
2.4.3 Composición Biológica.....	14
a) Mohos.....	15
b) Bacterias.....	15
c) Virus.....	16
d) Protozoarios y Metazoarios.....	16
2.5 Tratamiento de aguas residuales.....	17
2.5.1 Generalidades de los tratamientos naturales.....	17
2.5.2 Clasificación de los tratamientos naturales.....	18
a) Procesos biológicos.....	18
b) Proceso aerobios.....	18
c) Sistemas anaerobios.....	18
d) Sistemas de crecimiento adherente.....	19
e) Sistemas mixtos.....	19
f) Sistemas acuáticos.....	19
f.1) Lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	20
g) Sistemas fotosintéticos.....	22
h) Lagunas de oxidación o estabilización.....	22
h.1) Características, ventajas y desventajas.....	24
2.5.3 Sistemas de tratamientos convencionales.....	25
a) Tratamiento previo.....	26
b) Tratamiento primario.....	26
c) Tratamiento secundario.....	27
d) Tratamiento terciario.....	27
2.6.- Usos del agua residual.....	29
a) Aplicación de aguas residuales en la agricultura.....	29
b) Reutilización con fines municipales y recreativos.....	31
c) Reutilización para lavado.....	32
d) Reutilización para refrigeración industrial.....	33
e) Reutilización para producción de biomasa.....	33
f) Producción piscícola	34

2.7 Problemática general de las aguas residuales.....	34
2.7.1- Impactos generados al medio por las aguas residuales.....	35
2.7.2.- Medidas de prevención y protección contra la contaminación por patógenos.....	36
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
3.1.- Ubicación de los lugares de muestreo.....	38
3.2.- Descripción de los lugares de muestreo.....	39
3.2.1.- Laguna de oxidación.....	39
3.2.2.- Planta de tratamiento “Escuela de Forestal”	40
3.2.3.- Canal de aguas residuales de la zona Saltillo-Ramos Arizpe.....	41
3.3.- Sistema de muestreo	42
3.4.- Muestreo.....	42
3.4.1.- cuidados durante y después del muestreo.....	43
3.5.- Métodos empleados para el análisis de las muestras.....	47
3.5.1.- Determinación de las propiedades físicas.....	47
a).- Temperatura.....	47
b).- Sólidos Totales, Suspendidos Totales y Sedimentables.....	47
c).- Color.....	48
3.5.2.- Determinación de propiedades químicas.....	48
a).- Conductividad eléctrica (CE).....	58
b).- Ooxígeno Disuelto (OD).....	48
c).- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	49
d).- Cloro libre residual.....	49
e).- Metales pesados.....	50
f).- Nitratos (Método Sulfato de Brucina).....	51
g).- Nitritos.....	51
h).- Nitrógeno total (Método de Kjeldahl).....	52
i).- Grasas y aceites.....	52
3.5.3 Determinación del contenido biológico.....	53
a).- Número más probable de coliformes totales.....	53

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	54
4.1.- Parámetros Determinados.....	55
a).- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	55
b).- Potencial Hidrógeno (pH).....	56
c).- Conductividad Eléctrica (C.E).....	57
d).- Coliformes Totales y Fecales.....	58
e).- Grasas y Aceites.....	59
f).- Temperatura.....	60
g).- Nitrógeno Total (Kjeldahl).....	61
h).- Nitratos.....	62
i).- Nitritos.....	63
j).- Metales Pesados.....	64
k).- Sólidos Totales.....	66
l).- Sólidos Suspendedos Totales.....	67
m).- Sólidos Sedimentables.....	68
n).- Cloro Libre Residual.....	68
V. CONCLUSIONES.....	70
VI. RECOMENDACIONES.....	73
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	75
VIII. APÉNDICE	79

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Composición típica de agua residual doméstica.....	5
2. Composición media de sólidos en agua residual doméstica.....	7
3. Valores típicos de DBO para aguas de diferente calidad.....	10
4. Algunas enfermedades de importancia sanitaria.....	15
5. Algunos enfermedades virales de importancia sanitaria.....	16
6. Aplicaciones de los procesos químicos en el tratamiento del agua residual.....	28
7. Evolución de algunos contaminantes después de haber sido aplicados a un suelo.....	31
8. Resumen de las consideraciones en el muestreo, de acuerdo a las Normas Mexicanas correspondientes.....	44
9. Plantas de tratamiento en operación de aguas residuales municipales, capacidad instalada y volumen tratado.....	79
10. Descargas y volumen de aguas residuales a cuerpos receptores De control federal por origen en el estado de Coahuila.....	80
11. Plantas de tratamiento en uso, capacidad instalada, volumen de Tratamiento de aguas residuales en el estado y municipios de Coahuila.....	81
12. NOM-001-SEMARNAT-1996.....	82
13. NOM-003-SEMARNAT-1997	84
14. Resultados de análisis de las aguas muestreadas	85

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1.- Proceso inicial hacia la laguna de oxidación.....	39
2.- Cultivo de carrizos y lirios de la planta tratadora.....	39
3.- Laguna de oxidación.....	39
4.- Sistema de tratamiento en la Escuela de Forestal.....	39
5.- Depósito de cloración.....	40
6.- Depósito de cloro.....	40
7.- Cisterna y sitio de muestreo en la planta.....	40
8.- Acceso al Arroyo.....	41
9.- Flujo turbulento del arroyo.....	41
10.- Sitio de muestreo en el arroyo.....	41
11.- Diferencias en la DBO en los diferentes muestreos.....	55
12.- Variaciones de pH de las aguas muestreadas.....	56
13.- Variaciones de la C.E de las aguas muestreadas.....	57
14.- Variaciones en coliformes durante los muestreos realizados.....	58
15.- Variaciones en grasas y aceites en los diferentes muestreos.....	59
16.- Cambios de temperatura durante los muestreos realizados.....	60
17.- Variaciones en Nitrógeno Total en los diferentes muestreos.....	61
18.- Variaciones de Nitratos en los diferentes muestreos y aguas.....	62
19.- Variaciones en contenido de Nitritos en las aguas muestreadas.....	63
20.- Variaciones de metales pesados en los muestreos realizados.....	64
21.- Diferencias de Sólidos Totales en los muestreos realizados.....	66
22.- Variaciones en Sólidos Suspendidos Totales en los muestreos.....	67
23.- Variaciones en Sólidos Sedimentables en los muestreos.....	68
24.- Variaciones de cloro libre residual en los muestreos realizados.....	69

I INTRODUCCIÓN

La grave situación de la escasez de agua en algunas partes del mundo, en México y nuestra ciudad sigue en aumento, debido a que las fuentes de abastecimiento como los ríos, pozos, lagunas, etc. se están agotando, situación relevante para la poca importancia que se le ha dado.

La indiferencia de la población ante esta problemática puede ser la falta de cultura del uso del agua, que es confundido con su costo económico y con ello creer que por el hecho de pagarlo se tiene todo el derecho de desperdiciarlo, sin embargo; existe un costo social aún más importante que el económico: el desarrollo de la sociedad, que se sustenta en gran medida por sus abastecimientos de agua, por lo cual el valor del vital líquido queda muy lejos de calcularse.

Otra causa es el casi nulo reúso del agua, propiciada en gran medida por la falta de información en lo referente a procesos para clarificar o purificar el agua residual.

En los últimos años, se ha acentuado la contaminación de los cuerpos de agua, por el manejo inadecuado de las aguas residuales de origen industrial y urbano. Hoy en día existe una gran variedad de procesos y métodos por medio de los cuales se puede tratar dichas aguas, los cuales varían en función de las necesidades o a la aplicación que se le quiera dar.

El problema del uso de las aguas residuales no impacta directamente al hombre sino que existen factores que hacen a este tipo de aguas un problema sanitario o salud pública. Actualmente existen medidas preventivas para reducir este riesgo, pero desgraciadamente los usuarios no están acostumbrados a ellas por lo que el descuido de los mismos dan como consecuencia enfermedades respiratorias y gastrointestinales principalmente, que pueden ser mortales si no se atienden en forma adecuada e inmediata.

El gran crecimiento socioeconómico que ha alcanzado la zona Saltillo - Ramos Arizpe por su estratégica situación geográfica, ha incrementado la demanda de recursos, servicios y generación de desechos, entre ellos las aguas de servicio o residuales. En dicha región están ubicadas empresas y dependencias tanto privadas como gubernamentales cuyos recursos técnicos son amplios y de vanguardia, pero no han implementado acciones concretas y positivas a un destino razonable para las aguas ocupadas en un primer servicio.

En el presente trabajo se evaluó la calidad de tres tipos de aguas residuales de origen urbano, el primero sin ningún tratamiento, el segundo con un proceso de tratamiento secundario y el tercero con un tratamiento terciario. Con la finalidad de conocer las condiciones en que se encuentran y detectar los principales problemas que podrían causar.

Hipótesis

Las aguas residuales presentan características particulares dependiendo del tipo de manejo o tratamiento que reciba y época del año en que se muestrean.

Objetivos

1. Hacer la caracterización física, química y biológica de los tres tipos de aguas residuales de generación común en el área de Saltillo – Ramos Arizpe, Coahuila.
2. Comparar los resultados con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.
3. Establecer lineamientos, recomendaciones de uso y manejo según las características de las aguas residuales .

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA

Tres cuartas partes de la superficie del planeta es agua, pero el 97.5 % de ésta es oceánica y 2.5% es agua dulce (1.76% en casquetes de hielo y glaciares, 0.64% en aguas subterráneas y el 0.1% en ríos, lagos, etc.)

Actualmente 69% del agua consumible se usa para fines agrícolas, 23% en uso doméstico y municipal y 8% en la industria.

Toda agua de consumo se convierte en aguas negras o residuales. Se estima que cada litro de estas contamina al menos 10 litros de agua limpia.

México tiene una superficie de 1,964,375 km² (INEGI-DGG; 1999), 97,483,412 habitantes (INEGI, 2000), con una precipitación pluvial anual de 777 mm, lo cual es equivalente a 1,522 X 10⁹ m³/año. Este volumen de agua debería ser suficiente para todas las necesidades de la población, pero la mala distribución geográfica y temporal del recurso hace que resulte escaso para el 75 por ciento del país.

En la región Saltillo-Ramos Arizpe con una población de 617,203 habitantes (Saltillo: 577,352; Ramos Arizpe: 39,851) (INEGI, 2000, existe la tendencia hacia la sobreexplotación de los mantos acuíferos (Lesser, 1996) debido al incremento del núcleo poblacional al igual que la demanda de agua potable y descarga de aguas residuales.

Las cantidades de aguas residuales generadas por estas ciudades son del orden de 1100 litros por segundo (Lesser, 1996). Tales aguas están de forma expuesta lo que hace relativamente fácil que algunas personas entren en contacto con ellas, convirtiéndose en una fuente de daño potencial a la salud de las mismas.

2.2 ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Son los líquidos procedentes de la actividad humana, cuya composición es gran parte agua y que generalmente son vertidos a cursos o a masas de aguas continentales o marinas (Seoáñez, 1999) y provienen del uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original.

2.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA

Para Seoáñez (1999b), la calidad del agua se define en relación con el uso o actividad a la que se le quiera dedicar, por ello no se puede hablar de buena o mala calidad en abstracto, sino que cada actividad exige una calidad adecuada. Para evaluar los cambios que las diferentes aplicaciones del agua pueda originar en su calidad, se emplea parámetros físicos, químicos o biológicos. A estos se les denomina *“indicadores de la calidad del agua”*.

Asimismo indica que existen reglamentaciones en las que se establecen distintas limitaciones, como las siguientes:

- La concentración máxima recomendada representa un tope a alcanzar. Si el agua se encuentra dentro de esta limitación se puede asegurar su buena calidad.
- La concentración máxima aceptable representa un límite a partir del cuál ya no se puede garantizar la calidad del agua, ya que aparecen una serie de factores que resultan inconvenientes al consumidor.
- La concentración máxima permisible representa el punto a partir del cual las aguas, no sólo presentan características molestas para el consumidor, sino que su ingestión puede resultar peligrosa para la salud y por lo tanto el consumo de este tipo de aguas debe quedar prohibido.

2.4 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Es la cantidad de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en el mismo, es muy variable ya que intervienen factores específicos como la comunidad que las produce, el propio consumo de agua y las aguas industriales que puedan incluirse en el alcantarillado.

Cuadro 1. Composición típica de agua residual doméstica.

Componente	Concentración mg/L	Componente	Concentración mg/L
Alcalinidad total	39.0	Aluminio	0.1
Bicarbonato	45.0	Boro	0.1
Cloruro	3.5	Calcio	10.4
Fluoruro	0.8	Magnesio	9.8
Nitrato	1.1	Potasio	0.8
Sílice	5.8	Sodio	0.5
Sólidos disueltos totales	63.8	Sulfato	5.8

Fuente: www.gooscopio.org/medioambiente/temas/tema9/9tipos.htm#composición

2.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

a).- Sólidos

Son los materiales suspendidos o disueltos en las aguas residuales. Existen sólidos orgánicos e inorgánicos, el primero es de origen vegetal o animal, son biodegradables y su eliminación por combustión es relativamente sencilla. El segundo es de origen mineral como sales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables, ciertos compuestos como sulfatos, carbonatos, etc.

a.1).- Sólidos sedimentables

Materiales que se desprenden de la suspensión en un período determinado; partículas gruesas que se depositan por gravedad en los fondos de los receptores; se componen de un 70% de sólidos orgánicos y 30% de inorgánicos.

a.2).- Sólidos en suspensión

Partículas flotantes perceptibles a simple vista como trozos de vegetales, animales, basuras y los que sea posible separar del líquido por medios físicos, como las arcillas, arenas, etc. Su composición es 68% de sólidos orgánicos y 32% de inorgánicos.

a.3).- Disoluciones coloidales

Están formadas por partículas de tamaño intermedio. constituidos por un 75% de componentes orgánicos y un 25% de inorgánicos. La fase dispersa puede comprender hasta 40% de sólidos totales y suele estar formada por coloides liófilos.

Son fácilmente degradables y tienen gran capacidad de absorción, circunstancia que se toma en cuenta en los tratamientos de aguas residuales.

a.4).- Sólidos disueltos

Son todos los sólidos que quedan retenidos en un proceso de filtración fina. Incluido todos aquellos que pasan por el crisol de Gooch, aunque una pequeña parte está constituida por coloides (10%). Lo constituye un 40% de producto orgánico y 60% inorgánico. En el cuadro 2, se muestra una composición media de sólidos en el agua.

Cuadro 2. Composición media de sólidos en agua residual doméstica.

		Disueltos	Suspendidos	Sedimentables	No sedimentables
Total (mg/L)	250	160	90	54	36
Mineral	105	80	25	15	10
Orgánico	145	80	65	39	26

Fuente: Metcalf and Heddy Inc. (1996).

b).- Color

El color puede deberse a la presencia de metales o iones metálicos en disolución, humus o residuos orgánicos, plancton o desechos industriales. Se puede ver alterado por la presencia de sustancias en disolución de los vertidos de productos de desechos.

La coloración es indicadora de la concentración y composición de las aguas contaminadas y puede variar del gris al negro. Mientras sea más intenso, la capacidad de absorción de energía solar es mayor.

c).- Olor

Se origina por la descomposición anaerobia de la materia orgánica debido a la presencia de ácido sulfhídrico, indol, mercaptanos y otras sustancias volátiles (amoníaco, aminas; derivados y compuestos).

El impacto sobre la población va desde la indiferencia hasta el rechazo pronunciado, depreciación económica de las viviendas y establecimientos comerciales del área afectada, posteriormente las quejas pasan a los organismos responsables.

Para el control del olor, las aguas deben ser aireadas o removidas de forma que no haya problema de degradación. Independientemente, los olores pueden ser mitigados mediante zonas tampón y cortinas vegetales semipermeables.

d).- Temperatura

Influye sobre las propiedades físicas del agua residual y en la capacidad e intensidad de las acciones biológicas, químicas y bioquímicas, y sobre la capacidad de asimilación de los suelos cuando éstos sean objeto de vertido.

Las temperaturas adecuadas facilitan el desarrollo de una fauna bacteriana y flora autóctonas, ejerciendo una acción amortiguadora frente a la temperatura ambiente, tanto en verano como en invierno, y en cualquier tipo de tratamiento biológico. Tiene efecto en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y disponibilidad de oxígeno disuelto, al igual influye en la conductividad eléctrica del agua. Otro parámetro que está en función de ésta es la densidad del agua, ya que al modificarse provoca una alteración de los movimientos de mezcla de diferentes masas de agua.

2.4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

Estas propiedades son dadas por componentes que podemos agrupar según su naturaleza, en tres: materia orgánica, compuestos inorgánicos y componentes gaseosos, los cuales pueden estar dividido en dos grandes grupos: sólidos en suspensión y compuestos en disolución. Cobra importancia por la interacción de las mismas con las propiedades del suelo, variando el valor de cada parámetro. Por lo que se considera que las modificaciones a provocar en el agua residual tengan un equilibrio con el suelo para evitar que un componente se convierta en factor limitante del crecimiento del sistema natural.

Algunas de las propiedades químicas más importantes son:

a).- Conductividad eléctrica

Esta se refiere a la mayor o menor resistencia del agua a permitir el paso de la electricidad. Una medida de la conductividad ayuda a una estimación acerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes, lo que es de mucha utilidad para la agricultura. Este parámetro es modificado por los materiales orgánicos y varía con la temperatura.

La conductividad se utiliza como una medida indirecta de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT).

b).- Potencial Hidrógeno

Es un parámetro que indica la concentración de protones (iones hidrógeno H^+) presentes en la disolución acuosa. Influye en reacciones biológicas como la fotosíntesis, desnitrificación, reducción de los sulfatos, reducción de la materia orgánica, etc. Los cambios de pH afectarán la capacidad tampón de los líquidos que están presentes en las acciones biológicas, por lo que puede llegar a detener cualquier tipo de reacción. Valores entre 6.5 a 8.4 unidades son considerados normales.

c).- Demanda Bioquímica de Oxígeno

Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea (bacterias, protozoarios, etc.) para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días (NMX-AA-028-SCFI-2001).

El valor de la DBO_5 es afectada por la temperatura, microorganismos (clases, concentración y edad), la cantidad y tipo de elementos nutritivos. Por lo que la cantidad de DBO_5 presente en el agua residual presentará fluctuaciones.

Hay que considerar que la oxidación de las materias orgánicas no es el único fenómeno que tiene lugar en la biodegradación; a ésta se debe añadir la oxidación de los nitritos y sales amoniacales, así como el consumo de oxígeno por los procesos de asimilación y de formación de nuevas células.

Existen sustancias reductoras que influyen también en el consumo de oxígeno como: sulfuros, sulfitos, hierro ferroso, etc., que se encuentran en los vertidos industriales. Una cantidad grande de DBO₅ indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua.

Cuadro 3. Valores típicos de DBO para aguas de diferente calidad.

Tipo de agua	DBO ₅ (mg/L)
Agua Potable	0.75 – 1.50
Agua poco contaminada	5.00 – 50.00
Agua negras municipales	100.00 – 400.00
Residuos industriales	500.00 – 10,000.00

d).- Cloro residual

La evidencia disponible indica que las concentraciones de cloro residual recomendadas para la cloración de las aguas tratadas son de 0.5-1.0 mg/L, éstas no suponen algún peligro para los cultivos, teniendo además en cuenta que desde el punto de cloración hasta el de utilización (riego), la concentración de cloro residual puede disminuir considerablemente (<http://www.horticom.com/fitech3/ponencia/text/cramos.html>).

Aunque la cloración de estas aguas es un tratamiento recomendado para su desinfección, se están estudiando otras alternativas debido a la posible formación de algunos productos como los trihalometanos (clorometano, bromoclorometano, dibromoclorobenceno, etc) que se han reportado como cancerígenos, así como otros compuestos organoclorados tóxicos.

e).- Metales pesados

Son los elementos que tienen un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a 5 g/cm^3 , por ejemplo: Plomo (Pb), Plata (Ag) Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Cobalto(Co), Cobre(Cu), Hierro(Fe), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Zinc (Zn). Estos son tóxicos por ser biorrefractarios y bioacumulativos, por lo que afecta a la cadena alimenticia por su alta persistencia, al no tener la mayoría de éstos una función biológica definida.

Algunos pueden ser beneficiosos, incluso esenciales para el desarrollo de las plantas y microorganismos de los sistemas biológicos de tratamiento de aguas, mientras que otros pueden perjudicar a los consumidores del agua, sistemas de tratamiento y las aguas de depósitos.

El Zn, Cu y Ni, son los metales que más contribuyen a elevar las cifras de elementos pesados, siendo el Zn el metal usado como referencia de toxicidad. Para muchas plantas 2.0 mg/L de Zn, representa toxicidad, pero estas concentraciones pueden ser variables; en terrenos orgánicos o de textura fina y a pH superiores a 6 la toxicidad es más reducida. La concentración máxima recomendada de Cu y Ni es de 0.20 mg/L , pero se ha dado casos en que el Cu es tóxico para varias plantas a concentraciones entre 0.1 y 1.0 mg/L en solución de nutrimentos y el Ni entre 0.5 y 1.0 mg/L ; a pH's neutros o alcalinas se reduce su toxicidad.

El Boro es esencial en la micronutrición vegetal, pero puede ser tóxico para muchos sistemas de fauna y flora que están presentes en los procesos de tratamiento de las aguas residuales. (<http://usuarios.lycos.es/ambiental/#introduccion>)

Los agentes y las vías de contaminación son diversos, entre ellos: los vertidos a la red de alcantarillado aceites lubricantes, combustibles, pinturas y colorantes con niveles considerables de Pb, vertido de taladrinas (sustancias refrigerantes y lubricantes) con alto contenido en metales, pilas botón con elevados niveles de Ni, Cd o Hg procedentes del ámbito doméstico, etc.

f).- Nitrógeno total

El Nitrógeno es uno de los principales nutrimentos de importancia en el vertido de aguas residuales tratadas, ya que se requiere en cualquier actividad biológica.

Como fuentes de nitrógeno además de la degradación natural de la materia orgánica están los fertilizantes, productos de limpieza y tratamiento de aguas potables.

En el agua residual, el nitrógeno suele estar presente en forma de amoníaco o de nitrógeno orgánico (urea y aminoácidos); en el tratamiento biológico, la mayor parte de éste nitrógeno se transforma en amonio y otras pasa a formar compuestos como proteínas, polipéptidos y aminoácidos. Una fracción del amonio se asimila como parte de la materia celular de la biomasa (Metcalf & Heddy Inc., 1996).

Las elevadas concentraciones de nitrógeno en efluentes tratados pueden tener efectos negativos, como son la reducción de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas receptoras, toxicidad para la vida acuática, efectos negativos sobre la efectividad de la desinfección con cloro, peligro para la salud pública, y efectos sobre el potencial de un agua residual para ser reutilizada (Metcalf & Heddy, 1996). Además pueden acelerar la eutrofización de lagos y embalses, y estimular el crecimiento de algas y plantas acuáticas arraigadas en cursos de agua poco profundos.

g).- Nitratos

Según la NMX-AA-79-SCFI-2001, el nitrato es una de las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales y residuales, se presenta generalmente como trazas en el agua de superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las subterráneas. En cantidades excesivas contribuye a una enfermedad infantil llamada metahemoglobinemia.

Para evitarla, se ha establecido un límite máximo de 10 mg de nitrato como N/l para el agua potable.

El Nitrato es un nutrimento esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como determinante de crecimiento, pero son sustancias potencialmente peligrosas.

h).- Nitritos

El nitrito es considerado como una etapa intermedia en el ciclo del nitrógeno puede estar presente en el agua como resultado de la descomposición biológica de materiales proteicos. En aguas superficiales crudas, la presencia de éste indica contaminación. También se puede producir en las plantas de tratamiento o en los sistemas de distribución de agua, como resultado de la acción de bacterias sobre el nitrógeno amoniacal.

El ácido nitroso, que se forma de nitritos en solución ácida, puede reaccionar con aminas secundarias (RR'-NH) para formar nitrosamínas (RR'-N-N=O) muchas de las cuales son conocidas por ser potentes agentes carcinogénicos; el nitrito rara vez aparece en concentraciones mayores a 1 mg/l aún en afluentes de plantas de tratamiento municipales. Su concentración en aguas superficiales y subterráneas es normalmente más baja de 0.1 mg/l. " (NMX-AA-099-1987).

i).- Grasas y aceites

Los términos se aplican a una amplia variedad de sustancias orgánicas que son extraíbles en solución acuosa con hexano, anteriormente el triclorotrifluoroetano (freón) también era utilizado para tal fin, pero se ha restringido por su alta toxicidad; químicamente las grasas así como los aceites son ésteres del glicerol con ácidos grasos.

2.4.3 COMPOSICIÓN BIOLÓGICA

El componente biológico de las aguas residuales es básico, por su capacidad metabólica y su potencialidad de transformación de los restos químicos, orgánicos y físicos. El cuál se manifiesta fundamentalmente en 5 áreas diferentes:

- Descomposición de los compuestos orgánicos contenidos en las aguas.
- Eliminación de determinados compuestos orgánicos que sean tóxicos para los vegetales y microorganismos del suelo.
- Desaparición de microorganismos patógenos.
- Participación en los ciclos del N, P, y del S, elementos fundamentales cuando se presentan como nitratos, fosfatos o sulfatos en el movimiento y asimilación por el suelo y los vegetales.
- Reacciones de la materia orgánica transformada y del componente microorgánico frente a los constituyentes minerales del suelo, participando en la promoción de microagregados organominerales, variando la solubilidad de determinados iones y la solubilidad a lo largo de los diferentes horizontes del perfil.

Un importante efecto es el peligro para la salud. En los sistemas de alcantarillado, que llevan aguas servidas sin tratamiento a los ríos, lagos y mares, produce la proliferación de microorganismos que causan enfermedades como el cólera, la tifoidea y la hepatitis, las que se adquieren principalmente por beber agua contaminada o por consumir frutas o verduras regadas con agua contaminada.

Las aguas residuales contienen un gran número de organismos vivos que son los que mantienen la actividad biológica, produciendo fermentaciones, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica. Algunos de estos organismos pueden ser vegetales o animales.

a).- Mohos

Hongos que se implantan en la materia orgánica en descomposición. Atacan a los hidratos de carbono y a los productos nitrogenados. Los más importantes son: Mucor, Aspergillus, Penicillium, etc.

b).- Bacterias

Organismos unicelulares móviles o inmóviles de formas diversas (cocos, bacilos, espirilos, filamentosas), de tamaño y modo de vida diferentes según la especie y el medio. Suelen ser patógenas y producir graves enfermedades como: el tifus, fiebre tifoidea causada por la bacteria *salmonella typhi*, el cólera por la bacteria *Vibrio cholerae*, la disentería por parásitos como las amibas *Entamoeba histolítica* y la bacteria *Shigella*.

Cuadro 4. Algunas enfermedades de importancia sanitaria.

Enfermedad	Síntomas
Cólera	Diarreas y vómitos intensos, deshidratación, frecuentemente es mortal si no se trata adecuadamente
Tifus	Fiebres, diarreas y vómitos, Inflamación del bazo y del intestino.
Disentería	Diarrea; raramente es mortal en adultos, pero produce la muerte de muchos niños en países poco desarrollados
Gastroenteritis	Náuseas y vómitos, dolor en el digestivo, poco riesgo de muerte.

c).- Virus

La presencia de virus aún en muy baja proporción respecto a las bacterias y microorganismos en general, manifiesta enorme peligrosidad para la salud humana, por su capacidad de infección con pequeñísima presencia de inóculo. Los virus presentes provienen de las excretas del hombre y animales domésticos.

Se han detectado unos 100 serotipos diferentes en las excretas humanas y hasta 10^9 partículas de virus infecciosos por cada gramo y su acción dependen del tipo del mismo. Muchos son resistentes a casi cualquier tipo de tratamiento (Seoáñez, 1996).

Los más comunes en las aguas son: Adenovirus, Enterovirus (*Poliovirus*, *Echovirus*, *Coxsackievirus*), Hepatitis A, Reovirus, Rotavirus.

Cuadro 5. Algunas enfermedades virales de importancia sanitaria.

Enfermedad	Síntomas
Hepatitis	Inflamación del hígado e ictericia, puede causar daños permanentes en el hígado
Poliomielitis	Dolores musculares intensos, debilidad, temblores, parálisis, puede ser mortal

d).- Protozoarios y Metazorios

Rizópodos (*Amoebas*), flagelados y ciliados (*Paramecium*, *Colpidum*, *Vorticela*), Rotíferos, anélidos (*Tubifex*), larvas, etc.

Algunas de las enfermedades que pueden producir son la disentería amebiana, que provoca diarrea, escalofríos y fiebre.

2.5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El agua posee un sistema natural de autopurificación en el proceso de transformación del estado líquido a la evaporación (ciclo del agua).

También se purifica al infiltrarse en el suelo y pasar a través de las rocas; los poros son tan pequeños que atrapan la suciedad, funcionando como un gran colador.

Con la urbanización y diversificación de los procesos industriales, muchos elementos químicos junto a una mayor cantidad de materias orgánicas son vertidos en los cursos normales de agua, depositándose en lagunas, lagos, ríos y mar. La DBO aumenta y el limitado oxígeno disuelto no es suficiente para posibilitar la recuperación de dichos elementos. En tales circunstancias, la naturaleza no es capaz por sí sola de realizar el proceso de autopurificación de los cursos de agua.

Por ellos es necesario un sistema de tratamiento en el que mediante una serie de procesos se recupere a un nivel considerable los contenidos físicos, químicos y biológicos del agua de desecho. Para ello existen sistemas con principios naturales y convencionales.

2.5.1 Generalidades de los tratamientos naturales

La denominación de métodos de depuración natural, se engloba aquellos procedimientos en los que el tratamiento principal es proporcionado por componentes del medio natural. Habitualmente se diferencian dos grandes grupos: los métodos de tratamiento aplicado en el terreno y los sistemas acuáticos. En todos ellos, el efecto depurador se debe a la acción de la vegetación, suelo, microorganismos (terrestres y acuáticos) y, en menor medida, la acción de animales superiores, sin la intervención de agentes artificiales.

Estos procedimientos naturales se caracterizan, en general, por sus menores necesidades de personal de operaciones, menor consumo energético y menor producción de lodos. Los sistemas naturales son apropiados y aconsejados para pequeños núcleos rurales.

2.5.2 Clasificación de los tratamientos naturales

Seoáñez (1999), clasifica los tratamientos naturales en: Procesos biológicos, procesos aerobios, sistemas anaerobios, sistemas de crecimiento adherente, sistemas mixtos y sistemas fotosintéticos:

a).- Procesos biológicos

Se definen por la presencia o ausencia de oxígeno disuelto (aerobio o anaerobio), lo que lleva condiciones de fotosíntesis, movilidad o estabilidad de los microorganismos, etc. Los organismos fotosintéticos son muy importantes en los sistemas biológicos de tratamientos de aguas y estos son básicamente: algas y plantas acuáticas flotantes o subacuáticas.

b).- Procesos aerobios

Son procesos químicos-físicos que únicamente se producen en presencia de oxígeno. En estos caben los lodos activados, lechos bacterianos, lagunaje, estanques aireados, depósitos de oxidación y humedales artificiales.

c).- Procesos anaerobios

Son procesos químicos-físicos que únicamente tiene lugar en ausencia de oxígeno. Comprende los estanques anaerobios, digestores y filtros anaerobios.

d).- Sistemas de crecimiento adherente

En estos se forman películas de microorganismos sobre grandes superficies que consumen los nutrientes presentes en el agua residual, lo comprenden: lechos bacterianos, contactores biológicos giratorios, filtros anaerobios y columnas de desnitrificación.

e).- Sistemas mixtos

Utilizan los suelos y materia vegetal como consumidores de los nutrimentos presentes en las aguas residuales, y como asimiladores de ciertos contaminantes, como puede ocurrir con los metales pesados en ciertos tipos de suelos. Ejemplos de ellos son: lagunaje natural, lagunaje aireado, lagunaje anaerobio, lagunaje de alto rendimiento, lechos de macrófitas, lechos de turba, infiltración controlada, entre otros.

f).- Sistemas acuáticos

Estos sistemas pertenecen al grupo de métodos naturales con procesos biológicos de depuración y se incluyen aquellos cuya acción principal se ejerce en el seno del medio acuático, participando en el proceso plantas emergentes (especialmente sus raíces) y la actividad microbiológica asociada. Son sistemas que pueden funcionar estacionalmente a lo largo de todo el año, dependiendo fundamentalmente del clima y que con frecuencia se diseñan para mantener el flujo continuo.

Los cultivos acuáticos se han desarrollado como una variante del lagunaje convencional, estos tienen poder de proliferación, su capacidad de absorción de nutrimentos, mejora los rendimientos de las lagunas de estabilización y la bioacumulación de otros compuestos del agua las convierten en una herramienta útil en el tratamiento de aguas residuales (Boyd, 1970).

Los sistemas acuáticos, en general, se proyectan para un flujo continuo con descarga a ríos o lagos próximos. Su sistema de operación puede ser estacional o anual, en función del clima o de los objetivos del tratamiento.

Las lagunas con plantas acuáticas se basan en principios ecológicos, en donde los efluentes son tratados eficientemente mediante relaciones mutuas y coordinadas de flujo de energía y nutrimentos, entre las plantas acuáticas y los microorganismos degradadores (Shi y Wang, 1991).

Además, con base en los estudios de remoción de compuestos tóxicos, se pueden considerar como una alternativa ecológica y económicamente viable no sólo para el tratamiento de los efluentes municipales sino también para efluentes industriales (www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/libro33/pdf/lib33/cap_3.pdf).

Por otro lado, las macrófitas acuáticas usadas para el tratamiento de las aguas residuales deben contar con las siguientes características:

1. Alta productividad.
2. Alta eficiencia de remoción de nutrimentos y contaminantes.
3. Alta predominancia en condiciones naturales adversas.
4. Fácil cosecha

Una de las plantas acuáticas flotantes que cuentan con un alto potencial para ser aprovechadas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales en México es el Lirio acuático a continuación se describen algunas de sus características.

f.1).- Lirio acuático

El Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una planta que flota sobre la superficie de arroyos y lagos de agua dulce; se considera libre ya que sus raíces no están fijadas a ningún sustrato.

Posee una raíz de tipo plumosa, fibrosa y con muchas ramificaciones. El tallo es delgado, de él parten los pecíolos que son esponjosos e inflados y se encuentran rodeándolo.

Las hojas son lobuladas de un color verde característico por ser muy brillante; muchas veces el pecíolo y las hojas pueden estar sumergidas o no; Las inflorescencias parten de una espiga central (Weldon, 1973).

Se ha demostrado que la productividad del lirio acuático está en función de la temperatura del aire, la disponibilidad de nutrientes (principalmente nitrógeno) y la densidad de la planta (Bock, 1966; Imaoka y Teranishi, 1988).

El ecosistema total en las lagunas con lirio es el que contribuye al mejoramiento de la calidad del agua, especialmente las bacterias asociadas a la raíz, ya que se ha observado que con ellas la planta es capaz de absorber más nutrientes que por sí sola. Además, las plantas proveen sombra que impide el crecimiento de algas, permitiendo que actúe como filtro biológico clarificando y purificando el agua (Karpiscak et al, 1992).

Existen diversos estudios sobre la eficiencia de remoción de nutrientes del lirio reportándose distintos valores dependiendo de las condiciones de cultivo, variando de 1980 Kg de N/ha/año y de 322 Kg de P/ha/año (Boyd, 1970) hasta 7887 Kg de N/ha/año y 1978 Kg de P/ha/año (Reddy y Tucker, 1983). Imaoka y Teranishi (1988) demostraron que la velocidad de absorción de nitrógeno está correlacionada con la concentración de nitrógeno en el agua, de acuerdo con el modelo de Michaelis Menten, en donde la velocidad máxima de absorción de nitrógeno se expresa como una función de la temperatura del agua y la densidad de la planta. Ellos también demostraron que la absorción de fósforo está influenciada por la concentración de este en el agua y en la planta, además de la temperatura del agua y la densidad de la planta.

Por otro lado, existen estudios de lirio acuático para la remoción de metales pesados. Varios autores (Wolverton, 1975; Muramoto y Oki, 1983 y 1989) señalan que existe una relación directa entre la eficiencia de remoción de metales pesados del lirio y la concentración de dichos metales en el agua.

Se ha determinado que en el sistema radicular se concentran los metales absorbidos y que las cargas eléctricas que dependen del pH en esta zona tienen gran influencia en la absorción de metales (Nor, 1990).

g).- Sistemas fotosintéticos

Son sistemas donde la presencia de luz solar es de suma importancia para que se puedan dar las reacciones químicas y biológicas durante el proceso de depuración. En estos sistemas caben los tratamientos por escorrentía superficial sobre cubierta vegetal, lagunas de oxidación o lagunas de estabilización, humedales artificiales.

h).- Lagunas de oxidación o estabilización

El proceso de depuración se produce gracias a reacciones biológicas, químicas y físicas, que tienen lugar en las lagunas y que tienden a estabilizar el agua residual. Los fenómenos producidos tienen relación con: la sedimentación, oxidación, fotosíntesis, aireación, evaporación, digestión, etc.

Estas lagunas son de varios tipos. Los principales son: facultativas, aireadas – facultativas, completas mixtas aerobias, anaerobias, estanques de oxidación y lagunas terciarias.

En cualquier tipo se retienen los efluentes durante un periodo más o menos largo, en el cual los microorganismos presentes, permite que se eliminen hasta cerca de 100 Kg. de DBO₅ por ha/día. Si no existe aireación artificial, las profundidades serán menores y los rendimientos son inferiores, ya que están limitados por el contenido de oxígeno.

En las lagunas con aireación artificial se utiliza un sistema de turbinas flotantes y una agitación mecánica, de forma que aumente el contenido en oxígeno del agua.

En la superficie de la laguna actúan bacterias aerobias y facultativas anaerobias que asimilan o metabolizan la materia orgánica disuelta. Así, esta masa bacteriana se convierte en nutriente de los protozoarios. Estas bacterias, al procesar la materia orgánica, liberan anhídrido carbónico, amoníaco y sales minerales, lo que permite el crecimiento de algas. Estas a su vez, fijan el anhídrido y liberan oxígeno que es utilizado, en parte, para el crecimiento bacteriano. Fenómeno que provoca la depuración en las lagunas.

Las excretas de los microorganismos, algunas partículas en suspensión, ciertas células microbianas y algún material viviente, van depositándose en el fondo, formando una capa de lodo donde se desarrolla una microflora anaerobia acompañada de una microfauna más pobre.

Produciéndose fenómenos de fermentación, que originan metano y sulfuros cuando hay una reducción de sulfatos.

Por lo que se aconseja facilitar bien la actividad de la materia viva, procurando aireaciones, controlando los procesos anaerobios y a ser posible eliminarlos decantando los efluentes, limpiando periódicamente los estanques, etc.

Las lagunas son consideradas como el sistema más natural y más próximo a la autodepuración que efectúa la naturaleza cuando existe una contaminación en una masa o en un curso de agua.

Por otra parte, la mortalidad de coliformes, coliformes fecales y estreptococos fecales en las aguas residuales urbanas, generalmente puede alcanzar entre el 95 y 99% cuando la gestión de las lagunas de estabilización es correcta, siendo las temperaturas óptimas de 17° a 26° C.

Respecto a salmonellas y virus entéricos, es muy posible que puedan presentarse en los efluentes a lo largo de todo el año. En general, la presencia de organismos patógenos en invierno es superior a la misma en verano.

Cuando la instalación de las lagunas de oxidación es en serie, estos problemas se minimizan, hasta el punto de llegar a alcanzarse dos unidades de coliformes, coliformes fecales y estreptococos fecales, por mililitro.

Las salmonellas prácticamente desaparecen, mientras que los virus entéricos pueden estar presentes con alguna mayor frecuencia.

h.1).- Características, ventajas y desventajas de las lagunas

El sistema se basa en el mantenimiento de condiciones aerobias en lagunas de superficie extensa, separadas por diques.

Es una solución para zonas llanas y de baja calidad y precio del suelo, y sustituye perfectamente a cualquier otro tratamiento biológico. Las condiciones ideales de trabajo son: amplia luminosidad, viento y una meteorología adecuados.

El sistema es casi facultativo ya que es aerobio en la superficie pero en el fondo existe muy poco oxígeno disuelto o no existe en absoluto, y la masa sólida que lo compone presenta condiciones anaerobias.

Parte de la DBO es reducida en las condiciones anaerobias del fondo, consumiéndose al mismo tiempo parte de los lodos, reduciéndose su volumen y si la temperatura es adecuada es posible que se presentes en las capas líquidas superiores ciertos residuos procedentes de esta actividad anaerobia (fermentaciones).

Al entrar las aguas residuales en la laguna, los lodos son atacados y metabolizados por las bacterias, produciéndose compuestos como iones fosfato, nitrato, amonio y anhídrido carbónico, con lo que se favorece el crecimiento de las algas en lo que colabora la energía solar. Al producir protoplasma las algas autótrofas generan oxígeno, elemento que puede ser utilizado por las bacterias autótrofas. Sin lugar a dudas, la fotosíntesis es el mayor suministrador de oxígeno en una laguna de oxidación:

Entre las ventajas de los sistemas de depuración por lagunaje cabe destacar su estabilidad frente a variaciones de caudal y carga contaminante, y sus bajos costos de explotación y mantenimiento. La dimensión de las lagunas está en función del volumen de influente y de la carga contaminante del mismo. El flujo y la dimensión de la laguna determinan el tiempo de residencia hidráulico.

Sistema que requiere muy poca energía, ya que se aprovechan al máximo las fuerzas naturales, a menos que se dé la necesidad de una aireación.

Se produce cantidades mínimas de lodos. Si las lagunas están bien planificadas, en serie y si existen varias lagunas, el sistema es muy eficaz y puede eliminar grandes cantidades de DBO_5 y consumir mucho Nitrógeno.

Dentro de las desventajas que pueden tener estos sistemas es que puede emitir olores desagradables, requiere de una gran extensión de terreno, puede contaminar el manto freático, resulta un efluente con gran cantidad de sólidos suspendidos, en algún momento hay que vaciarla y extraer los lodos del fondo y generalmente su ubicación es lejana a la población.

2.5.3 Sistemas de tratamientos convencionales

En general es un sistema que conjunta diversos procesos, en los que cada uno tiene bases particulares, y distintas etapas de depuración. Estos sistemas han sido diseñados con el fin de mejorar la calidad del agua tratada y de ampliar las posibilidades de reuso, aunque existe una gama de procesos todos siguen un mismo fin y se dividen en grandes etapas como: el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o químico.

El agua tratada como producto final de este sistema, con un control estricto durante los procesos de depuración pueden cumplir las distintas normas de calidad para darle cierto reuso al mismo.

Gran ventaja que lo separa de los sistemas naturales, pero tiene las siguientes inconveniencias: el costo inicial es muy alto, consume grandes cantidades de energía, genera muchos desechos, requiere de mucho control en las plantas, su funcionamiento y mantenimiento es complicado por lo que requiere de personal calificado para realizar el mismo, entre otros.

Ya que es un sistema muy conocido, mencionaremos a continuación únicamente las características principales de las etapas de tratamiento:

a).- Tratamiento previo

En la mayoría de las plantas, el tratamiento preliminar sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes del tratamiento.

Los dispositivos para el tratamiento preliminar están destinados a eliminar ó separar los sólidos mayores ó flotantes, a eliminar los sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites ó grasas y todo aquello que por su acción mecánica pueda afectar el sistema depurador. Para alcanzar los objetivos de un tratamiento preliminar se emplean comúnmente los siguientes dispositivos: (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (DSENY), 1996; Serrano E., (1997) Rejillas (rejas de barras finas y gruesas), desmenuzadores, tamices, desarenadores y tanques de preaireación, entre otros.

b).- Tratamiento primario

Los dispositivos que se usan en el tratamiento primario, están diseñados con el fin de retirar de las aguas residuales los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentales que en el tratamiento previo no fueron sedimentados, mediante el proceso físico de sedimentación, reduciendo la velocidad del flujo.

Los canales se construyen para mantener una velocidad de unos 60 cm/seg, la cual es apropiada para arrastrar con las aguas residuales todos los sólidos y prevenir que se depositen en las líneas del canal. En el tratamiento preliminar se disminuye esta velocidad hasta unos 30 cm/seg, durante un corto lapso de tiempo, durante el cual se depositan como arenas los sólidos inorgánicos más pesados. En el tratamiento primario la velocidad del flujo se reduce hasta uno ó dos cm/seg en un tanque de sedimentación, durante el tiempo suficiente, para dejar que se depositen la mayor parte de los sólidos sedimentales, que son principalmente orgánicos, separándose de la corriente de agua residuales. Los principales dispositivos para el tratamiento primario son los tanques de sedimentación, algunos de los cuales tienen también la función adicional de servir para la descomposición de sólidos orgánicos sedimentables, lo cual se conoce como digestión de los lodos. Son diversos los tipos de tanques que se usan en este proceso.

c).- Tratamiento secundario

Este tratamiento es el encargado de eliminar la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales y que no ha sido retirada durante el tratamiento primario. Consiste en provocar el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica.

Dentro de los procesos que los sistemas convencionales utilizan para tal fin se distinguen los siguientes: lodos activados, filtros rociadores o percoladores y discos biológicos rotativos.

d).- Tratamiento terciario

Son procesos en los cuales la remoción o tratamiento de los contaminantes se realiza por la adición de reactivos que actúan mediante reacciones químicas variadas. La precipitación química, el ajuste de pH, la coagulación y la desinfección son los más sobresalientes.

Ramalho (1996) sostiene que al tratamiento terciario también se le llama “tratamiento avanzado” y él los llama como “una serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional”.

Metcalf and Eddy Inc. (1996) mencionan que con el fin de alcanzar los objetivos del tratamiento del agua residual, los procesos químicos se llevan a cabo en combinación con las operaciones físicas y procesos biológicos.

Para la desinfección, con la finalidad de destruir organismos causantes de enfermedades se usan: Cloro, dióxido de cloro, cloruro de bromo, ozono, luz ultravioleta.

Cuadro 6. Aplicaciones de los procesos químicos en el tratamiento del agua residual

Proceso	Aplicación
Precipitación química	Eliminación del fósforo y mejora de la eliminación de sólidos en suspensión en las instalaciones de sedimentación primaria empleadas en tratamientos fisicoquímicos
Adsorción	Eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales de tratamiento químico y biológico. También se emplea para eliminar el cloro del agua antes de su vertido final
Decloración	Eliminación del cloro combinado, residual, total y remanente después de la cloración.

Fuente: (Metcalf and Heddy Inc., 1996)

2.6 USOS DEL AGUA RESIDUAL

Actualmente el agua residual y residual tratada se aprovecha en diferentes actividades, Seoáñez, (1999) contempla los siguientes:

- Aplicaciones industriales.
- Recarga directa e indirecta de acuíferos.
- Recarga de terrenos marginados.
- Recuperación de zonas áridas.
- Recuperación de grandes áreas incendiadas.
- Mejora de productividad forestal.
- Producción acuícola.
- Abastecimiento de agua (potabilización).
- Riego agrícola y espacios verdes (cementeros, parques, campos de golf, etc.

En los siguientes temas se describirán algunas aplicaciones de las aguas residuales más comunes y de importancia.

a).- Aplicación de aguas residuales en la agricultura

Constituye una de las herramientas más valiosas que tienen los países en vías de desarrollo para controlar la contaminación y hacer frente al reto que conlleva incrementar la producción agrícola con un recurso hídrico escaso. Las aguas residuales pueden ser un problema sanitario pero es un recurso de gran valor económico en áreas desérticas o regiones con sequías prolongadas. Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos, estos nutrientes se conservan en el protoplasma de las algas al tratar las aguas residuales en lagunas de oxidación o estabilización.

Los tóxicos y microorganismos patógenos presentes pueden causar efectos nocivos a la salud y/o los cultivos, si no se utilizan el tratamiento y el manejo adecuados.

Algunas sustancias presentes en esta agua pueden resultar perjudiciales a los suelos, a corto, mediano o largo plazo, si no se toman medidas correctivas apropiadas.

La aplicación de aguas residuales o previamente tratadas, al suelo o campos de cultivo constituye un tratamiento adicional que mejora la calidad de las mismas (<http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind53/rys/rys.html>).

Las aguas residuales se le puede dar uso en zonas agrícolas para aprovechamiento indirecto en pastizales, silvicultura, forrajes, hierbas, alfalfa, maíz, trigo, cebada, caña de azúcar, remolacha, menta, algodón, tabaco. Y con un buen manejo y alto tratamiento en frutas y vegetales, por ello deben ser tratados; de forma que el contenido de organismos fecales no sea superior a 23 NMP/100 ml de agua de riego (Departamento de Sanidad de California, USA.).

Tienen ciertas exigencias hacia evitar problemas básicos de salinidad, tipo de cultivo, pH del agua y suelo, climatología, permeabilidad, toxicidad específica por ciertos iones, contaminación desde el punto de vista sanitario, entre otros.

Para zonas agrícolas de aprovechamiento directo, como cultivos hortícolas y de cereales, no deberán superar el límite de 2.2NMP/100 ml en coliformes.

Para riego de frutales, plantaciones para aprovechamiento de semillas, producción de forraje, viñedos, etc. Se requiere de un tratamiento previo y una depuración primara.

A largo plazo es necesario conocer la influencia de la calidad del agua sobre la producción de cultivos y condiciones del suelo.

Cuadro 7. Evolución de algunos contaminantes después de haber sido aplicados a un suelo

Agente o grupo de contaminantes	Evolución después de aplicaciones
Sólidos disueltos, sodio, cloruros, sulfatos y boro.	Reaparecen en las aguas recuperadas y tienden a aumentar su concentración.
Metales pesados y fósforo	Precipitan y se fijan en el suelo y aparecen otra vez en las aguas recuperadas.
Bacterias	Muchas son absorbidas por el suelo y otras persisten en las aguas recuperadas.
Radiaciones	Son absorbidas por el suelo. La vegetación las toma de éste. Las aguas recuperadas pueden haberlas asimilado.
Plaguicidas y similares	Parte los absorbe el suelo. Algunos son muy persistentes tanto en aguas como en suelo y vegetales.

En general, las aguas residuales llega a depurarse hasta el 99% aproximadamente en la DBO y en los suelos expandidos ocurre lo mismo cuando se atraviesan capas de 50 a 120 cm. de espesor.

Respecto a la eliminación o disminución de fósforo y nitrógeno, los resultados dependen del tipo de cosecha, tipo de suelo, intensidad del riego y de la composición bacteriológica del suelo.

b).- Reutilización con fines municipales y recreativos

Este tipo de reutilización va dirigida principalmente a los siguientes usos:

- Riego de masas forestales de propiedad pública.
- Riego de calles, parques y jardines públicos.
- Embalsamiento para prevención de incendios municipales y forestales.
- Creación de lagos artificiales.

Esta reutilización conlleva una infraestructura consistente en una red de distribución doble, una para el agua potable y otra para el agua que va a ser reutilizada. Se presenta el problema de que se puede contaminar el agua potable, lo cual se han de tener en cuenta a la hora de elegir los criterios técnicos y sanitarios.

El consumo de agua residual para estos fines puede equilibrar su producción, siendo nulo el exceso de agua de este tipo y evitándose así problemas derivados del impacto medioambiental. A su vez, en determinadas épocas del año en que la producción de agua residual es mayor, el exceso generado puede ser acumulado en lagos o embalses reguladores para su uso en la extinción de incendios forestales u otros fines.

c).- Reutilización para lavado

Entre los usos que se puede dar al agua residual en este tipo de actividades, tenemos:

- Lavado de materias primas (carbón, azucareras, etc.) y su transporte.
- Lavado de productos acabados o semiacabados (pastas en papeleras, productos de laminado, pieles en curtidurías, tejidos en tintorería, etc.)
- Lavados de mantenimiento (vagones, suelos, calles de polígonos industriales, fachadas, etc.)
- Lavado del gas antes de su vertido en la atmósfera.

Para este tipo de actividades, el agua residual municipal de tipo doméstico puede ser mezclada con aguas industriales. No es necesaria una calidad muy apreciable para estos fines, no obstante el agua municipal debe ser previamente depurada con, al menos, un tratamiento secundario.

d).- Reutilización para refrigeración industrial

La reutilización del agua para refrigeración, viene marcada por dos factores muy concretos:

1. Existencia de una carestía acusada que obliga a una reutilización indispensable por la falta de recursos hídricos.

2. Zonas fuertemente industrializadas donde elevados volúmenes de agua obligan a sustraer recursos para el suministro doméstico.

La refrigeración por agua se utiliza en numerosas industrias y procesos: producción de electricidad, siderurgia, petroquímica, química, industria automovilística, cementeras, incineración de residuos, etc.

e).- Reutilización para producción de biomasa

El agua residual urbana puede ser empleada como fuente de nutrientes para el desarrollo y crecimiento de seres vivos.

El caso más frecuente es el riego de especies agrícolas o forestales; sin embargo, y dentro de este reino vegetal, existen otras vías de aplicación que se encuentran en fase de investigación y desarrollo (tales como la producción de microalgas como aprovechamiento conjunto de la energía solar y la energía potencial del agua residual).

f).- Producción piscícola

Aunque se ha realizado con buen éxito la cría de peces en lagunas de estabilización de grado superior al terciario, experiencias indica que es preferible construir lagunas específicas para acuicultura a las cuales se lleve el efluente de las lagunas de estabilización o de campos de riego de acuerdo con los requerimientos nutricionales de los peces.

2.7 PROBLEMÁTICA GENERAL DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales producen una serie de alteraciones en los cursos y planos de agua debido a los diversos productos que contienen y a que las áreas receptoras son cada vez menos capaces de asimilar. La capacidad de depuración de una masa de agua es siempre limitada, mientras que el vertido de residuos a ella, actualmente no tiene límites.

Con los vertidos a zonas marinas, el problema es similar, hacen que las costas lleguen a saturarse de contaminantes; por lo que el problema es parecido, tanto en las aguas continentales como en las marinas próximas a las costas.

En la gestión de las aguas residuales urbanas se deben tener en cuenta factores o elementos fundamentales que se relaciona con la calidad del medio ambiente.

Las aguas residuales deben ser manejadas de forma que no contaminen el aire, el suelo o los cursos o masas de agua. Por lo que no deben ser utilizadas de cualquier forma que introduzca productos tóxicos o que pueda plantear problemas patológicos, sobre todo en lo que se refiere a las cadenas alimentarias.

2.7.1.- Impactos generados al medio por las aguas residuales

Existen ciertos impactos de las aguas residuales al medio ambiente, de acuerdo a algunos componentes estos son los efectos que pueden causar (Mecalf & Heddy Inc., 1996):

Materia Orgánica Biodegradable.- Puede originar una desoxigenación del agua y provocar la muerte de peces, además generar olores desagradables.

Materia Suspendida.- Deposición en los lechos de los ríos: Si es MO se descompone y flota mediante el empuje de los gases, cubre el fondo e interfiere con la reproducción de los peces o transforma la cadena alimenticia.

Sustancias Corrosivas, Cianuros, Metales, Fenoles, etc.- causa la extinción de peces y vida acuática, destrucción de bacterias y por lo tanto interrupción de la autopurificación.

Microorganismos patógenos.- Las aguas residuales, pueden transportar organismos patógenos, los residuos de curtiembres ántrax.

Sustancias que causan turbiedad, temperatura, color, olor, etc.- el incremento de temperatura afecta los peces, el color, el olor y la turbiedad hacen estéticamente inaceptable el agua para el público.

Sustancias que transforman el Equilibrio Biológico.- Pueden causar crecimiento excesivo de hongos y de plantas acuáticas las cuales alteran el ecosistema acuático, causan olores, etc.

Constituyentes Minerales.- Incrementan la dureza, limitan los usos industriales sin tratamiento especial, incrementan el contenido de sólidos disueltos a niveles perjudiciales para los peces o la vegetación, contribuyen a la eutroficación del agua.

2.7.2.- Medidas de prevención y protección contra la contaminación por patógenos

Con el fin de evitar que el uso de las aguas residuales tratadas o no origine alguna enfermedad, se recomienda las siguientes medidas:

1. Restricción de uso según el tratamiento previo que haya sufrido el agua residual.
2. Restricción de uso según la forma de consumo de vegetales.
3. Tecnologías adecuadas de los regímenes de aplicación en función de los patógenos presentes.
4. Las aguas crudas no se deben verter a la vegetación de consumo directo, salvo en ciertos pastizales, pero puede usarse sin problemas en zonas forestales, cultivos no alimenticios o sobre suelos improductivos. Considerando factores como las aguas subterráneas, tipo de suelos, vegetación, entre otros.
5. Las aguas de tratamientos secundarios pueden ser vertidas sin problemas a cultivos de grano, pastizales o a parques y campos de golf. Estos efluentes deberían someterse en algunos casos a una desinfección final.
6. Debe utilizarse zonas vegetales tampón, tanto para el movimiento de patógenos en el aire como el transporte hacia otras zonas u otros vegetales por escorrentía superficial.
7. Aunque el personal que maneja explotaciones se inmuniza bastante, es conveniente protegerlos tanto del contacto físico como de la inhalación de los aerosoles de agua residual.

El público debe ser protegido mediante vallas u otros sistemas (anuncios, riego durante la noche, carteles, etc.), sobre todo en las lagunas de almacenado y en los lugares de mayor exposición.

8. Al establecer las lagunas de oxidación se debe considerar la ubicación de los pozos de agua potable para ser protegidos de posibles filtraciones procedentes de agua contaminadas.

9. Controlar los coliformes mediante tratamientos químicos.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- Ubicación de los lugares de muestreo

El presente estudio se realizó con muestras de los siguientes lugares:

1. Laguna de oxidación natural, dentro de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN) Buenavista, Saltillo, Coahuila. Muestreada al final del conducto que distribuye el agua a las parcelas experimentales.
2. Planta de Tratamiento, ubicada en la carretera federal 54, Saltillo-Zacatecas Km. 11 + 300 (terrenos de la Escuela Forestal), a un lado del 64 Batallón de Infantería del Ejército Mexicano. Muestreada por el conducto que dirige el agua tratada a los sistemas de riego o al deposito temporal.
3. Canal de Aguas Residuales Municipales “Arroyo del Pueblo” del área conurbana Saltillo – Ramos Arizpe, Carretera Federal 57, México-Piedras Negras, Km. 5.8, entronque hacia el ejido “El Mesón” Municipio de Ramos Arizpe, Coahuila. Muestreado al centro de la corriente del canal o lo más cercano al mismo.

3.2.- Descripción de los lugares de muestreo

3.2.1.- La laguna de oxidación dentro de la UAAAN (Figuras 1-4), es una planta de tratamiento mixto, ya que durante su proceso cuenta con un pretratamiento, tratamiento primario y secundario; en dichos procesos se lleva acabo la separación de objetos de tamaño medio presente en el agua residual con un sistema de rejilla, posteriormente pasa a unos canales de sedimentación y después al cono Imhoff. Al salir el agua de este depósito pasa a los filtros de grava y arena (Figura 1), cultivados con carrizos (Figura 2-A), el agua se filtra para llegar a la laguna con lirios acuáticos (Figura 2-B) y por ultimo el agua tratada se dirige a la laguna de oxidación, donde se deposita hasta ser usada (Figura 3).



Figura 1. Proceso inicial hacia la laguna. **Figura 2.** Cultivos de carrizos y lirios.



Figura 3. Laguna de oxidación.

Figura 4. Punto de muestreo.

3.2.2.- La planta de tratamiento ubicada en la Escuela de Forestal, cuenta con un sistema de separación de basura (rejillas), posteriormente el agua se dirige al reactor anaerobio (Figura 4-A), pasado este proceso el agua residual se bombea a los depósitos de lodos activados (Figura 4-B) de aquí es transportada a los depósitos de sedimentación (Figura 4-C) y clarificación (Figura 4-D), el agua clarificada es conducido al depósito de cloración (Figura 5), donde se extrae y lleva a una cisterna o depósito temporal (Figura 7-A), para que después sea bombeada hacia la laguna de depósito.

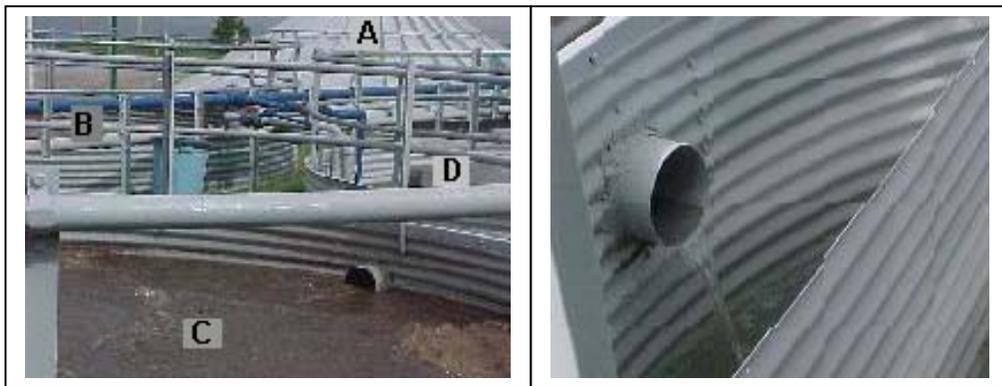


Figura 4. Sistema de tratamiento.

Figura 5. Deposito de cloración.

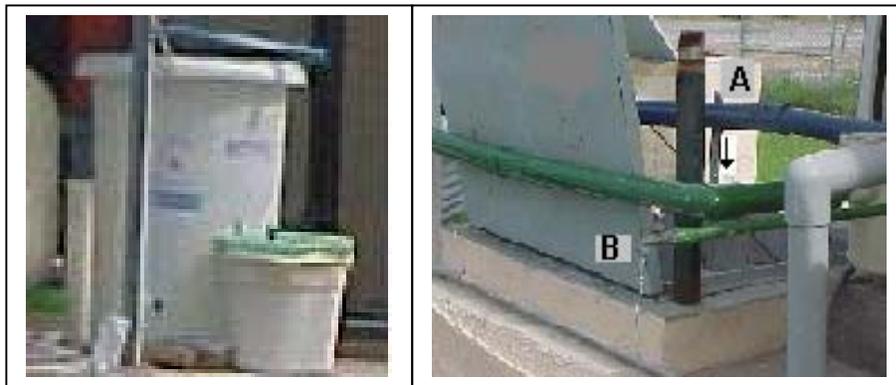


Figura 6. Deposito de cloro.

Figura 7. Cisterna y sitio de muestreo.

3.2.3.- El canal de aguas residuales de la zona Saltillo-Ramos Arizpe (Figuras 8-10), es un arroyo (denominado “Del Pueblo”) que recorre desde el sur de Saltillo hasta el norte para llegar al municipio de Ramos Arizpe, el cual durante su transcurso capta las aguas residuales de las distintas colonias circunvecinas. No se le da ningún tratamiento extra de la que recibe el agua durante su recorrido.



Figura 8. Acceso al Arroyo.



Figura 9. Flujo turbulento.



Figura 10. Sitio de muestreo.

Las aguas de los lugares seleccionados reciben un tratamiento diferente, además cuentan con accesos libres de tal forma que fueron factibles algunos análisis de campo y el transporte fácil de las muestras.

3.3 Sistema de muestreo

De acuerdo a los objetivos planteados para este trabajo se estableció realizar un muestreo simple puntual, como indica la Norma Oficial Mexicana NMX-003-1980 sobre esta materia, el cual consiste en tomar la muestra en el punto de descarga, de manera continua, en un día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición.

3.4.- Muestreo

En la laguna de oxidación existe un conducto de diámetro adecuado y de poca longitud para muestrear correctamente las aguas residuales, el muestreo se realizó en un punto donde el flujo era representativa de la descarga (Figura 4). Antes de tomar las muestras se dejó fluir un volumen considerable de agua, para que la muestra fuera representativa y a continuación se llenó el recipiente de muestreo, sumergiéndolo en el efluente.

En la planta tratadora se muestreo el agua de un ducto que viene de una cisterna usada como depósito temporal para el agua tratada (Figura 7-B), en cada muestreo se bombeó el agua desde ahí, se dejó escapar cierto flujo y se llenaron los recipientes para cada analito de interés.

Para el caso del canal de aguas residuales se tomaron las muestras en el centro del canal o lo más cercano posible y de preferencia en lugares donde el flujo era turbulento a fin de asegurar un buen mezclado (Figura 10-A).

3.4.1.- Cuidados durante y después del muestreo

Es de suma importancia tomar ciertas medidas de seguridad antes, durante y después de la toma de muestra, por lo que es importante contar con una bata u overol, guantes, lentes, cubre bocas, de preferencia zapatos de seguridad, pipetas para agregar y medir los preservadores (ácidos), y una perilla para llenar las mismas.

Asimismo verificar que se lleven los siguientes materiales: papel tornasol (para saber el pH de las muestras una vez agregado los preservadores), los preservadores, agua destilada, pisetas, papel para el secado de instrumentos de campo, hielera o algún depósito para conservar las muestras a bajas temperaturas, entre otros.

Antes de llenar los recipientes deben ser etiquetados, en los cuales lleven la siguiente información: fecha, hora de inicio y lugar de muestreo, descripción de la muestra (tipo y lugar de origen), indicar el parámetro que se analizará con la muestra y por último el nombre y firma del muestreador.

Generalmente los recipientes son de vidrio, plástico o bolsas, dependiendo del parámetro, estos deben estar previamente esterilizados; en la mayoría de los casos, los recipientes deben ser enjuagados al menos tres veces antes de llenarlos con la muestra, excepto en algunos parámetros como grasas y aceites y Coliformes totales y fecales.

En el Cuadro 8, se resume las consideraciones por su importancia en el muestreo de acuerdo a las normas oficiales mexicanas en materia.

Las muestras se recolectaron cada dos meses durante el año 2003, la primera en Enero 16, la siguiente en Marzo 13 y la última en Mayo 15, haciendo el siguiente recorrido: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Escuela de Forestal, y Canal Municipal de Aguas residuales.

Cuadro 8. Resumen de las consideraciones en el muestreo, de acuerdo a las Normas Mexicanas correspondientes

Parámetro	Preservador	Envase	Volumen de muestra	Observación	Tiempo máximo de almacenamiento
Cloro residual	Ninguno	Plástico o vidrio	500 ml	-----	Analizar de Inmediato
Conductividad eléctrica	Enfriar a 4°C en oscuridad	Plástico o vidrio con sello hermético	500 ml	-----	24 hrs. O analizar de inmediato
PH	Ninguno	Plástico o Vidrio	100 ml	-----	Analizar de inmediato
Coliformes totales / fecales	Enfriar a 4°C.	Vidrio (esterilizado y de boca ancha). Bolsa estéril.	125 ml	Agregar Tiosulfato de Sodio al envase antes de esterilizar.	6 hrs.
Oxígeno disuelto	Enfriar a 4°C	Frasco de vidrio Winkler para D.B.O	300 ml.	Proteger de los rayos del sol, refrigerar a 4°C y evitar la formación de burbujas.	8 hrs.
Acidez y Alcalinidad	Enfriar a 4°C	Plástico (PET) o vidrio	> 500 ml.	Ver nota 1	24 hrs.
DBO ₅	Enfriar a 4°C	Plástico o vidrio	Aguas naturales 1 litro. Agua Residual > 100 ml.	Muestra simple o compuesta	24 hrs.

Continua Cuadro 8.

Parámetro	Preservador	Envase	Volumen de muestra	Observación	Tiempo máximo de almacenamiento
Nitritos	Enfriar a 4°C	Plástico o vidrio	100 ml.	-----	48 hrs.
Color	Enfriar a 4°C	Plástico	> 100 ml.	Muestra simple o compuesta	48 hrs.
Nitrógeno total	Añadir H ₂ SO ₄ hasta pH=1.5–2.0 y enfriar a 4°C.	Plástico	>2 L.	Muestra Simple o compuesta	7 días
Temperatura	Ninguno	Plástico o vidrio	1 L	-----	Analizar de inmediato
Nitratos	Agregar H ₂ SO ₄ a pH < 2. Enfriar a 4°C .	Plástico (PET) o vidrio	500 ml	-----	14 días
Grasas y aceites	Añadir HCl 1:1 a pH <2 Enfriar a 4°C	Vidrio de boca ancha color ámbar	1 L	Muestra Simple o Compuesta	28 días
Hg, As, Se	Agregar HNO ₃ hasta pH < 2. Enfriar a 4°C	Plástico	500 ml por elemento	Envases separados y llenos hasta el tope.	28 días
Metales pesados (excepto Hg, Se y As).	Agregar HNO ₃ a pH < 2. Enfriar a 4°C.	Plástico o vidrio	> 1 L.	-----	6 meses

Continúa Cuadro 8.

Parámetro	Preservador	Envase	Volumen de muestra	Observación	Tiempo máximo de almacenamiento
Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Totales	Enfriar a 4°C	Frasco de Polietileno	500 ml	Muestra simple o compuesta. Tapar el frasco de inmediato.	7 días De preferencia 24 hrs. después del muestreo.
Sólidos Sedimentables	Enfriar a 4°C	Frasco de Polietileno o Vidrio.	> 1 L.	Material en suspensión no debe adherirse a las paredes del recipiente.	7 días. De preferencia 24 hrs. después del muestreo.

Nota:

1.- Evite la agitación de la muestra y su exposición prolongada al aire. Llene el envase completamente hasta el tope y cierre herméticamente.

Las muestras fueron llevadas posteriormente al laboratorio del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) y al de Química de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro para su análisis.

3.5 Métodos empleados para el análisis de las muestras

Todas las determinaciones que se realizaron fueron de acuerdo a lo establecido en las Normas Oficiales Mexicanas, EPA (Environmental Protection Agency. U.S) o protocolos aprobados para laboratorios acreditados.

El número de lecturas realizadas para obtener resultados de campo (pH, Conductividad, Temperatura y Cloro Libre Residual) fue de acuerdo a la variaciones que se presentaron, siendo en su mayoría de 2-4 lecturas, el resultado final fue el promedio de los mismos.

3.5.1 Determinación de las propiedades físicas

a).- Temperatura

La temperatura se determinó en campo con un medidor portátil marca ORION debidamente calibrado, sumergiendo el sensor del instrumento en el efluente, se esperó el tiempo suficiente (según indicador del instrumento) para obtener una lectura de valor constante, se tomaron 3 lecturas y por último se promediaron los mismos.

b).- Sólidos Totales, Suspendidos Totales y Sedimentables

El principio del método se basó en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas, así como la cantidad de materia orgánica contenidos en las aguas residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

Para determinar **Sólidos Sedimentables** se utiliza el método volumétrico que requiere solamente de un cono Imhoff.

c).- Color

Para este caso se empleo un material de referencia certificado con el cual se hicieron diluciones y las comparaciones visuales para dar los valores obtenidos en cada una de las muestras. Se reporta el valor en color aparente y color verdadero. El primero es el color de la muestra debido a sustancias en forma disuelta y proporcionado por sólidos suspendidos, este parámetro es muy poco reproducible ya que el comportamiento de los sólidos suspendidos es muy variable, se mide en la muestra agitada sin filtrar. El segundo es el color de la muestra debido a sustancias en forma disuelta, se mide en la muestra filtrada o centrifugada.

3.5.2 Determinación de propiedades químicas

a).- Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad se obtuvo en el lugar de muestreo con un equipo portátil para CE marca ORION previamente calibrado, por inmersión directa del sensor en el volumen de muestra que fue de 500 ml depositado en un recipiente para tal fin, se tomaron varias lecturas y se promediaron los mismos. La unidad para este parámetro se utilizó el microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

b).- Oxígeno Disuelto (OD)

Este parámetro fue determinado en campo usando el método azida de sodio (Yodométrico), se adicionó una disolución de sulfato manganeso divalente y una disolución alcalina yoduro-azida de sodio a una muestra de agua contenida en un frasco de vidrio tipo Winkler, que debe estar libre de burbujas de aire y permanecer cerrado. El OD, oxida al hidróxido de manganeso disuelto, en cantidad equivalente, para producir un precipitado de manganeso con valencia más alta.

Se acidifica la muestra (ácido sulfúrico) y los iones yoduro reducen al manganeso a su estado divalente produciéndose yodo equivalente al contenido de OD original. El yodo se titula con una disolución normalizada de tiosulfato de sodio. El punto final de la valoración se detecta visualmente con un indicador de almidón. Se mide el volumen gastado de tiosulfato de sodio, y se realizan los cálculos correspondientes.

Para la determinación del OD se puede emplear cualquiera de los dos métodos establecidos en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI.

c).- Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

El método se basó en medir la cantidad de oxígeno que requirieron los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en la muestra de agua residual y se determinó por diferencia el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C (293 °K).

Es importante que las muestras estén conservadas a 4° C en un periodo de mínimo de 24 horas y se lleven a una temperatura de 20° C (293° K) antes de iniciar el análisis.

d).- Cloro libre residual

Parámetro evaluado en campo con un colorímetro marca HACH DREL/2010 debidamente calibrado. El principio del método se basó en la reacción instantánea entre el cloro libre con el N,N-dietil-p-fenilendiamina (DFD) en ausencia de iones yoduro, reacciona en su forma reducida para producir el DFD oxidado de color rojo. Se determinó inmediatamente después de tomar la muestra, evitando el exceso de luz y agitación.

e).- Metales pesados

Digestión ácida

Este se realiza para el tratamiento de las muestras antes de la medición de metales, y pueden llevarse acabo bajo:

a).- Digestión ácida a vaso abierto

Una porción homogenizada de la muestra es digerida con ácido nítrico concentrado y después con HCl concentrado, usualmente con un calentamiento de 90 a 95°C. El Selenio (Se) al ser digerido es reducido a Se IV. El Arsénico es reducido a la forma trivalente.

b).- Digestión ácida por horno de microondas

El mercurio en las muestras de aguas naturales, potables, y residuales pueden estar presente en forma inorgánica, orgánica y elemental. Se requiere de una digestión para oxidar los diferentes mercurios y pasen a la forma (Hg^{2+}). Una cantidad de muestra homogeneizada, es digerida con H_2SO_4 , HNO_3 , KMnO_4 y persulfato de amonio a vaso abierto por 2 horas en baño de agua a una temperatura de 85°C y posteriormente al enfriarse la muestra, el exceso de KMnO_4 es reducido con clorhidrato de hidroxilamina.

Los métodos usados para metales fueron: Absorción Atómica e ICP.

a).- Medición de metales en aguas por Absorción Atómica

Los metales determinados mediante la generación de hidruros fueron Mercurio (Hg) y Arsénico (As) los cuales se realizaron mediante un espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian 250 Plus.

b).- Medición de metales totales en aguas por ICP

Mediante este método se determinaron los siguientes metales: Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Zinc (Zn). El espectrofotómetro de Plasma ICP Termo Jarrel Ash – Iris Advantage da lectura directa de los contenidos de metales presentes en las aguas por aspiración directa.

f).- Nitratos (Método Sulfato de Brucina)

Las muestras fueron colectadas en recipientes de plástico y fueron analizadas lo más pronto posible; debido a que se requirió conservar las muestras por unas horas, se le añadió 2 mL de H₂SO₄ concentrado por litro y se mantuvo en refrigeración a 4°C.

Generalmente las muestras deben ser diluidas para obtener una concentración de nitrógeno de nitratos en el intervalo de concentraciones de 0.1 mg/L a 1.0 mg/L.

La intensidad del color desarrollado es función del tiempo y la temperatura; ambos factores deben ser cuidadosamente controlados.

g).- Nitritos

El principio del método consistió que los nitritos presentes reaccionaran en medio ácido (pH = 1.9 a 2.5), por diazotación con la sulfanilamida para formar una sal de diazonio, la cual por unión con el dihidrocloruro de N-(1-naftil) etilendiamina forma un colorante azóico de color púrpura rojizo que se mide espectrofotométricamente a 543 nm.

h).- Nitrógeno total (Método Kjeldahl)

En éste método los compuestos nitrogenados de la muestra se descomponen con ácido sulfúrico concentrado en caliente, transformándose el nitrógeno de la mayoría de los grupos funcionales orgánicos en amonio. Cuando la descomposición se ha completado la disolución se enfría, se diluye y se alcaliniza con hidróxido de sodio concentrado. El amoniaco liberado se destila y se adsorbe en una disolución de concentración conocida de ácido bórico.

i).- Grasas y aceites

El método permitió una estimación de los mismos en las aguas residuales al determinar gravimétricamente las sustancias que son extraídas con hexano de una muestra acuosa acidificada.

En la determinación no se midió una sustancia específica sino un grupo de sustancias con las mismas características fisicoquímicas (solubilidad). Por lo que incluyó ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia susceptible de ser extraída con hexano.

El método se basó en la adsorción de grasas y aceites en tierra de diatomeas, los cuales son extraídos en un Soxhlet empleando hexano como disolvente. Una vez terminada la extracción se evaporó el hexano y se pesó el residuo que quedó en el recipiente; siendo este valor el contenido de grasas y aceites.

3.5.3.- Determinación del contenido biológico

a).- Número más probable de coliformes totales

El método se basó mediante el cultivo en un medio líquido en tubos múltiples y el cálculo de sus números más probables (NMP) en la muestra. Se inoculó alícuotas de la muestra, diluida en una serie de tubos de un medio de cultivo líquido conteniendo lactosa.

Los tubos se examinaron a las 24 y 48 horas de incubación, ya sea a 308 o 310°K (35 ó 37°C). Cada uno de los que muestran turbidez con producción de gas se resiembró en un medio confirmativo más selectivo.

Esta prueba estándar, también llamada “Técnica de fermentación de tubos múltiples” es usada para medir la densidad de Coliformes totales.

En este método se usaron dos medios de cultivo: caldo lactosado y caldo verde brillante de bilis al 2%. Es selectivo para el grupo de Coliformes fecales.

IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

En esta sección se discutirán los resultados obtenidos de los análisis de las aguas de los 3 muestreos realizados en los lugares y fechas ya descritas.

En cuanto a los valores obtenidos, primero se analizaron las diferencias entre fechas de muestreo por parámetro, posteriormente de manera conjunta entre los tres tipos de agua, por último se compararon dichos resultados con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (Cuadro 12).

Así mismo se consideraron las influencias que pudiera haber de algunos factores sobre los valores resultantes de cada parámetro.

Para las representaciones gráficas, las fechas y sitios de muestreo se identificaron como sigue:

Fechas	Sitios de muestreo
Primer muestreo(16/01/03)= F1	1.- UAAAN
Segundo Muestreo(14/03/03)= F2	2.- FORESTAL
Tercer Muestreo (15/05/03)= F3	3.- ARROYO

Los rangos que se presentan son los valores mínimos y máximos obtenidos en los análisis.

4.1.- Parámetros Determinados

a).- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

De acuerdo con la Norma Oficial mencionada las cantidades de los diferentes parámetros estudiados varían según el uso que se le de al agua , en este caso se pretende un uso agrícola o sea una aplicación directa al suelo por lo que no aplica el límite máximo permisible para DBO₅.

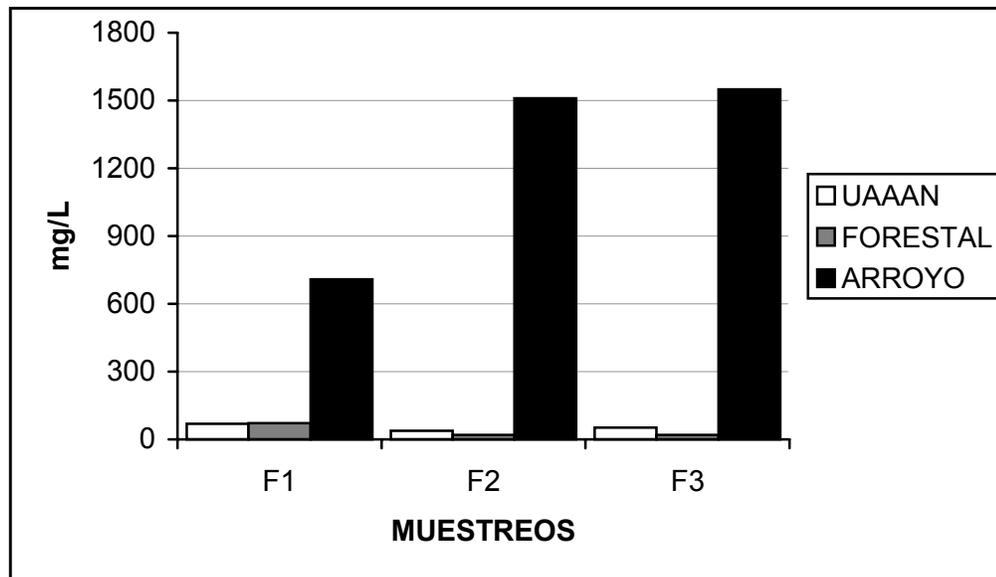


Figura 11. Comparación de los valores de DBO₅ en los diferentes muestreos.

Observando la figura 11, la muestra UAAAN tiene un valor inicial de 68.65 mg/L, éste disminuye hasta 37.46 mg/L en la fecha 2, pero incrementa en la fecha 3 a 52 mg/L. En la muestra FORESTAL se observa la misma tendencia que en la muestra UAAAN es decir F1 presentó 71.25 mg/L, disminuye a 19.6 mg/L en F2 e incrementa ligeramente en F3 a 20.3 mg/L. En estos dos casos se puede observar que prácticamente no hay diferencias importantes entre las dos aguas esto es debido a que son aguas con tratamiento.

La tendencia anterior no va en el mismo sentido en el caso del agua de ARROYO donde se tienen valores que varían desde 708.3 a 1550.0 mg/L, lo que se puede considerar normal ya que se trata de agua sin tratamiento y únicamente se lleva a cabo una pequeña autodepuración a través del recorrido en el canal a cielo abierto.

b).- Potencial Hidrógeno (pH)

El rango máximo permisible de pH según lo establecido en la Norma Oficial en materia es de 5 – 10 unidades; en todos los puntos y épocas de muestreo, los valores extremos obtenidos están dentro del rango. Sin embargo; como se muestra en la figura 12, hay diferencias notables entre una fecha y otra, como es el caso de la muestra UAAAN que desde la F1 a la F3 decrece paulatinamente de 9.53 hasta 7.52. Para la muestra ARROYO sucede casi lo mismo, ya que de un pH inicial de 9.10 decrece hasta 7.38; por otro lado la muestra FORESTAL no mostró muchos cambios permaneciendo entre 7.11 en F1 y 7.19 en F3.

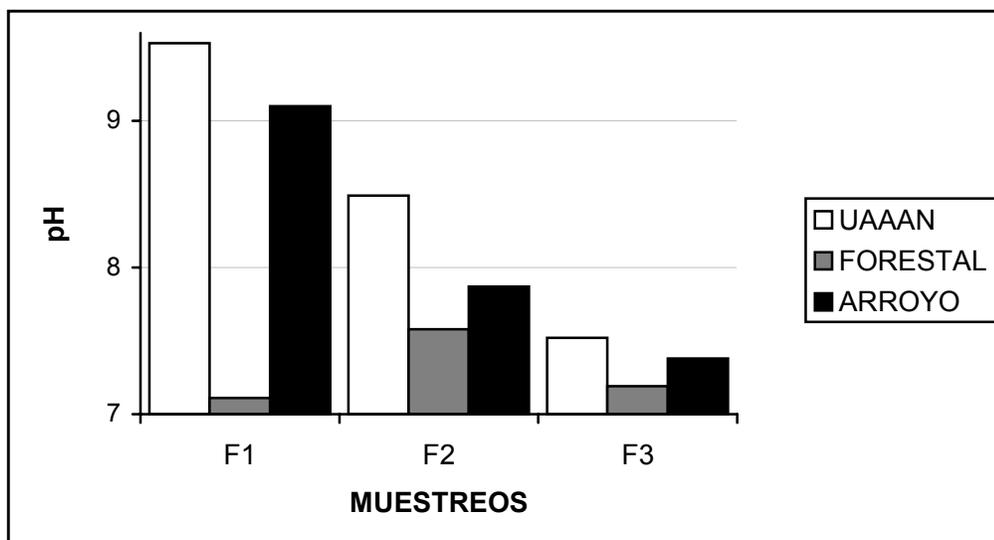


Figura 12. Variaciones de pH en las aguas muestreadas.

La presencia de pH's altos en las F1, en los casos de la UAAAN y ARROYO, puede deberse según la observación realizada durante el momento de muestreo a la disminución del nivel de agua, ya que el flujo del efluente que era mucho menor comparado con las siguientes fechas, por lo que el agua pudo estar más concentrada en cuanto a minerales durante el primer muestreo.

La pequeña diferencia que se obtiene en la muestra FORESTAL posiblemente se deba al control del proceso de tratamiento de la planta.

c).- Conductividad Eléctrica (C.E)

El comportamiento de éste parámetro en las distintas fechas y aguas, se muestra en la figura 13.

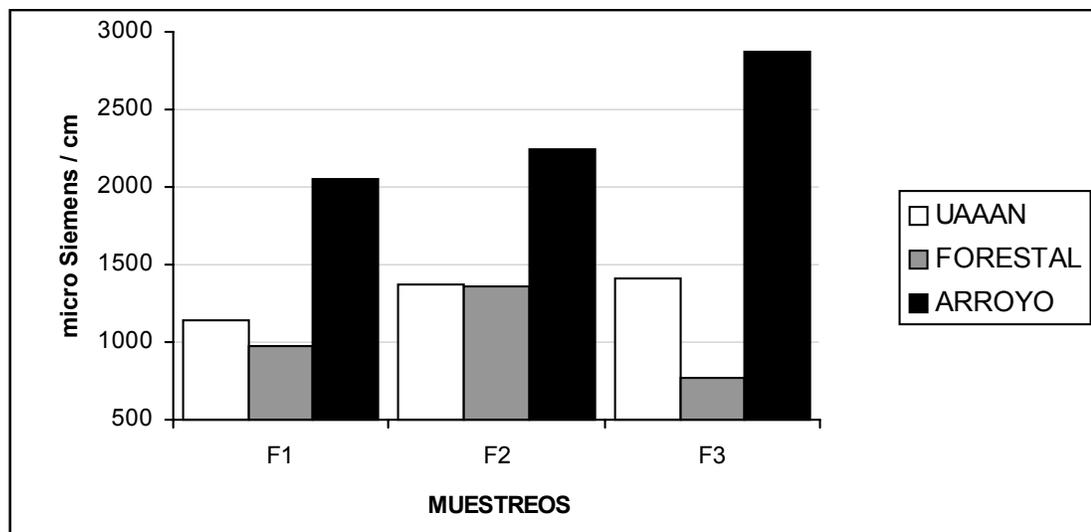


Figura 13. Variaciones de la C.E de las aguas muestreadas.

Como se puede observar los valores más altos se obtuvieron en la muestra ARROYO, cuyo valor oscila entre los 2050 y 2870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la F1 y F3 respectivamente y para las mismas fechas la muestra UAAAN presentó valores de 1139 – 1412 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la FORESTAL presenta valores desde los 770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la F3 llegando a alcanzar los 1360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la F2. Los valores mas altos del arroyo se dan por la presencia de sales solubles y efectos de la temperatura.

Estas cantidades deben ser consideradas cuando el agua es utilizada para el riego de cultivos, ya que a la larga puede provocar problemas de salinidad en el suelo, en este caso con mayor facilidad el agua del ARROYO.

d).- Coliformes Totales y Fecales

Para los límites máximos permisibles en cuanto a contaminación microbiológica, la Norma Oficial NOM-001-SEMARNAT-1996, considera a los coliformes fecales (fracción de coliformes totales) para tal fin y dependiendo del uso que se le dé a las aguas los valores son los siguientes:

Para usos de contacto directo al público, la Norma Oficial NOM-003-SEMARNAT-1997, establece como límite máximo permisible un valor de 240 NMP/100 ml y 1000 NMP/100 ml en contacto indirecto u ocasional. En la norma SEMARNAT 001 indica que para riego agrícola el limite es de 2000 NMP/100 ml.

En la mayoría de las muestras como se observa en la figura 14b, sobrepasan los límites establecidos excepto en la muestra FORESTAL que en la F2 y F3 presentan un valor < 3 NMP/100ml, como resultado de la desinfección con cloro que se lleva acabo en la planta.

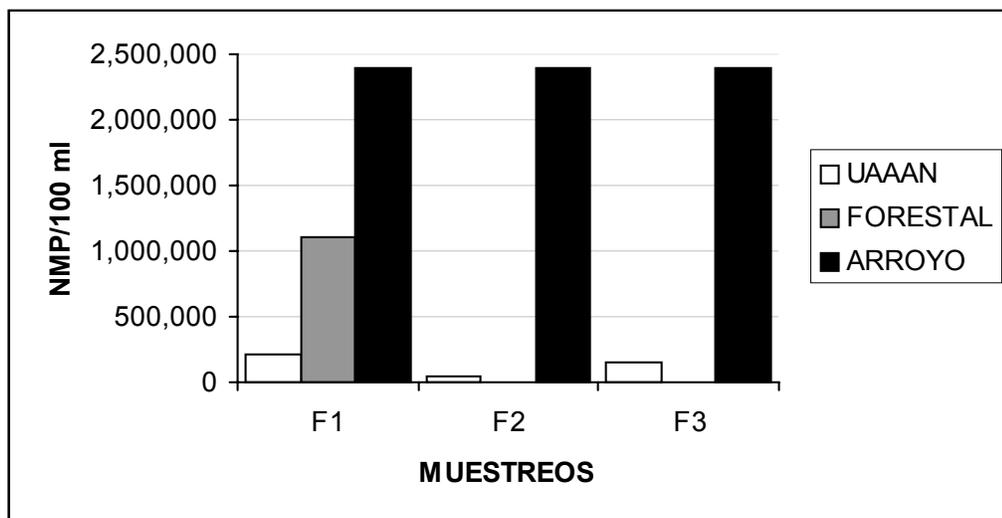


Figura 14a. Variaciones en coliformes totales durante los muestreos realizados.

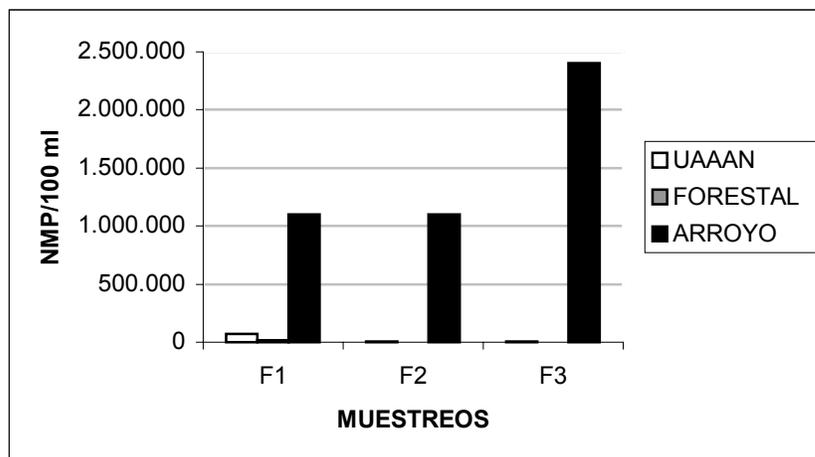


Figura 14b. Variaciones en Coliformes fecales en los muestreos realizados.

e) Grasas y aceites

Estas cantidades sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997 que marcan entre 15 y 25 mg/L. El cual no sucede con las muestras restantes.

Como aparece en la figura 15, los valores de la muestra UAAAN comprende desde los 8.0 mg/L en la F3 a 11.30 mg/L en la F1; en el caso de la FORESTAL tiene los valores más bajos, desde 2.62 mg/L en la F3 hasta 9.11 mg/L en la F1.

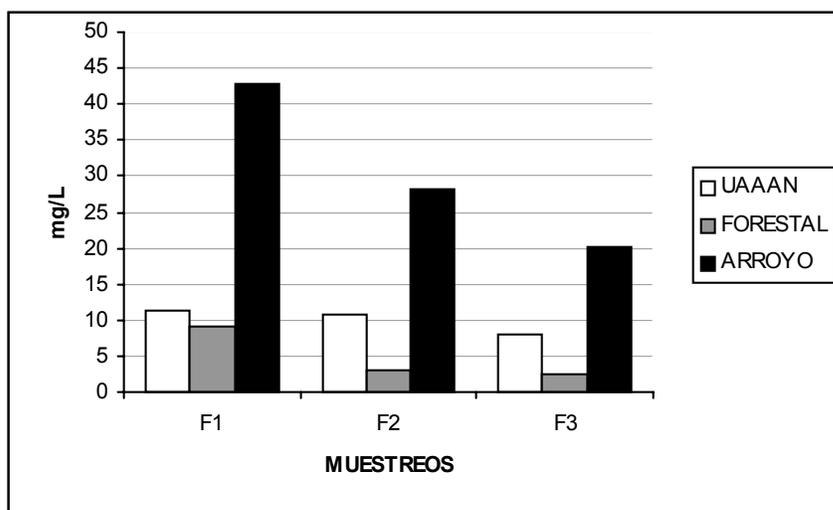


Figura 15. Variaciones en grasas y aceites en los diferentes muestreos

La tendencia de este contaminante en los tres muestreos es a la baja tomando en cuenta los valores iniciales. Posiblemente la causa de ésta sea por efecto de la Temperatura o bien las descargas en el sistema de alcantarillado del mismo se minimizaron. Las concentraciones altas que se dieron en las F1 pueden deberse según las observaciones realizadas en el momento de muestreo al poco flujo que existía y por lo tanto mayor concentración tal es el caso de las muestras ARROYO y UAAAN.

f).- Temperatura

De acuerdo con la norma oficial en materia y por ser el suelo el cuerpo receptor de las aguas en estudio los límites máximos permisibles en este rubro NO APLICA. Analizando los cambios que se muestran en la figura 16, la tendencia es a la alza tanto en las tres fechas como en los puntos muestreados el mismo día.

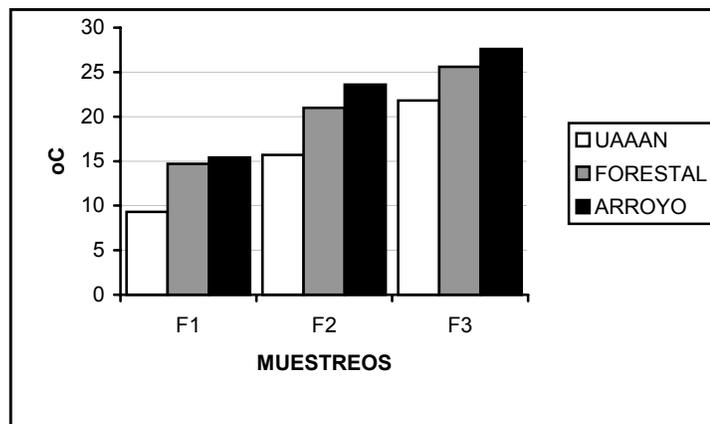


Figura 16. Cambios de Temperatura durante los muestreos realizados.

Las temperaturas obtenidas desde la F1 a F3 en todas los muestreos es como sigue: En la muestra UAAAN se presentó un valor inicial de 9.3 hasta 21.8°C , para la muestra FORESTAL se obtuvieron valores desde 14.7 a 25.6 °C y para el agua del ARROYO de 15.4 hasta 27.6 °C.

Como se observa los valores mínimos se obtuvieron en la F1, esto se debe al clima predominantemente frío que se da durante el invierno en la zona de estudio y los valores más altos en la F3, ya que para la fecha (mayo 15) comienza a presentarse un clima caluroso en la región.

La diferencia que existe en la misma fecha en los puntos estudiados se debe a la hora de muestreo, que para la UAAAN fueron en las mañanas, la FORESTAL a medio día y el ARROYO por la tarde.

g).- Nitrógeno Total (Kjeldahl)

Los valores de Nitrógeno Total que considera la Norma en materia es la suma de los Nitrógeno de Nitratos, N de Nitritos y N Kjeldahl.

Analizando la figura 17, demuestra las diferencias que existieron por fechas y aguas para este parámetro.

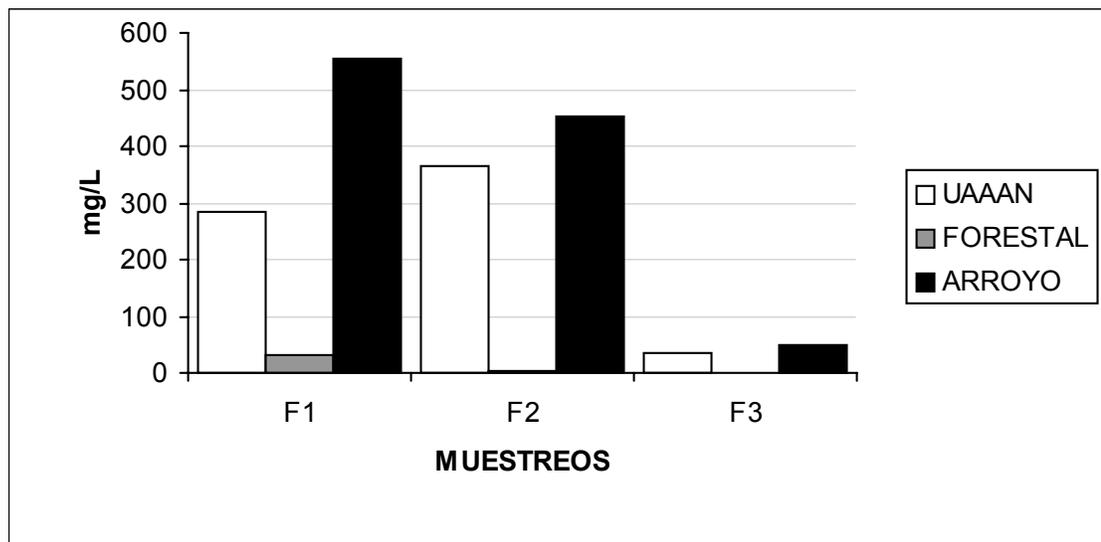


Figura 17. Variaciones en Nitrógeno Total en los diferentes muestreos.

Los valores de la muestra UAAAN va desde los 33.4 mg/L en la F3 a 364 mg/L como máximo en la F2. Para la muestra FORESTAL presentó los valores más bajos, la tendencia es a la baja durante los tres muestreos, siendo el valor mínimo de 0.94 mg/L obtenido en la F3 y como máximo de 30.63 mg/L de la F1.

Los valores más altos lo representa la muestra ARROYO que va desde 48.32 mg/L en la F3 hasta 554.5 mg/L en la F1.

Estos valores máximos y mínimos obtenidos pueden ser normal por el tipo de tratamiento que reciben esta agua, asimismo por el tipo de uso que se le da a las mismas, NO APLICA los límites máximos permisibles establecidos en la norma Oficial 001. Cobra importancia tal contenido ya que es benéfico en cuanto a la aportación de Nitrógeno al suelo, al usarse esta agua para el riego de cultivos pero no así para otros usos como en el caso de almacenamiento prolongado del agua donde puede presentarse el fenómeno de eutrofización.

h).- Nitratos

Como se muestra en la figura 18, los valores obtenidos es como sigue:

La muestra UAAAN presentó cantidades desde 0.10 mg/L en la F3 hasta 1.01 mg/L en la F2; la FORESTAL de 0.21 mg/L en la F1 hasta 0.87 mg/L en la F2, la muestra ARROYO de 0.11 mg/L en la F2 incrementa a 0.18 en la F1.

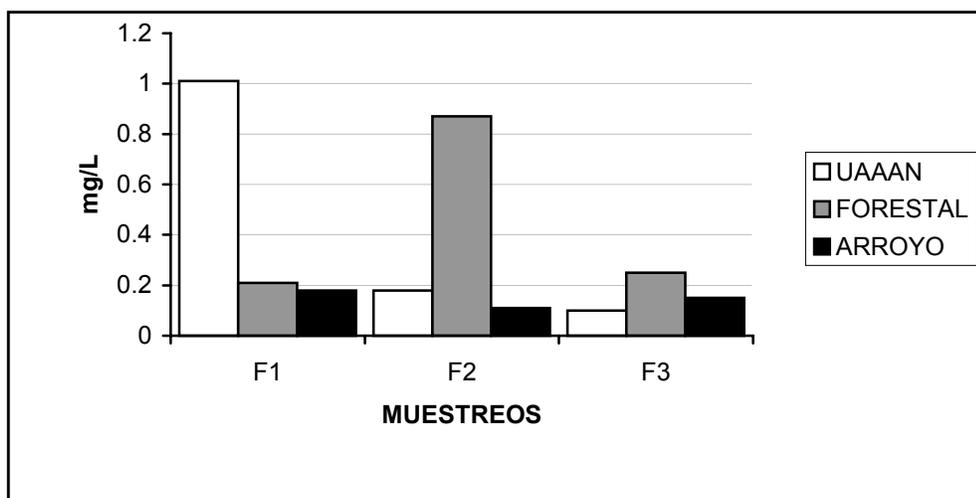


Figura 18. Variaciones de Nitratos en los diferentes muestreos y aguas.

Los valores presentados no son problemáticos, ya que el agua se usa para la agricultura.

Los altos contenidos se pueden deber a efectos del pH, entre otros, ya que se ha determinado que la tasa máxima de nitrificación se da entre pH's de 7.2 a 9.0, también se puede dar cuando el proceso de nitrificación termina de manera satisfactoria o se dan las condiciones necesarias para ello en el agua. De cualquier manera esta muy por debajo de los límites críticos que va desde los 10 a 45 mg/L de nitratos (Seoáñez, 1996).

i).- Nitritos

Analizando el comportamiento de los Nitritos que se presenta en la figura 19, los valores mas altos se da en la muestra UAAAN, cuyo rango es de 0.005 a 0.828 mg/L obtenidos en las F3 y F1. Estos valores cobran importancia por la posibilidad de su presencia y acumulación en el suelo y pudiera tener efectos tóxicos en caso de una posible acumulación y su posterior infiltración a los mantos acuíferos.

Para la muestra FORESTAL y ARROYO, se comportan de la misma manera ya que ambos presentan valores de 0.001 y 0.004 mg/L obtenidos en la F3 y F1.

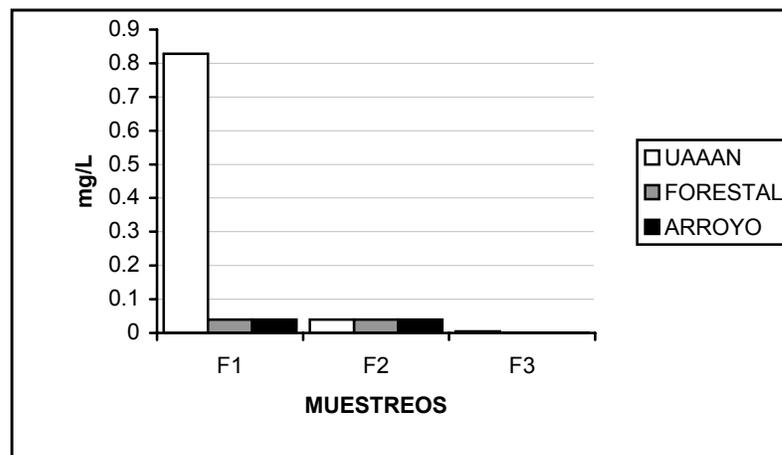


Figura 19. Variaciones en contenido de Nitritos en las aguas muestreadas.

Las variaciones que se presentan se pueden dar por efectos de un proceso anaeróbico y que algo del nitrógeno se acumule en forma de nitritos.

j).- Metales Pesados

Los metales determinados fueron: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn).

Los que no fueron detectados en ninguna muestra son: Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb). En la figura 20, se presentan los resultados de los metales restantes.

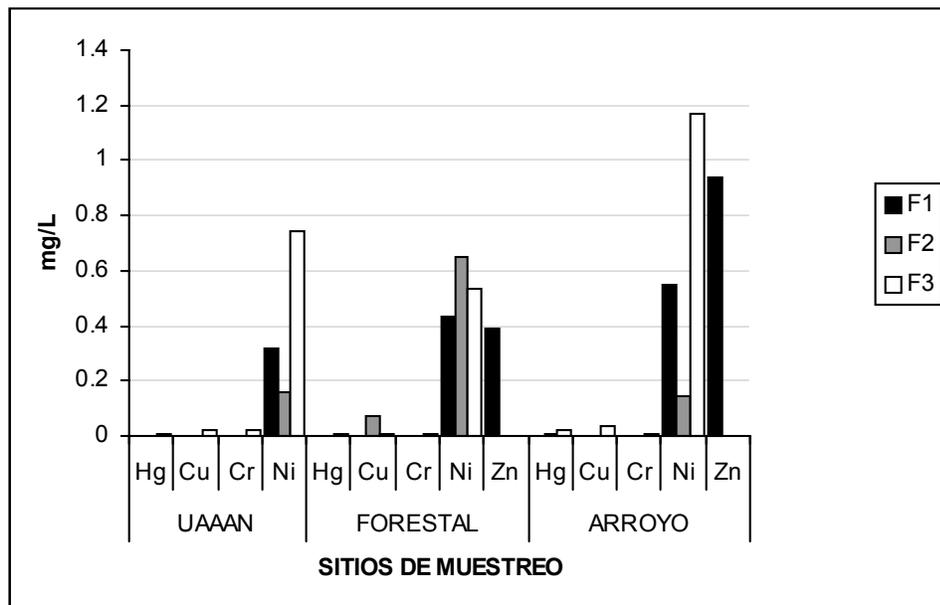


Figura 20. Variaciones de metales pesados en los muestreos realizados.

Analizando el comportamiento que se presenta en la figura nos muestra lo siguiente:

El **Mercurio (Hg)** presente en la muestra UAAAN es de 0.0079 mg/L, la FORESTAL de 0.0067 mg/L ambos en la F3 y la muestra ARROYO con 0.0066 mg/L en F2 y 0.183 mg/L en la F3.

Considerando el tipo de uso de las dos primeras aguas, aunque se haya presentado en un muestreo, las cantidades presentes no exceden los límites máximos permisibles siendo de 0.005 - 0.01 mg/L solo en el caso del ARROYO, que en la F3 si excedió el límite.

Cobre (Cu), hace presencia en la muestra UAAAN con 0.019 mg/L en la F3, la FORESTAL con 0.0066 mg/L en la F3 y 0.0713 en la F2 y la muestra ARROYO con 0.034 mg/L en la F3. Éstas cantidades son muy inferiores a los límites máximos permisibles de 4-6 mg/L, por lo que no hay problema alguno con este metal.

Cromo (Cr), analizando la presencia de este metal observamos que en la muestra UAAAN tiene 0.0203 mg/L, la FORESTAL con 0.009 mg/L y la del ARROYO de 0.0038 mg/L, todos en la F3. Las concentraciones están muy debajo de los límites máximos que son de 0.5-1.0 mg/L., lo cual indica que no existe problema con el elemento. Sin embargo es necesario hacer notar que este elemento es considerado como peligroso cuando se presenta en su forma hexavalente.

Níquel (Ni), Como se observa este elemento se detectó en todas las muestras, los valores fueron los siguientes:

La muestra UAAAN presentó valores desde 0.156 mg/L en la F2 hasta 0.7463 en la F3, la FORESTAL de 0.432 mg/L en la F1 a 0.6523 en la F2.

La muestra ARROYO de 0.1426 mg/L en F2 llegó alcanzar hasta 1.1686 mg/L en la F3. Los límites máximos establecidos son de 2-4 mg/L., por lo que se descarta la probabilidad de desarrollar algún problema por este elemento.

En cuanto al **Zinc (Zn)**, Este elemento solo se presentó en la muestra FORESTAL y ARROYO, quedando como sigue: La muestra forestal presentó un valor de 0.388 mg/L en la F1, la ARROYO con 0.9395 mg/L. Estos valores son mucho menores al límite máximo permisible que son de 10-20 mg/L.

Aunque los niveles en metales son bajos, el riego constante a cultivos puede incrementar las cantidades en el suelo y debido a que algunos cultivos y suelos son capaces de retenerlo, se debe tener cuidado sobre todo con los que pudieran causar toxicidad a las plantas, al medio ambiente del suelo y al humano.

k).- Sólidos Totales

La representación gráfica de la figura 21, demuestra las cantidades presentes de sólidos totales.

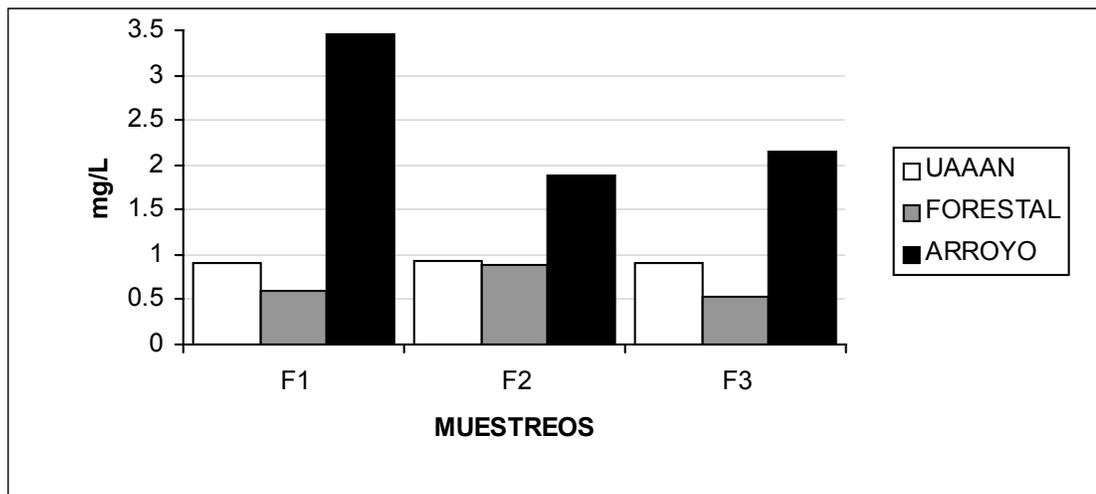


Figura 21. Diferencias en contenido de Sólidos Totales en los muestreos realizados.

Como se puede observar, la muestra UAAAN presenta valores desde 0.898 mg/L hasta 0.933 mg/L, la FORESTAL de 0.522 mg/L hasta 0.883 mg/L ambas muestras en la F3 y F2. La muestra del ARROYO presenta los valores más grandes que van desde 1.883 mg/L en la F2 hasta 3.445 mg/L en la F1.

Este parámetro no está considerado en la Norma Oficial Mexicana, pero tiene importancia en cuanto a los efectos negativos que puede originar a los sistemas de riego.

I).- Sólidos Suspendidos Totales

La Figura 22, presenta los cambios que se dieron durante los muestreos en cuanto a las cantidades de estos, como se nota la muestra UAAAN presentó valores desde 0.014 mg/L a 0.066 mg/L, la FORESTAL de 0.0001 mg/L a 0.009 mg/L, la del ARROYO de 0.093 mg/L a 0.1357 mg/L, resultados de la F2 y F3 de las tres muestras.

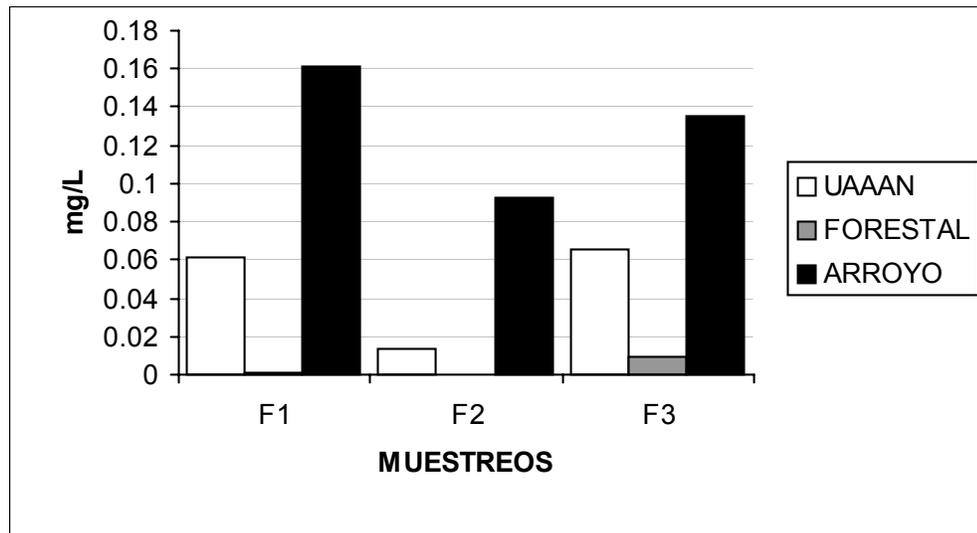


Figura 22. Variaciones en Sólidos Suspendidos Totales en los muestreos realizados.

Estas cantidades no representan ningún problema ya que de acuerdo al uso que se da, No Aplica los límites máximos permisibles en la normatividad.

Los valores bajos que presentaron las muestras UAAAN y FORESTAL, son posibles por el proceso de sedimentación en la laguna de oxidación, la filtración y por los tanques de clarificación de la planta tratadora.

m).- Sólidos Sedimentables

En la figura 23, se representa el contenido de Sólidos Sedimentables presentes en las aguas muestreadas.

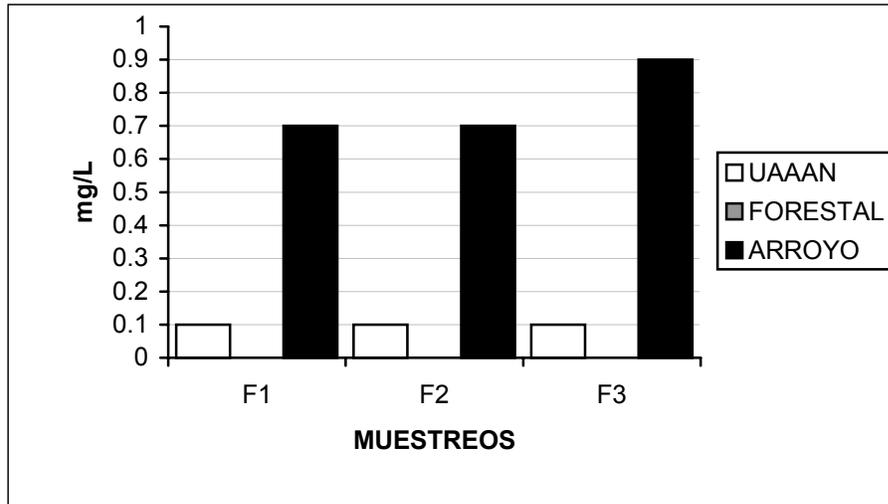


Figura 23. Variación de Sólidos Sedimentables en los muestreos realizados.

Como se observa, la muestra UAAAN tiene valores menores a 0.1 mg/L en los tres muestreos, mientras que la ARROYO comprende desde los 0.6 mg/L en la F2 hasta 0.9 mg/L en la F3. La FORESTAL no presentó estos Sólidos.

Aunque es un parámetro que deba tomarse en cuenta para el caso de las aguas residuales y su uso en suelo, de acuerdo a la norma No aplica los límites establecidos; es importante señalar que éstos Sólidos contribuyen a la turbidez del agua, incrementar el crecimiento biótico y DBO en la misma.

n).- Cloro Libre Residual

En la figura 24, se muestra el contenido en Cloro Libre Residual. Como se observa la única muestra que presentó valores mayores a la escala mínima del instrumento utilizado (< 0.01 mg/L) es la de FORESTAL, ya que durante el tratamiento el agua es sometida a una cloración.

El valor establecido en la planta FORESTAL es de 5 ppm, como valor máximo permitido de Cloro Libre Residual. Los valores obtenidos varían desde 0.09 mg/L en la F3 a 0.41 mg/L en la F1.

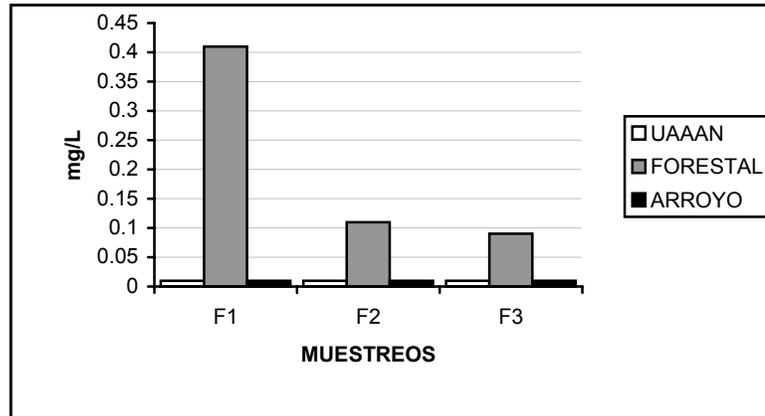


Figura 24. Variaciones en Cloro Libre Residual en los muestreos realizados.

Estas variaciones se pueden deber a efectos de la temperatura, dosificación del cloro, tiempo de agitación de la muestra durante la determinación, fuente de cloro, viento, entre otros.

Aunque la Norma Oficial no lo considera, es importante mencionar que en concentraciones menores a 1 mg/L, no presenta problemas al ser usado en riego de cultivos pero en cantidades mayores a 5 mg/L puede dañar en forma irreversible a las plantas si se aplican directamente (Metcalf and Heddy Inc, 1996).

V CONCLUSIONES

Uno de los objetivos del presente trabajo fue determinar las características que presentan las diferentes aguas estudiadas, en base a los resultados obtenidos de los parámetros analizados, se puede concluir lo siguiente:

- ❖ El agua de la Laguna de Oxidación de la UAAAN producto final del proceso de tratamiento y considerando el uso que actualmente se le da, presenta los siguientes problemas:
 - Alto contenido en coliformes.
 - Hace presencia en su contenido el metal Mercurio (Hg).
 - Conductividad relativamente alta, por lo que se considera agua de salinidad media.

A pesar de la falta de mantenimiento a la planta de tratamiento de la UAAAN, confirma que los sistemas de tratamiento natural pueden ser tan efectivos como una planta de tratamiento convencional, siempre que se conserve de manera adecuada cada parte de los mismos y poner énfasis en los coliformes totales y fecales.

- ❖ El agua de la planta tratadora de la Escuela de Forestal, tiene casi los mismos problemas, pero la presencia de Coliformes a pesar de la aplicación de cloro, se debe a una falta de control en la etapa de cloración en el sistema de tratamiento, por lo que puede ser corregida inmediatamente dicho problema y evitar el alto contenido de microorganismos.

- ❖ Aún con éstas cuestiones, estas aguas (UAAAN y FORESTAL) y otras cuyas características sean similares, son aceptables siempre y cuando sean vertidos en algún cuerpo receptor, para usos como los siguientes:

Vertido en ríos:

- Riego agrícola y uso público urbano (riego de parques, jardines, pavimentación, construcción, sistemas de enfriamiento industrial, etc.)
- Protección de vida acuática (especies en protección)

En embalses naturales y artificiales:

- Uso público urbano y riego agrícola.

En aguas costeras:

- Explotación pesquera, navegación y otros.
- Recreación y Estuarios.

- ❖ En cuanto a la situación del agua del arroyo denota los siguientes problemas:

- Alto contenido en grasas y aceites.
- Alto contenido en DBO_5 .
- Alto contenido en Nitrógeno Total.
- Presencia del metal Mercurio (Hg).
- Cantidad extremadamente alto en coliformes.
- Agua considerada altamente salina.

Esta agua presenta tales características ya que no recibe ningún tratamiento, por ello no existe alternativa alguna para su uso.

- ❖ El conocimiento de las condiciones actuales de las aguas estudiadas da un panorama general acerca de la efectividad de los sistemas de tratamiento (FORESTAL y UAAAN), así como la importancia del control que existe en los mismos.

- ❖ El agua de mejor calidad obtenido es el de la planta tratadora de la Escuela de Forestal, no obstante hay que considerar los máximos controles que se llevan acabo en ella, el gasto de energía que realiza y que la falta de ella causaría el paro de la misma.

- ❖ Al comparar los diferentes manejos que reciben las aguas estudiadas, se cumple otro objetivo en este estudio: El conocer las condiciones en que pueden estar las aguas que no son tratadas hasta las que reciben un sistema de tratamiento moderno.

VI RECOMENDACIONES

- ❖ Debido al contenido de coliformes presentes en éstas aguas es necesario destinarlas al riego de cultivos que no sean de consumo directo, ya que muchas veces la desinfección ordinaria no basta para eliminar los microorganismos patógenos, de igual manera el personal encargado de manipular los sistemas de riego y los cultivos no se expongan o tengan contacto directo con las aguas.
- ❖ Para que haya alguna alternativa al reuso de las aguas del ARROYO, es necesario establecer un sistema de tratamiento, ya sea natural o convencional.
- ❖ En cuanto a la presencia del metal Mercurio en las muestras UAAAN y FORESTAL, es necesario confirmar la misma con nuevas pruebas, ya que en este estudio solo se presentó en un muestreo y en este caso no se considera significativo tales datos.
- ❖ Las aguas de salinidad media (UAAAN y FORESTAL), puede usarse al riego de cultivos siempre y cuando haya un lavado moderado y buen drenaje o establecer plantas moderadamente tolerante a sales.
- ❖ En caso de destinar las aguas tratadas de la UAAAN y FORESTAL para uso público urbano y de protección a la vida acuática será necesario minimizar las cantidades de coliformes, DBO₅ y Nitrógeno Total. Para los usos en estuarios basta con disminuir la DBO₅ en ambas aguas.

- ❖ Es posible evitar la alta presencia y variación de la cantidad de coliformes en las aguas tratadas (caso forestal), con la verificación constante del buen funcionamiento de los dosificadores este caso de cloro y elegir una fuente efectiva del mismo.
- ❖ Es importante destacar que dependiendo del objetivo que se persiga, además de los parámetros incluidos en este estudio, es posible agregar más variables para una caracterización completa, dentro de ellas se puede mencionar, determinación de Fósforo Total (P), Sulfatos (SO_4), Carbonatos(CO_3), Bicarbonatos (HCO_3), Sodio (Na), Hierro (Fe), Cloruros, por su importancia en la contaminación biológica: Los Huevos de Helminto, entre otros.
- ❖ Por último para incrementar la efectividad de los sistemas de tratamiento tanto de la UAAAN como la FORESTAL es necesario el mantenimiento constante y efectivo de las instalaciones.

VII BIBLIOGRAFÍA

APHA-AWWA-WPCF. 1989. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 1ª edición. Editado Díaz de Santos. España.

Bernabe, A. V. 1996. Alternativas de tratamiento de las aguas residuales domésticas para su reuso agrícola en la U.A.A.A.N. Tesis Licenciatura. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila. México.

Boyd, C.E. 1970. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters. Econ. Bot. 24. pp.95-103.

Clesceri, L. S. Greenberg, A. E. y Trussel, R. R. 1976. APHA – AWWA – WPCF –Standar methods for the examination of water and waste water. Métodos para varios análisis. 14ª edición. USA.

Clesceri, L. S. Greenberg, A. E. y Trussel, R. R. 1989. APHA – AWWA – WPCF –Standar methods for the examination of water and waste water. Métodos para varios análisis. 17ª edición. USA.

De León, M. J. 1986. Determinación de la calidad de las aguas de desecho en Ramos Arizpe, Coahuila con fines agrícolas. Tesis Licenciatura, U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México.

De Santiago, A. O. 2001. Utilización de aguas residuales en el cultivo de triticale (X. Triticosecale Wittmack) variedad AN-33, para la producción de forraje. Tesis Licenciatura. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah. México.

Enviromental Protection Agency. Método de prueba E.P.A. 200.7. Determinación de los metales Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zn por ICP. U.S.

Enviromental Protection Agency. Método de prueba. E.P.A 351.3. Determinación de Nitrógeno Total Kjeldahl. U.S.

Hernández, C. A. 2001. Efecto de las aguas residuales en suelos con enfoque agrícola en el Valle del Mezquital. Tesis Licenciatura. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México.

Herrera, M. A. 2002. Determinación de indicadores de calidad del agua en el Arroyo “Del Pueblo” de Saltillo, Coahuila. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México.

Hinrichsen, D. y Dobey, B. 2000. Población y medio ambiente: el reto global. Population Reports, Serie M. No. 15. U. S. A.

Imaoka, T y Teranishi, S. 1988. Rates of nutrient uptake and growth of the water hyacinth *Eichhorhria crassipes*. Solme.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); Dirección General de Geodesia (INEGI-DGG): Superficie de la República Mexicana por Geodesia; México, 1999.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Datos definitivos. INEGI. México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI): Censo General de Población y Vivienda 2000; tabulados básicos, Aguascalientes, Ags., 2001.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2002. Anuario Estadístico de Coahuila de Zaragoza, Edición 2002; México, Diciembre del 2002.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Anuario de estadísticas por entidad federativa. Edición 2003. Aguascalientes, Aguascalientes, México 2003.

Kandiah, A. y Espanhol, . 2001. Necesidades de investigación sobre aspectos agrícolas y sanitarios. CEPIS - OPS. Perú.

Lesser, U. J. M. 1996. Estudio geohidrológico de la Zona Saltillo – Ramos Arizpe, Coahuila. Comisión Nacional del Agua – Coahuila. México.

Martinez, O. V. 2001. Utilización de aguas residuales en el cultivo y aprovechamiento de *Kochia Scoparia* (L) (Schrad). Tesis Licenciatura. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México.

Melville, R. y Cirelli, C. 2000. La crisis del agua: sus dimensiones ecológica, cultural y política. Memoria. Rebelión: Noticia. México.

Metcalf & Heddy, Inc.; Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Tomo 2. 3ª Edición. McGraw-Hill. México, D.F. 1996.

Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. Método de prueba para el Muestreo de Aguas Residuales.

Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2000. Método de prueba para la determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2000. Método para la determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2000. Método de prueba para la determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2000. Método de prueba para la determinación de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001. Método para la determinación de Oxígeno Disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-014-1980. Método para el muestreo de aguas naturales, residuales y residuales tratadas en cuerpos receptores.

Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001. Método para la determinación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001. Método de prueba para la determinación de Sólidos Disueltos en agua en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-042-1987. Método para la determinación del número más probable de coliformes totales y fecales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-045-SCFI-2001. Método para la determinación de Color en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001. Método para la determinación de metales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. Método para la determinación de nitrógeno de nitratos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2001. Método para la determinación de Conductividad Eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Mexicana NMX-AA-099-1987. Método para la determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México D.F.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicio al público. México D.F.

Pimentel, G. O. 2000. Plan Municipal de Desarrollo. Saltillo 2000. Coahuila, México.

Protocolo "Hach 8020". Método para la determinación de Cloro libre residual en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Quadri de la Torre, G. Aguas residuales de la zona metropolitana de la ciudad de México: Impactos y perspectivas; Departamento del D.F; Fundación Friedrich Ebert; México, D.F.; 1984.

Sánchez, M. A. 1988. Diagnostico del uso de las aguas residuales en la agricultura de la región lagunera. Tesis Licenciatura. U.A.A.A.N. Torreón, Coahuila, México.

Seoáñez, C. M. 1999a. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Colección Ingeniería del Medio Ambiente. 2ª. Edición. Mundi-Prensa. España.

Seoáñez, C. M. 1999b. Aguas residuales: Tratamiento por humedades artificiales; fundamentos científicos, tecnologías y diseño. Colección Ingeniería del Medio Ambiente. Mundi-prensa. España.

Ramhalo, R.S. 1996. Tratamiento de aguas residuales. Reverté. España.

Wang. W.L. et.al., 1954. Animal parasites in sewage and irrigation water, SIW. 26.

Zamora, G. R. 2001. Utilización de aguas negras en el cultivo de triticale (X. Triticosecale Wittmack) variedad AN-57, para la producción de forraje utilizando como testigo agua normal. Tesis Licenciatura. UA.A.A.A.N. Saltillo, Coah. México.

VIII APENDICE

Cuadro 9

PLANTAS DE TRATAMIENTO Y EN OPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES, CAPACIDAD INSTALADA Y VOLUMEN TRATADO A NIVEL NACIONAL Y ESTATAL (COAHUILA), CORRESPONDIENTE A LOS AÑOS 2000 Y 2001.

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	PLANTAS DE TRATAMIENTO	CAPACIDAD INSTALADA (LPS)	PLANTAS EN OPERACIÓN	VOLUMEN TRATADO (LPS)
TOTAL	1018	75973	793	45927
Año 2000				
Año 2001	1132	80622	938	50810
COAHUILA				
TOTAL	15	1524	09	962
Año 2000				
Año 2001	15	1564	06	1022

Fuente: CNA. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 2000 y 2001, México, D.F.; publicada por INEGI en el anuario estadístico edición 2003.

Cuadro 10

DESCARGAS Y VOLUMEN DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES DE CONTROL FEDERAL POR ORIGEN EN EL ESTADO DE COAHUILA, MÉXICO, 2001.

ORIGEN	DESCARGAS AGUAS RESIDUALES	VOLUMEN DE AGUAS RESIDUALES (MILLONES DE METROS CUBICOS)
TOTAL	377	142.95
MUNICIPAL	31	112.51
INDUSTRIAL	110	20.30
SERVICIOS	202	9.98
ACUÍCOLA	02	0.12
AVÍCOLA	32	0.04

Fuente: CNA. Gerencia estatal, Subgerencia de Ingeniería y Apoyo Técnico, publicada por INEGI en el anuario estadístico 2002.

Cuadro 11

PLANTAS DE TRATAMIENTO EN USO, CAPACIDAD INSTALADA, VOLUMEN DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ESTADO, MUNICIPIOS DEL AREA DE ESTUDIO Y TIPO DE SERVICIO, 2001.

MUNICIPIO/ TIPO DE SERVICIO	PLANTAS DE TRATAMIENTO	CAPACIDAD INSTALADA (MILLONES DE M³)	VOL. TRATADO (MILLONES DE M³)
ESTADO COAHUILA	65	1898.2	48.4
PUBLICO	05	662.3	13.6
PRIVADO	60	1275.9	34.8
RAMOS ARIZPE	13	221.4	3.8
SALTILLO	09	209.4	3.6

Fuente: CNA, Gerencia estatal, Subgerencia de Ingeniería y Apoyo Técnico, publicada por INEGI en el anuario estadístico 2002.

Cuadro 12

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT –1996. QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE
CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES
LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS**

PARAMETROS	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)	Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano(C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuario (B)		Uso en riego agrícola (A)				
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Sólidos Sedimentables (m/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

A: Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006

Especificaciones: Límite máximo permisible para pH: 5-10.

P. M: Promedio Mensual P. D: Promedio Diario

Parámetro para contaminación microbiológica: Coliformes fecales, los límites máximos permisibles para el uso de aguas residuales en riego agrícola son de 1000-2000 NMP/100 ml.

Continua Cuadro 12

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996. QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BASICOS (METALES PESADOS)																				
PARAMETROS (*)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
(miligramos por litro)	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	0.2
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.2
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario

P.M. = Promedio Mensual

N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Cuadro 13

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997. QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO

TIPOS DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y aceites m/l	DBO₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1000	≤ 5	15	30	30

Cuadro 14

RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUAS MUESTREADAS										
ANALITOS	Unidad	UAAAN			FORESTAL			ARROYO		
		F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Temperatura	°C	9.3	15.7	21.8	14.7	21	25.6	15.4	23.6	27.6
Grasas y Aceites	mg/L	11.3	10.72	8	9.11	3.07	2.62	42.9	28.21	20.17
Acidez y alcalinidad	mg/L (CaCO ₃)	350	280/310		79	30/240		120	52/581	
Color (aparente)	Pt-Co	70	70	75	20	20	10	70	100	
Color (verdadero)	Pt-Co	50	20	50	20	20	10	30	30	
D.B.O.5	mg/L	68.65	37.46	52	71.25	19.6	20.3	708.3	1510	1550
Coliformes totales	N.M.P/100 cm ³	210,000	43000	150000	1,110,000	< 3	900	≥2,400,000	≥2,400,000	≥ 2400000
Coliformes fecales	N.M.P/100 cm ³	70,000	4000	4000	15000	< 3	< 3	1,100,000	1,100,000	≥ 2400000
Oxigeno disuelto	mg/L	11.86	59.5	46.1	3.78	5.83	5.52	N.C	50.76	30.5
pH		9.1	8.19	7.52	7.48	7.4	7.19	8.3	7.65	7.38
C.E	μS/cm-1	1139	1375	1412	975.3	1364	770	2050	2247	2870
Cl libre residual	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.41	0.11	0.09	< 0.01	< 0.01	< 0.01
N total	mg/L	285.6	364	33.4	30.63	2.86	0.94	554.4	453.6	48.32
N (Nitritos)	mg/L	0.828	< 0.04	0.005	< 0.04	< 0.04	< 0.001	<0.04	< 0.04	< 0.001
N (Nitratos)	mg/L	1.01	0.18	0.1	0.21	0.87	0.25	0.18	0.11	0.15
Hg	mg/L	N.D	N.D	0.0079	N.D	N.D	0.0067	N.D	0.0066	0.0183
As	mg/L	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cd	mg/L	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cu	mg/L	N.D	N.D	0.019	N.D	0.0713	0.0066	N.D	N.D	0.034
Cr	mg/L	N.D	N.D	0.0203	N.D	N.D	0.009	N.D	N.D	0.0038
Ni	mg/L	0.3174	0.156	0.7463	0.432	0.6523	0.5326	0.5467	0.1426	1.1686
Pb	mg/L	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Zn	mg/L	N.D	N.D	N.D	0.388	N.D	N.D	0.9395	N.D	0
ST	mg/L	0.908	0.933	0.898	0.593	0.883	0.522	3.445	1.883	2.14
SST	mg/L	0.061	0.014	0.066	0.001	0	0.009	0.161	0.093	0.1357
SSED	mg/L	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0	0	0	0.7	0.6	0.9

Nota: Los valores con el signo < (menor) son los mínimos detectados por el método. Y los que tiene el ≥ (mayor igual a) excede los valores máximos detectados por el método.

N.C: No cuantificado

N.D: No detectado