

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Determinación de la Calidad del Agua Residual de la Residencia Estudiantil
de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Por:

RODRIGO RAMÍREZ RAMÍREZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Mayo de 2008.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

TESIS:

Determinación de la Calidad del Agua Residual de la Residencia Estudiantil
de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Realizado por:

Rodrigo Ramírez Ramírez

APROBADA:

Dra. Manuela Bolívar Duarte
Asesor Principal

Dr. Uriel Figueroa Viramontes
Coasesor

M.C. Gregorio Briones Sánchez
Coasesor

Dr. Raúl Rodríguez García
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2008

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por darme salud y voluntad de terminar uno de mis tantos sueños.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** que tanto me ha dado y enseñado durante mi estancia.

Un especial agradecimiento a la **Dra. Mauela Bolívar Duarte** por el apoyo, confianza, consejos brindados y oportunas observaciones del trabajo de investigación.

Al **M. C. Gregorio Briones Sánchez** por su disponibilidad y sugerencias durante el trabajo de investigación y el transcurso de mi formación.

Al **Dr. Uriel Figueroa Viramontes** por su valiosa colaboración del presente trabajo de investigación.

A los maestros del **Departamento de Riego y Drenaje** por sus enseñanzas y experiencias para mi formación.

A la **Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Coahuila**, por apoyarme en el trabajo de tesis siempre con la mejor disposición de apoyarnos.

A la **Asociación de Estudiantes Guerrerenses de la UAAAN** por permitirme ser parte de ella y compartir con ella momentos agradables.

A **Roció Sánchez y Alejandro Hernández**, por brindarme su amistad y apoyo.

A mis amigos de la carrera: **Orlando G. Vázquez** por sus consejos siempre atinados y su valiosa amistad, **Bonifacio Jiménez** por apoyo incondicional durante la carrera, **Eduardo Ríos** por tomar las cosas de la mejor manera por más difíciles que parezcan.

A **mis paisanos y amigos**. Magali, Lita, Jose, por la amistad brindada.

DEDICATORIAS

A mis padres Rufina Ramírez Ramírez y Rodrigo Ramírez Mora por el mejor regalo que me dieron, el haberme dado estudio y sin importar lo que pase, seguiré contando con ustedes

A mis Abuelitos León Ramírez Mayo y Petra Ramírez Loeza (+) por darme mucho cariño y compartir momentos maravillosos durante mi niñez hasta hoy en día.

A mis Hermanos Maria, Fátima, Filiberto y Juan Carlos, por estar a mi lado en buenos y malos ratos, La seriedad de María, su buen corazón de Fati, el alocado de Beto.

A mi tío León Ramírez (+) que donde quiera que este me estará apoyando,

A mi sobrino Carlos Yolath a pesar de que sea tan pequeño se comporta como una persona adulta.

A mis primos: Cinthya, Yhajaira, Yaqui, Yesi, Aidé, Juan, Ernesto, Pablo, Luís.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	vi
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Definición del Agua Residual.....	4
2.2. Fuentes de Aguas Residuales.....	4
2.2.1. Drenaje Sanitario.....	4
2.2.2. Drenaje Domestico.....	4
2.2.3. Aguas Residuales Industriales.....	5
2.2.4. Arrastres de Lluvia.....	5
2.2.5. Infiltraciones.....	5
2.3. Clasificación de las Aguas Residuales.....	6
2.3.1. Aguas Domésticas o Urbanas.....	6
2.3.2. Aguas Residuales Industriales.....	6
2.3.3. Aguas de Usos Agrícolas.....	6
2.3.4. Aguas Pluviales.....	7
2.4. Agua Disponible.....	7
2.4.1. Disponibilidad Natural Media Per Cápite.....	8
2.4.2. Contraste Entre el Desarrollo y la Disponibilidad de Agua.....	8
2.5. Escasez del Agua.....	9
2.5.1. Reuso del Agua Residual en México.....	9
2.5.2. Uso de las Aguas Residuales en la Agricultura.....	9

2.5.3. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales.....	10
2.5.4. Ventajas y Limitaciones del Uso de las Aguas Residuales	11
2.6. Evaluación de la Calidad del Agua.....	12
2.7. Constituyentes del Agua Residual.....	12
2.8. Clasificación de los Compuestos Presentes en el Agua de Acuerdo con su Naturaleza.....	12
2.8.1. Físicos.....	13
2.8.2. Químicos.....	13
2.8.3. Biológicos.....	13
2.9. Composición Física del Agua Residual.....	14
2.9.1. Sólidos.....	11
2.9.2. Turbiedad.....	15
2.9.3. Color.....	15
2.9.4. Trasmittancia / Absorbancia.....	16
2.9.5. Olor.....	16
2.9.6. Materiales en Suspensión.....	16
2.9.7. Temperatura	17
2.9.8. Densidad	17
2.10 Parámetros que Determinan la Calidad del Agua Residual.....	17
2.10.1. Conductividad	17
2.10.2. Características Químicas Inorgánicas.....	18
2.10.2.1. pH.....	18
2.10.2.2. Nitrógeno	18
2.10.2.3. Fósforo	19
2.10.2.4. Alcalinidad	19
2.10.2.5. Cloruros.....	20
2.10.2.6. Azufre.....	20
2.10.3. Características Químicas Orgánicas.....	20

2.10.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 Días (DBO ₅).....	20
2.10.3.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	21
2.10.3.3. Carbono Orgánico Total (COT).....	21
2.10.3.4. Grasas y Aceites.....	21
2.10.3.5. Tensoactivos	22
2.10.4. Características Biológicas.....	22
2.10.4.1. Organismos Coliformes.....	22
2.10.4.2. Microorganismos Específicos.....	22
2.11. Muestreo.....	23
2.11.1. Procedimiento del muestreo.....	23
2.12. Efectos en el Suelo por la Irrigación con Aguas Residuales	25
2.13. Consideraciones en el Uso de Aguas Residuales para Riego de Cultivos.....	25
2.14. Normatividad de las Aguas Residuales.	28
2.14.1. Norma Oficial Mexicana – 001 – ECOL-1996.....	28
2.14.1.1. Especificaciones.....	28
2.14.2. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-003-1980, aguas residuales.- muestreo.....	30
2.14.2.1. Identificación de las Muestras.....	30
2.14.2.2. Hoja de Registro.....	30
2.14.2.3. Procedimiento	31
III. MATERIALES Y METODOS	32
3.1. Localización del Sitio Experimental.....	32
3.2. Aforo de la Descarga	32
3.2.1 Periodo del Aforo	33
3.3. Selección del Sitio de Muestreo.....	33

3.4. Muestreo	34
3.4.1. Periodo de Muestreo	34
3.4.2. Identificación de las Muestras.....	34
3.4.3. Hoja de Registro.....	34
3.4.4. Muestreo del Efluente	35
3.4.5. Preservación, Almacenamiento y Transporte de Muestras.....	35
3.5. Parámetros de Calidad del Agua	35
3.5.1. Determinación Parámetros de Campo	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. Caudales de las Aguas Residuales del Internado.....	37
4.2. Parámetros de la Calidad de Agua.	41
4.2.1. Sólidos Totales	41
4.2.2. Sólidos Volátiles.....	42
4.2.3. Sólidos Sedimentables.....	42
4.2.4. Demanda Química de Oxígeno.....	43
4.2.5. pH.....	43
4.2.6. Conductibilidad Eléctrica.....	44
4.2.7. Temperatura.....	44
4.2.8. Grasas.....	45
4.2.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	46
4.2.10. Sustancias Activas al Azul de Metileno.....	46
4.2.11. Fosfato Total.....	47
4.2.12. Nitrógeno Total.....	47
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
VI. LITERATURA CITADA.....	50
VII. ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Calidad de agua tratada y su uso/reuso según la agencia de protección ambiental de estados unidos.....	11
Cuadro 2. Definiciones para sólidos encontrados en agua residual.	14
Cuadro 3. Factores que Influyen en la aplicación a suelos agrícolas de las Aguas Residuales Urbanas I.....	26
Cuadro 4. Factores que Influyen en la aplicación a suelos agrícolas de las aguas residuales urbanas II.....	27
Cuadro 5. Norma Oficial Mexicana 001 – ECOL – 1996. Niveles máximos permisibles de contenidos físicos, químicos y biológicos en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales –uso en riego agrícola-I.....	29
Cuadro 6. Norma Oficial Mexicana 001 – ECOL – 1996. Niveles máximos permisibles de elementos contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales –uso en riego agrícola-II.....	29
Cuadro 7. Numero de alumnos que componen la Residencia Estudiantil..	32
Cuadro 8. Parámetros determinados en el laboratorio.....	36
Cuadro 9. Flujos, velocidades y cargas hidráulicas promedio día	
Cuadro 10. Parámetros promedios día del efluente de aguas residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN.....	41
Cuadro 11. Parámetros hidráulicos jueves 6 de septiembre de 2007.....	55
Cuadro 12. Parámetros hidráulicos domingo 9 de septiembre de 2007.....	55
Cuadro 13. Parámetros hidráulicos lunes 10 de septiembre de 2007.....	56
Cuadro 14. Parámetros hidráulicos martes 11 de septiembre de 2007.....	56
Cuadro 15. Parámetros hidráulicos miércoles 12 de septiembre de 2007.	57
Cuadro 16. Parámetros de calidad de agua del miércoles 5 de septiembre de 2007.....	58

Cuadro 17. Parámetros de calidad de agua del jueves 6 de septiembre de 2007.....	58
Cuadro 18. Parámetros de calidad de agua del domingo 9 de septiembre de 2007.....	59
Cuadro 19. Parámetros de calidad de agua del lunes 10 de septiembre de 2007.....	59
Cuadro 20. Parámetros de calidad de agua del martes 11 de septiembre de 2007.....	59
Cuadro 21. Parámetros de calidad de agua del miércoles 11 de septiembre de 2007.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Variación de la disponibilidad natural per cápita del agua de 1950 - 2000	8
Fig. 2. Caudal de aguas residuales municipales tratadas, Serie Anual.....	10
Fig. 3. Localización del sitio de muestreo.....	
Fig. 4. Aforo de las aguas residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN 6 de septiembre del 2007.....	37
Fig. 5. Aforo de las aguas residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN 9 de septiembre del 2007.....	38
Fig. 6. Aforo de las aguas residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN 10 de septiembre del 2007.....	39
Fig. 7. Aforo de las aguas residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN 11 de septiembre del 2007.....	39
Fig. 8. Aforo de las aguas residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN 12 de septiembre del 2007.....	40
Fig. 9. Valores de Sólidos totales muestreados.....	41
Fig. 10. Valores de Sólidos volátiles muestreados.	42
Fig. 11. Valores de sólidos sedimentales muestreados.....	42
Fig. 12. Valores de DQO muestreados.....	43
Fig. 13. Valores de pH muestreados.....	43
Fig. 14. Valores de conductividad Eléctrica (CE) muestreados.....	44
Fig. 15. Valores de temperatura muestreados.....	45
Fig. 16. Valores de grasas muestreados.	45
Fig. 17. Valores de DBO ₅	46
Fig. 18. Valores de sustancias activas al azul de metileno muestreados. .	46
Fig. 19. Valores de fosfato total muestreados.....	47
Fig.20. Valores de nitrógeno total muestreados.....	47

RESUMEN

El presente trabajo fue desarrollado en la descarga del efluente de la Residencia Estudiantil de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro a un costado del Departamento de Maquinaria. Con el propósito de evaluar parámetros hidráulicos y de calidad del agua residual.

Para la medición de los parámetros hidráulicos que se utilizó un muestreador SIGMA 900 MAX para determinar: el flujo (m^3), velocidad (m/s) y carga hidráulica (cm) y los parámetros de calidad del agua residual fueron, pH, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO_5), sólidos volátiles (SV), sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SS), conductividad eléctrica (CE), grasas, nitrógeno total, fosfato total, sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

En cuanto a la calidad el pH vario de 5.5 - 6 lo que puede afectar la actividad biológica, los valores de grasas y aceites sobre pasan la NOM-001-ECOL-1996 (25 mg/l) ya que fue de 800 mg/l, alta conductividad eléctrica y contenidos de SAAM. De lo anterior se concluye que requiere un tratamiento biológico para su posterior reuso, así mismo agregar bacterias específicas para las grasas para evitar problemas posteriores como taponamiento del drenaje.

Palabras Clave:

Efluente

Agua Residual

Parámetros Hidráulicos

Parámetros de Calidad

I. INTRODUCCIÓN

A principios de los años setenta, ante la necesidad de encontrar un método uniforme y consistente para dar a conocer la calidad del agua de manera accesible a la población, se desarrolló un sistema estimativo de calidad del agua que requirió la medición física de los parámetros de contaminación del agua y el uso de una escala estandarizada de medición para expresar la relación entre la existencia de varios contaminantes en el agua y el grado de impacto en los diferentes usos del agua. Este sistema se denominó Índice de Calidad del Agua (ICA) y es un sistema cualitativo que permite hacer comparaciones de niveles de contaminación en diferentes áreas. A lo largo de estas décadas, el crecimiento poblacional y principalmente el crecimiento industrial ha impactado los cuerpos de agua con sus descargas, las cuales vierten una serie de contaminantes tóxicos, tales como los metales pesados y los compuestos orgánicos, que no estaban considerados en el Índice de Calidad de Agua (ICA), por lo que la evaluación que se hace actualmente con dicho índice es parcial y no necesariamente corresponde a la realidad (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales –SEMARNAT- 2005).

Para preservar la calidad y posibilitar su aplicación en diferentes usos, es necesario controlar las descargas vertidas en los cuerpos receptores. La forma de llevar a cabo el control es a través de visitas de inspección a los usuarios, en las cuales se aforan las descargas y se toman muestras que se envían al laboratorio para que realicen los análisis. La pregunta es ¿Representa la muestra la descarga? el primer paso para garantizar resultados confiables es un muestreo confiable y una componente esencial es la determinación del sitio en donde se determinaran las muestras. Sólo cuando las muestras son tomadas en el sitio que representa el total, con el equipo adecuado y las precauciones

necesarias para no contaminarlas y se preservan de acuerdo con los procedimientos establecidos, se podrá asegurar que son representativas. Además las muestras deben identificarse de forma clara y transportarse de forma segura, según Arce *et al.* (2003).

La calidad físico-química y biológica se asocia con efectos en la salud de la población. Las enfermedades transmisibles por la contaminación microbiológica del agua son a menudo de una gravedad moderada (infecciones oculares, ópticas, gastrointestinales) pero pueden llegar a ser más graves (cólera, tifoidea, etc.). En cambio, la contaminación química del agua por arsénico, flúor, plomo y algunos plaguicidas, entre otros agentes, se ha asociado con consecuencias a largo plazo como cáncer, efectos endocrinos, inmunológicos o neurológicos (SEMARNAT, 2006).

1.1. Objetivos

- ✍ Determinar la calidad del agua residual de la Residencia Estudiantil de la UAAAN.
- ✍ Interpretar la calidad del agua residual de la Residencia Estudiantil de la UAAAN.
- ✍ Determinar su uso del agua residual de la Residencia Estudiantil de la UAAAN.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Definición del Agua Residual

En la Legislación Mexicana de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996) se consideran como aguas residuales a las “Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

2.2. Fuentes de Agua Residual

2.2.1. Drenaje Sanitario

Es la descarga de agua desechada por la comunidad (Maskew *et al.*, 1968).

2.2.2. Drenaje Doméstico

Las aguas residuales provenientes de cocinas, baños, lavabos, sanitarias y lavanderías. Metcalf & Eddy (1996) dividen el origen las aguas residuales domesticas:

Zonas residenciales: abarcan apartamentos, casas.

Zonas comerciales: aeropuertos, bares, oficinas, restaurantes, etc.

Centros institucionales: Son las aguas que se generan en instituciones públicas

Espacios y centros de recreo: Estos caudales son dependientes de la época del año, como son las zonas turísticas, zona de acampada.

2.2.3. Aguas Residuales Industriales

Varían en su composición de acuerdo con el tipo y tamaño de la industria, a veces son aguas relativamente limpias otras con mucha materia orgánica y otras con sustancias tóxicas, inflamables o corrosivas (Maskew *et al.*, 1968, Metcalf & Eddy, 1996).

2.2.4. Arrastres de Lluvia

Al caer la lluvia sobre la superficie ya sea en zonas urbanas o campos agrícolas depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella lava la superficie llevando partículas presentes (polvo, arena, hojas y otras basuras) que son arrastradas hasta los cuerpos receptores, (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva Cork, 1986 y Seoáñez(b), 1999).

2.2.5. Infiltraciones

A veces en zonas verdes urbanas, por la composición de su suelo y en la agricultura por el exceso de fertilizantes, permiten el paso del agua a los acuíferos poniendo en riesgo su calidad (Seoáñez (b), 1999).

2.3. Clasificación de las Aguas Residuales

Para Reynolds (2002) citado por Rascón (2006) las aguas residuales se clasifican en:

- ? Aguas domésticas o urbanas
- ? Aguas residuales industriales
- ? Aguas de usos agrícolas
- ? Aguas pluviales

2.3.1. Aguas Domésticas o Urbanas

Estas resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua procedente de casas, edificios comerciales e instituciones, zonas en las que no se efectúan, o sólo en muy poca escala, las operaciones industriales; junto con las aguas superficiales o de precipitación pluvial que puedan agregarse.

2.3.2. Aguas Residuales Industriales

Son las aguas desechadas de los procesos industriales, las que pueden disponerse en forma aislada o pueden agregarse a las domésticas urbanas.

2.3.3. Aguas de Usos Agrícolas

Son las desechadas por la agricultura, en sus diferentes facetas, las cuales retornan a los cuerpos de agua más cercanos, una vez que la demanda de los suelos queda satisfecha.

2.3.4. Aguas Pluviales

Están formadas por los escurrimientos superficiales de las lluvias, mismas que fluyen desde los techos, pavimento y otras superficies naturales de terreno.

De modo general, todos los tipos de agua están progresivamente sufriendo de contaminación más compleja, debido a la gran cantidad de desechos antropogénicos de composición sintética menos degradable y en particular, las desechadas del uso agrícola, están adquiriendo cada día mayor importancia, debido a los escurrimientos de fertilizantes (nitratos y fosfatos) y pesticidas que representan los principales causantes de la degradación de lagos y ríos.

2.4. Agua Disponible

Según una de las estimaciones más aceptadas (CNA, 2006), poco más del 97 por ciento del volumen de agua en nuestro planeta es agua salada y está contenida en océanos y mares; mientras que apenas algo menos del tres por ciento es agua dulce o de baja salinidad. Del volumen total de agua dulce, estimado en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, poco más del 75 por ciento está concentrado en casquetes polares, nieves eternas y glaciares; el 21 por ciento está almacenado en el subsuelo, y el cuatro por ciento restante, corresponde a los cuerpos y cursos de agua superficial (lagos y ríos). El agua dulce almacenada en el subsuelo es muy superior a la existente en las corrientes superficiales; pero sólo es aprovechable en parte, debido a limitaciones físicas y económicas. Gran parte del agua dulce aprovechable transita y se almacena en los primeros 1,000 m a partir de la superficie del terreno, donde se alojan los acuíferos de mayor permeabilidad, de renovación más activa, económicamente accesibles y con agua de buena calidad.

2.4.1. Disponibilidad Natural Media Per Cápita

CNA (2007) la disponibilidad natural media per cápita, que resulta de dividir el valor nacional entre el número de habitantes, ha disminuido de 18 035 m³/hab/año en 1950 a tan solo 4 416 en el 2006. En la Figura 1 se puede apreciar como ha disminuido su valor al inicio de cada década:

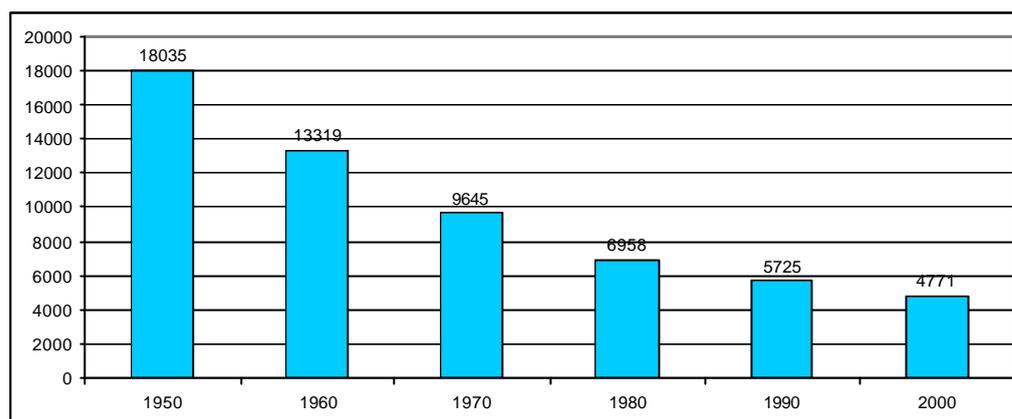


Figura 1. Variación de la Disponibilidad Natural Per Cápita del Agua de 1950 2000 (m³/hab/año)(CNA,2007).

NOTA: El dato de disponibilidad natural total, en millones de metros cúbicos por año, es de 465 137. Para los años 1950 a 2000, los datos de población son censales de INEGI.

2.4.2. Contraste Entre el Desarrollo y la Disponibilidad de Agua

CNA (2007) El país se divide en dos grandes zonas en la cual la disponibilidad de agua, su desarrollo y la población es muy desigual entre ellas: la zona norte, centro y noroeste, donde se concentra el 77 por ciento de la población, se genera el 87 por ciento del PIB, pero únicamente ocurre el 31 por ciento del agua renovable y la zona sur y sureste, donde habita el 23 por ciento de la población, se genera el 13 por ciento del PIB y ocurre el 69 por ciento del agua renovable.

2.5. Escasez del Agua

En la actualidad la escasez de agua en el planeta es cada día más común ya sea por el crecimiento de la población, el mal uso del vital líquido, la contaminación y probablemente por cambios climáticos, esto a orillado a la agricultura al uso de aguas residuales no tratadas. Desafortunadamente hay comunidades que la única fuente hídrica para uso agrícola son las aguas residuales, siendo esta una fuente de ingresos. Si bien el uso de las aguas residuales en la agricultura aportan beneficios para las familias se tiene que tener un buen control en su manejo para no ocasionar problemas en la salud de las personas o de quien las maneja (Organización Mundial de la Salud –OMS-2005).

2.5.1. Reuso del Agua Residual en México

El reuso del agua residual será una de las opciones más viables en la actualidad y en un futuro para combatir la escasez y disponibilidad del agua en México y en el mundo. Actualmente en México se reusan 150 m³/s, de los cuales el 70 por ciento corresponden a agua de origen municipal y el 30 por ciento a no municipal. El reuso de agua en la agricultura es una práctica conocida en el país, sin embargo, el reuso en la industria, servicios municipales, usos secundarios y recarga de acuíferos, se práctica hoy en pequeña proporción (CNA, 2007).

2.5.2. Uso de las Aguas Residuales en la Agricultura

La cantidad de nutrientes que se encuentran en la aguas residuales y su disponibilidad a propiciado a su uso, beneficiando al los agricultores al obtener un mayor rendimiento en los cultivos. Sin embargo, existe riesgo de que el riego con aguas residuales facilite la transmisión de enfermedades relacionadas

con nematodos intestinales y bacterias fecales a consumidores y agricultores (OMS, 1996).

2.5.3. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales

En el año 2006, las 1 593 plantas en operación en el país trataron 74.4 m³/s, es decir el 36 por ciento de los 206 m³/s recolectados en los sistemas de alcantarillado como se muestra en la Figura 2, reportado por CNA (2007).

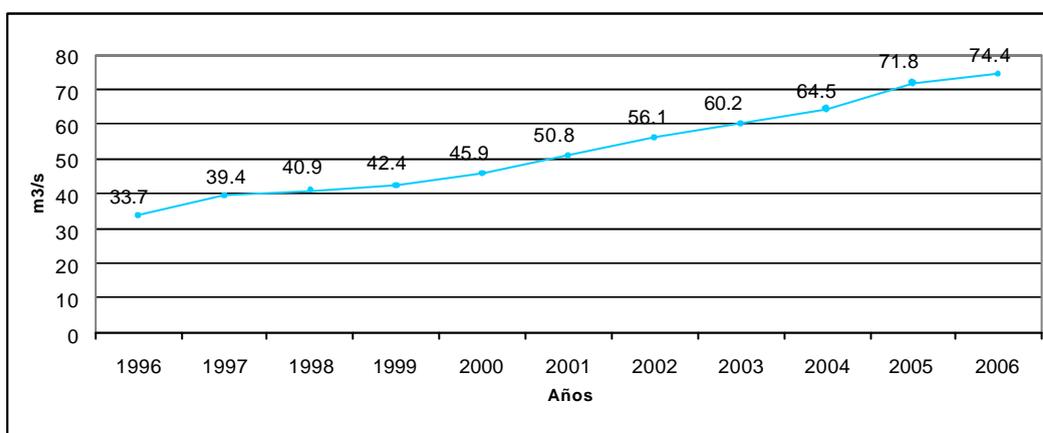


Figura 2. Caudal de Aguas Residuales Municipales Tratadas, en m³/s (CNA 2007)

2.5.4. Ventajas y Limitaciones del Uso de las Aguas Residuales

Álvarez *et al.*, (2002) menciona que la práctica del tratamiento de aguas residuales ha traído grandes ventajas. Una de ellas es de tipo económico y otra de ellas de tipo social al ser de gran utilidad en lugares donde hay escasez de agua.

El reuso es un tema de mucho interés a tal grado que se han hecho diversas investigaciones en cuestiones de irrigación en los cultivos, en usos industriales, domésticos y municipales, Cuadro 1. (EPA, 1992 citado por Álvarez *et al.*, 2002) Algunas de las ventajas del uso del agua residual son: su disponibilidad permanente, los nutrientes que contienen y el incremento de los rendimientos de los cultivos. Sin embargo un mal manejo de las aguas

residuales pueden causar problemas en la salud pública, al contaminar ríos, salinización en suelos, acumulación de elementos tóxicos. Otro de los aspectos de alto riesgo está asociado al vertido de aguas residuales de industrias tales como la química, de curtiduría, de minería, sobre todo en países subdesarrollados (Álvarez *et al.*, 2002 y Moscoso, 2002)

Cuadro 1. Calidad de Agua Tratada y su Uso/Reuso Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA citado por Álvarez *et al.*, 2002).

Tipo de Uso	Tratamiento	Calidad del Agua
Urbana, irrigación de cultivos que se ingieren crudos, áreas verdes	Secundario, filtración y desinfección	pH = 6.9: ? 10 mg/l DBO; ? 2 NTU coliformes fecales / 100 ml ND ? 1 mg/l Cl ₂ residual
Irrigación de áreas de acceso restringido, construcción, reuso ambiental	Secundario y desinfección	pH = 6.9: ? 30 mg/l DBO; ? 30 mg/l SSTmg/l ? 200 coliformes fecales/ 100 ml ? 1 mg/l Cl ₂ residual
Recarga de acuífero no potable por rocío	Depende del sitio y del uso, trat. primario mínimo	Depende del sitio y del uso
Recarga de acuífero no potable por inyección	Depende del sitio y del uso, trat. secundario mínimo	Depende del sitio y del uso
Recarga de acuífero potable por rocío	Depende del sitio y del uso, trat. secundario y desinfección mínimo	Depende del sitio y de los estándares para agua potable después del percolación por la zona vadosa
Recarga de acuífero potable por inyección, ampliación de superficies	Secundario, filtración, desinfección, tratamiento avanzado	pH= 6.5 – 8.5; ? 2 NTU; ND Coli. Fec./100 ml; ? 1 mg/l Cl ₂ residual Conociendo los estándares para agua potable

2.6. Evaluación de la Calidad del Agua

La evaluación se determina a través de tres indicadores, la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5); la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST). La DBO_5 determina la cantidad de materia orgánica biodegradable, la DQO mide la cantidad total de materia orgánica. A medida que aumenta la concentración de estos parámetros el oxígeno disuelto en el agua disminuye afectando directamente a los ecosistemas acuáticos. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. (CNA, 2007).

2.7. Constituyentes del Agua Residual

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. En el manejo de las aguas residuales es importante conocer una serie de parámetros de calidad, cada uno tiene un fin, basándose en el diseño de una planta de aguas residuales los parámetros más importantes son: los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos. Antes de considerar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, es conveniente tratar brevemente los procedimientos analíticos usados para la caracterización de las aguas residuales (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.8. Clasificación de los Compuestos Presentes en el Agua de Acuerdo con su Naturaleza.

Para Jiménez (2002) citado por Sierra (2006) los compuestos se clasifican como siguen:

2.8.1. Físicos

Las propiedades del agua se mantienen en equilibrio; pero cuando se rompe éste se alteran sus propiedades como son la temperatura, el color, el pH, etc. La procedencia de estas alteraciones y los efectos que puedan causar son diversos.

2.8.2. Químicos

Los compuestos químicos provienen de diferentes fuentes: desechos de fertilizantes solubilizados en la agricultura, descargas industriales, aguas residuales municipales, drenes de minas. Estos compuestos pueden ser vertidos de manera directa, también se forman en el agua al reaccionar con otros compuestos, estos pueden ser de origen natural o sintético.

2.8.3 Biológicos

Son seres vivos que provocan enfermedades en el hombre u otras especies. Los agentes que las causan entran al agua a través de las heces fecales de humanos o animales. Para tener una idea de la magnitud de este problema, se estima que el 80 por ciento de todas las enfermedades y más de la tercera parte de los fallecimientos en países en vía de desarrollo, se debe al consumo de agua contaminada.

2.9. Composición Física del Agua Residual

2.9.1. Sólidos

Crites y Tchobanoglous (2000). En el agua residual podemos encontrar un gran número de materiales sólidos. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar sólidos en la muestra. La clasificación de los diferentes tipos de sólidos identificados se encuentra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Definiciones para sólidos encontrados en agua residual
(Crites y Tchobanoglous, 2000).

Prueba	Descripción
Sólidos totales (ST)	Residuo remanente después que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105°C)
Sólidos volátiles totales (SVT)	Sólidos que puedan ser volatizados e incinerados cuando los ST son calcinado (500 +- 50 ° C)
Sólidos fijos totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST(500 +- 50 ° C)
Sólidos suspendidos totales (SST)	Fracción de ST retenido en un filtro, medido después de ser secado. El filtro mas usado para la determinación de SST es el filtro Whatman de la fibra de vidrio (poros 1.58 µm).
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Estos sólidos pueden ser volatizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500 +- 50°C)
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST (500 +- 50 ° C)
Sólidos disueltos totales (SDT) (ST-SST)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y luego son evaporados y secados. La medida de SDT comprende coloides (0.001 a 1 µm) y sólidos disueltos.
Sólidos disueltos volátiles (SDV) (SVT-SST)	Sólidos que puedan ser volatizados e incinerados cuando los SDT son calcinados (500 +- 50 ° C)
Sólidos disueltos fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcinar los SDT (500 +- 50 ° C)
Sólidos Sedimentables	Sólidos suspendidos, expresados con mililitros por litros que se sedimentaran por fuera de la suspensión dentro de un periodo de tiempo específico.

2.9.2. Turbiedad

Como medida de las propiedades de transmisión de la luz en el agua que está relacionada con la presencia de material coloidal y residual en suspensión. (Metcalf y Eddy 1996). Concepto similar considera Seoáñez c (2003), pues menciona que la turbidez del agua es ocasionada por materiales en suspensión finamente dividida: Arcilla, limos, materia orgánica, etc. La abundancia de estos materiales es su grado de turbidez y es un indicador de interés en el control de la eficacia de los procesos de depuración.

2.9.3. Color

El color de las aguas residuales causado por sólidos suspendidos se llama color aparente, mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero.

En forma cualitativa el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. Si el color es café claro, el agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga. Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección. Si el color es gris oscuro o negro, se trata en general de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias (Crites y Tchobanoglous, 2000). Para Metcalf & Eddy, (1996) el color del agua residual se puede emplear para determinar cualitativamente la edad; si el color es grisáceo es un agua reciente, con el tiempo cambia a un color gris oscuro y finalmente a negro, cuando llega a este punto suele a clasificarse como agua residual séptica.

2.9.4. Transmitancia / Absorbancia

La transmitancia definida como la capacidad de un líquido de transmitir luz de una longitud de onda específica a través de una solución de espesor conocido. La transmitancia es medida en un espectrofotómetro que utiliza una longitud de onda específica. El porcentaje de transmitancia es afectado por todas las sustancias presentes en las aguas residuales capaces de absorber y dispersar la luz. La transmitancia de muestras de aguas residuales filtradas y sin filtrar se mide para la evaluación y diseño de sistemas de desinfección con radiación UV. La absorbancia es la pérdida de energía radiante al pasar la luz a través de un fluido (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.9.5. Olor

El olor de un agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno (olor a huevo podrido), (Crites y Tchobanoglous, 2000). Para (Metcalf y Eddy 1996; Seoáñez (c), 2003) las aguas residuales tienen olores característicos generados por los materiales volátiles que contienen y por los procesos de la degradación de la materia orgánica presente.

2.9.6. Materiales en Suspensión

Las Aguas por lo general siempre tienen materiales en suspensión. Estos materiales, según su densidad y las características del medio receptor, son depositados en distintas zonas de éste produciendo una contaminación mecánica (Seoáñez (c), 2003).

2.9.7. Temperatura

La temperatura que tienen las aguas residuales es por lo general mayor que la de un suministro, en su tratamiento la temperatura juega un papel importante ya que los procesos biológicos dependen de ella. Este parámetro afecta directamente las reacciones químicas y la velocidad de reacción, también la vida acuática (Metcalf y Eddy 1996; Crites y Tchobanoglous, 2000).

La temperatura de un agua residual varía de 7 a 18 °C, mientras que en regiones calidas la variación será de 13 a 30 °C (Crites y Tchobanoglous, 2000). Para Metcalf y Eddy (1996), la temperatura media anual de agua residual varía entre 10 y 21 ° C, pudiéndose tomar 15.6 ° C como valor representativo.

2.9.8 Densidad

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad, expresado en kg/m³. Esta característica física es de gran interés por que de ella depende la formación la formación de corrientes de fangos sedimentación y otras instalaciones de tratamientos (Metcalf y Eddy, 1996).

2.10. Parámetros que Determinan la Calidad del Agua Residual

2.10.1. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) del agua es medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Este parámetro ayuda a determinar la posibilidad de usarse como agua de riego. También la CE determina la cantidad de sales de un agua determinada (Crites y Tchobanoglous, 2000). Para Seoáñez (c), (2003) la conductividad, que varía en función de la temperatura; está estrechamente ligada a la concentración de

sustancias disueltas y a su naturaleza. Las sales minerales son, en general, buenas conductoras; las materias orgánicas y coloidales tienen en escasas conductividad. Por lo tanto, para las aguas residuales no da una idea precisa para la carga contaminante, aun que sí orienta en lo que se refiere a sus posibles usos en aplicaciones agrícolas.

2.10.2. Características Químicas Inorgánicas

Crites y Tchobanoglous (2000) mencionan lo siguiente:

2.10.2.1. pH

La expresión usual para medir la concentración del ion hidrogeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de un ión hidrógeno (Seoánez (c), 2003). El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9. Las aguas residuales son de valores de pH menores a 5 y superiores a 9, de difícil tratamiento mediante procesos biológicos. En las descargas de las aguas residuales si el pH no cumple con las normas el cuerpo de agua receptor es muy probable que sea alterado.

2.10.2.2. Nitrógeno

Dado que el nitrógeno es esencial para el crecimiento biológico, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. Es necesario conocer la presencia de nitrógeno en las aguas residuales a la hora de evaluar la tratabilidad de la misma por medio de procesos biológicos. En casos en los que la concentración de nitrógeno sea insuficiente para los cultivos será necesario adicionarlo para

lograr que el agua residual sea tratable. El contenido total del nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

Cuando un efluente secundario deba ser recuperado para la recarga de acuíferos, la concentración de nitratos es importante. Debido a las normas que ha definido la EPA. La concentración de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/l como N, dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación del tratamiento.

2.10.2.3. Fósforo

El exceso de fósforo en las aguas residuales propicia el crecimiento de algas y otros organismos biológicos sin control, por lo que es importante conocer su concentración.

3.11.2.4. Alcalinidad

La alcalinidad del agua se define como su capacidad de neutralizar ácidos (Standard Methods, 1995, citado por Crites y Tchobanoglous, 2000). En aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos [OH^-], carbonatos [CO_3^{-2}], y bicarbonatos [HCO_3^-] de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o de ion amonio que aporta al agua la capacidad de reaccionar con ácidos neutralizando sus efectos (Seoáñez (a), 1999)

La alcalinidad en las aguas residuales ayuda a regular los cambios de pH causados por la adición de ácidos. Normalmente el agua residual es alcalina, propiedad adquirida de las aguas de abastecimientos, aguas subterránea y los materiales adicionado durante los usos domésticos.

2.10.2.5. Cloruros

La concentración de cloruros en aguas residuales es un parámetro importante relacionado con su reutilización. Los cloruros de aguas residuales provienen de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos; otra fuente potencial son las descargas de aguas residuales domésticas e industriales. En áreas costeras, las concentraciones de cloruros pueden provenir de la intrusión de las aguas salinas. Por ejemplo, las heces humanas aportan 6 g de cloruro por persona por día. Cuando los contenidos de cloruros sobrepasan los normales es un indicio que la fuente de agua está siendo usada para el vertiendo aguas residuales .

2.10.2.6. Azufre

El ión sulfato se encuentra en forma natural tanto en las aguas de abastecimiento como en las aguas residuales. El azufre es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas y por eso se libera cuando ocurre la degradación de las mismas.

Los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el desarrollo normal de los procesos biológicos si la concentración excede los 200 mg/L. Afortunadamente estas condiciones nos son comunes.

2.10.3. Características Químicas Orgánicas

2.10.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 Días (DBO₅)

La DBO₅ es la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos de las aguas negras o desechos (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1986). Es el método mas usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica

aerobia de un desecho continuara hasta que el desecho se haya consumido (Crites y Tchobanoglous, 2000). Para Arce et al., (2003) la DBO_5 es la estimación de la cantidad de oxígeno disuelto que requiere una población microbiana heterogénea para oxigenar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días.

2.10.3.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte (NMX-AA-030-1981). Para Metcalf y Eddy (1996) la DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales como naturales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido.

2.10.3.3. Carbono Orgánico Total (COT)

La prueba del COT es usada para medir el carbono orgánico total presente en una muestra acuosa (Crites y Tchobanoglous, 2000). Para Seoáñez (2003) nos menciona que el COT es un indicador en los compuestos orgánicos, fijos o volátiles o sintéticos, presentes en las aguas residuales (celulosa, azúcares, aceites, etcétera).

2.10.3.4. Grasas y Aceites

La expresión grasa y aceites son muy usados para referirse a aceites, grasas, ceras y otros constituyentes similares encontrados en las aguas residuales, (Metcalf y Eddy, 1996; Crites y Tchobanoglous, 2000). Debido a sus propiedades, la presencia de grasas y aceites en aguas residuales pueden causar muchos problemas en tanques sépticos, en sistemas de recolección y en el tratamiento de aguas residuales. La formación de natas sobre la superficie

de tanques sépticos debe ser removida periódicamente; de no ser así, el espacio comprendido entre la superficie y la zona de lodos se ve reducido, provocando el arrastre de sólidos al segundo comportamiento o a los sistemas de vertimiento como campos de infiltración ocasionando una colmatación prematura.

2.10.3.5. Tensoactivos

Los tensoactivos o agentes de actividad superficial, son moléculas orgánicas grandes que se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico (insoluble en agua), y no fuertemente hidrofílico (soluble en agua). Su presencia en las aguas residuales proviene de la descarga de detergentes domésticos, lavanderías industriales y otras operaciones de limpieza. Los tensoactivos tienden a acumularse en la interface aire – agua y puedan causar la aparición de espumas en las plantas de tratada. Durante el proceso de aireación del agua residual, los tensoactivos se acumulan en la superficie de las burbujas de aire creando una espuma muy estable. La determinación de los elementos tensoactivos se realiza por el análisis de cambio de color de una muestra estándar de azul de metileno. Los tensoactivos también son llamados sustancias activas al azul de metileno.

2.10.4. Características Biológicas

2.10.4.1 Organismos Coliformes: Estiman la presencia de bacterias patógenas y determinan la eficiencia de desinfección. Se cuantifican por número más probable (NMP).

2.10.4.2 Microorganismos Específicos: Estiman la presencia de bacterias, helmintos, protozooario, virus con la operación de la planta de tratamiento (Serrano, 1997; Jiménez 2002, Citado por Sierra, 2008).

2.11. Muestreo

1. Según Pepper *et al.* (1996), citado por Crites y Tchobanoglous (2000) los programas de muestreo se emprenden por las siguientes razones: 1) Datos operacionales de rutina sobre el desempeño general de la planta, 2) datos que puedan usarse para documentar el desempeño de un determinado proceso u operación, 3) datos necesario para reportar cumplimiento de las normas. Para alcanzar las metas del programa de muestreo, los datos recolectados deben ser:
 2. *Representativos*. Los datos deben representar el agua residual o el ambiente muestreado.
 3. *Reproducibles*. Los datos obtenidos deben poder ser reproducidos por otros siguiendo el mismo muestreo.
 4. *Sustentados*. La documentación debe de estar disponible para validar el plan de muestreo. Los datos deben tener un grado conocido de exactitud y precisión.
 5. *Útiles*. Los datos deben poder usarse para encontrar los objetivos del plan de monitoreo.

Para el Programa Ambiental de Centroamérica (PROARCA) 2004, la frecuencia, la toma de la muestra y los parámetros a determinar tienen que ser programado teniendo en cuenta el cumplimiento de las leyes.

2.11.1. Procedimiento del Muestreo

- a) La persona que realice el muestreo deberá protegerse de forma adecuada.
- b) Deben tomarse donde estén bien mezcladas las aguas residuales y sea de fácil acceso.
- c) Deben excluirse las partículas grandes; es decir, mayores de 6 mm.

- d) Tomar la temperatura del agua de donde se tomó muestra.
- e) Identificar muestra, anotar datos de la muestra y colocarlo en hielera.

Para Arce et al., (2003) para poder realizar un muestreo confiable es necesario desarrollar un plan de muestreo. Para ello es indispensable contar con la información sobre las características de la descarga que se va verificar; si se trata de una descarga industrial o municipal.

Es importante la localización de la descarga para determinar las posibilidades de tomar las muestras directamente de ella o si es inaccesible. En el último caso se tendría que localizar un punto accesible, lo más cercano posible y representativo de la descarga para tomar las muestras.

La información adquirida servirá para inferir en el tipo de contaminantes que se puedan esperar en la descarga, y otras que permitirán la selección de material, equipo de muestreo y de seguridad.

Con dicha información se elabora el plan de muestreo que consta de lo siguiente:

- Objetivo
- Antecedentes
- Tipo de muestreo
- Control de calidad
- Ubicación y descripción del sitio de muestreo
- Medio de transporte
- Participantes
- Plan de seguridad
- Lista de verificación de materiales, reactivos y equipo para el muestreo.

Estos componentes permitirán elaborar un plan de acción y proveerse de material, los reactivos y el equipo necesario para el muestreo que incluye desde pluma hasta sustancias para su preservación, hieleras y hielos para el transporte de las muestras.

Un plan de muestreo completo protege a los que toman la muestra contra errores y minimiza la posibilidad de invalidar los resultados obtenidos.

2.12. Efectos en el Suelo por la Irrigación con Aguas Residuales

Seoáñez (b) (1999) menciona que al verter aguas residuales en el suelo puede o no beneficiarlo en ciertas condiciones. Los componentes que tienen las aguas residuales aumentan su fertilidad, aunque otros ocasionaran problemas de toxicidad si la calidad del agua no es muy buena o el exceso de su uso y un mal drenaje.

2.13. Consideraciones en el Uso de Aguas Residuales para Riego de Cultivos

Seoáñez (b) (1999) menciona que la aplicación de aguas residuales en la agricultura ha sido utilizada desde la antigüedad y una de la ventaja es por los nutrientes que contiene, cabe aclarar que se tienen que tomar en cuenta los siguientes factores para tener un buen manejo sobre ella como lo muestran los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Factores que Influyen en la Aplicación a Suelos Agrícolas de las Aguas Residuales Urbanas I. (Seoáñez (b) 1999)

Características del Vertido	Características del Suelo	Características Geológicas	Características Topográficas
Composición	Tipo	Roca madre	Pendientes
Caudal	Horizontes	Tipo Profundidad Permeabilidad	Aspecto general del Área de aplicación
Origen	Porosidad	Acuíferos	Erosión
Posibilidad de almacenamiento	Estabilidad Permeabilidad Contenido de arcillas Tipo de arcillas Capacidad de intercambio de cationes (CIC) Potencial de adsorción del fósforo pH Potencial de absorción de metales pesados. Contenido de materia orgánica Temperatura Salinidad	Composición Profundidad Puntos de descarga Movimiento y alteraciones del suelo	Cultivos Cursos de agua próximos Masas de agua próximas Superficie del área de aplicación Localización de la fuente de vertido Tamaño de la comunidad que produce el vertido Características de la aglomeración: <ul style="list-style-type: none"> - Industrial - Turística - Residual - Mixta

Cuadro 4. Factores que Influyen en la Aplicación a Suelos Agrícolas de las Aguas Residuales Urbanas II. (Seoáñez (b) 1999)

Factores Climáticos	Cubierta Vegetal	Sistema y Técnicas de Vertido	Calidad del Área de Vertido y su Entorno
Temperatura	Especies autóctonas	Sistema	Uso anterior del suelo
Precipitaciones	Capacidad de absorción de nutrientes	Intensidad	Tipo de cosecha
Evapotranspiración	Ciclo vegetativo	Drenajes	Pastizal - De uso - De depuración
Heladas Vientos - Dirección - Velocidad - Frecuencia Tormentas (frecuencia) Huracanes y tornados	Tolerancia de - Humedad - Sombra - Agentes tóxicos Productividad Rentabilidad Tamaño - herbáceas - Matorral - Cubierta arbórea	Material Duración Frecuencia	Zonas del entorno - Turísticas - Residenciales - Agrícolas - Forestales - Industriales - Periurbanas abandonadas - Deportivas - Pantanosas - Reservas naturales - Cursos de agua - Masas de agua Valoración del suelo - En el área de vertido - En el entorno - Aspectos estéticos (olores) - Aspectos sanitarios

2.14. Normatividad de las Aguas Residuales.

2.14.1. Norma Oficial Mexicana – 001 – ECOL-1996

Dentro de la legislación mexicana, la Norma Oficial Mexicana – 001 – ECOL-1996, establece los límites máximos permisibles para las aguas residuales que son vertidas en aguas y bienes nacionales y hace referencia a dos niveles y tipos de contaminantes: contaminantes básicos como, grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno₅, nitrógeno total, fósforo total y temperatura y algunos elementos importantes en el agua como se muestra en el Cuadro 5 y Cuadro 6.

2.14.1.1. Especificaciones:

- a) El rango permisible de potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.
- b) Las descargas vertidas al suelo para uso agrícola serán 1,000 a 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.
- c) Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de un huevo de helminto por litro para riego restringido y de cinco huevos por litro para riego no restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta Norma.

Cuadro 5. Norma Oficial Mexicana 001 – ECOL – 1996. Niveles máximos permisibles de contenidos físicos, químicos y biológicos en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales –uso en riego agrícola-I (DOF, 1996).

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BASICOS						
PARÁMETROS	EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				SUELO	
	RIOS					
(mg/l, excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	N.A.	N.A.
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	N.A.	N.A.
Sólidos suspendidos Totales	150	200	75	125	N.A.	N.A.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁵	150	200	75	150	N.A.	N.A.
Nitrógeno Total	40	60	40	60	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	N.A.	N.A.

Notas: P. M.= Promedio mensual P. D.= Promedio diario N. A.= No aplica A*= Ausente

Cuadro 6. Norma Oficial Mexicana 001 – ECOL – 1996. Niveles máximos permisibles de elementos contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales –uso en riego agrícola- II (DOF, 1996)

LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS						
PARÁMETROS	RÍOS		EMBALSES NAT. Y ARTIF.		SUELOS	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
(mg * L⁻¹)						
Arsénico	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4
Cadmio	0,2	0,4	0,2	0,4	0,05	0,1
Cianuro	2	3	2	3	2	3
Cobre	4	6	4	6	4	6
Cromo	1	1,5	1	1,5	0,5	1
Mercurio	0,01	0,02	0,01	0,02	0,005	0,01
Níquel	2	4	2	4	2	4
Plomo	0,5	1	0,5	1	5	10
Zinc	10	20	10	20	10	20

Notas: (*) Medios de manera total.

P.D. = Promedio Diario P.M.= Promedio Mensual N.A.= No es aplicable

2.14.2. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-003-1980, aguas residuales.- muestreo (DOF, 1980).

2.14.2.1. Identificación de Las Muestras

Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información.

- ✍ Identificación de la descarga.
- ✍ Número de muestra.
- ✍ Fecha y hora de muestreo.
- ✍ Punto de muestreo.
- ✍ Temperatura de la muestra.
- ✍ Profundidad de muestreo.
- ✍ Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo.

2.14.2.2. Hoja de Registro

Se debe llevar una hoja de registro con la información que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permitan repetir el muestreo.

2.14.2.3. Procedimiento

Cualquiera que sea el método de muestreo específico que se aplique a cada caso, debe cumplir los siguientes requisitos.

Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.

Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del Sitio Experimental.

El presente trabajo de investigación se realizó en la descarga del efluente del internado localizada al sur de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ésta se ubica geográficamente sobre las coordenadas 25° 22" Latitud Norte , y 101° 00" Longitud Oeste con una altura sobre el nivel del mar de 1743 metros, en Buenavista ,Saltillo, Coah., México. La Residencia Estudiantil cuenta con los siguientes dormitorios (Cuadro 7).

Cuadro 7. Número de Alumnos que Componen la Residencia Estudiantil.

Nombre	Alumnos
Porfirio	80
La Colorada	80
Palomares	180
Paraíso	86
Módulos	96
<u>Total</u>	<u>522</u>

3.2. Aforo de la Descarga

El aforo se realizó en la descarga del agua residual del internado con el medidor digital SIGMA 900 MAX en la cual se estuvo midiendo el flujo del agua residual (m^3), velocidad (m/s) y la carga hidráulica (cm). El medidor se instaló con sus respectivas recomendaciones.

- a) Fijar el sensor a la base del conducto de agua.
- b) Nivelar el sensor.
- c) Revisar si está en la posición correcta.

- d) Contar con dos baterías en caso su descarga y no perder la información.
- e) Programarlo para la toma de mediciones cada 15 minutos y en que unidades.
- f) Recopilar datos de la memoria del medidor.

3.2.1. Periodo del Aforo

El medidor digital SIGMA 900 MAX se programó para que tomara mediciones acumulativas cada 15 minutos, las 24 horas, se realizó los días 6, 9, 10, 11, 12 de Septiembre del 2007.

3.3. Selección del Sitio de Muestreo

El sitio de Muestreo se encuentra a un costado del Departamento de Maquinaria de la UAAAN como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Localización del sitio de muestreo.

3.4. Muestreo

El procedimiento de muestreo y el contenido del formato se basó en la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales - Muestreo, realizándose el muestreo en la descarga del agua residual de la residencia estudiantil.

3.4.1 Periodo de Muestreo

El muestreo se realizó los días 5, 6, 9, 10, 11, 12 de Septiembre del 2007, con intervalos de una y 4 horas del día, con las medidas pertinentes.

3.4.2 Identificación de las Muestras

Para la identificación de la muestra se emplearon etiquetas que contenían la siguiente información:

- ? Localización
- ? Lugar
- ? Fecha
- ? Hora

3.4.3 Hoja de Registro

En el punto de muestreo se llevo una hoja de registro para tener un buen control de las muestras, en el se anotaba la siguiente información:

- ? Localización
- ? Identificación de la descarga

- ? Fecha y hora de muestreo
- ? Temperatura
- ? Conductividad eléctrica
- ? pH

3.4.4. Muestreo del Efluente

Se tomaron tres muestras del efluente de las aguas residuales, siendo este un lugar representativo; una para el análisis de las grasas y las otras para los análisis físicos y químicos del agua residual en recipientes de uno y 2 litros utilizando guantes y cubre-boca. Al momento de la toma de la muestra se midió la temperatura con un termómetro y el pH del agua residual con un potenciómetro, las muestras que su pH fue mayor de 2 se bajo para preparar la muestra para el análisis de grasas en el laboratorio.

3.4.5. Preservación, almacenamiento y transporte de muestras

Las muestras fueron trasportadas en hieleras al Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje para hacer los análisis físicos y químicos.

3.5. Parámetros de Calidad del Agua

3.5.1. Determinación Parámetros de Campo

- a) pH
- b) Conductividad eléctrica
- c) Temperatura

En el Cuadro 8 se muestran los parámetros a analizar, los métodos usados y las normas que los establecen.

Cuadro 8. Parámetros Determinados en Laboratorio

Determinación	Método	NMX
Sustancias Activas al Azul de Metileno, mg/L.	Espectrofotométrico	NMX-AA-39
Fosfato Total, mg/L como PO ₄	Espectrofotométrico	NMX-AA-029-SCFI 2001
Nitrógeno Total k, mg/L	Kjeldahl	NMX-AA-026-SCFI 2001
Muestreo		Simple. (NMX-AA-003-80)
pH	Potenciómetro	NMX-AA-008
Conductividad Eléctrica	Conductivímetro	NMX-AA-093
Sólidos Sedimentables Grasas y Aceites, mg/L	Cono Imhoff Extracción Soxhlet	NMX-AA-004 NMX-AA-005-SCFI 2000
Sólidos Totales	Gravimétrico	NMX-AA-034
Sólidos Volátiles	Titulación	NMX-AA-018
Demanda Química de Oxígeno, mg/L	Reflujo Dicromato	NMX-AA-030-SCFI 2001
Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L	Incubación	NMX-AA-028-SCFI 2001
Temperatura	Termómetro	NMX-AA-007

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se discutirán los parámetros hidráulicos donde se graficaron y se obtendrán valores máximos, mínimos y en que horario se presentaron; para los parámetros de calidad del agua residual se compararan con la NOM-001-ECOL-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de aguas y bienes nacionales (suelo).

4.1. Caudales de las Aguas Residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN del 2007

Para el día jueves 6 de septiembre, se registró un máximo en la carga hidráulica de 6.62 cm entre las 19:45 – 20:45 y un mínimo de 4.66 cm promedio entre las 12:45 – 13:45; en cuanto al flujo, el máximo fue de 4.68 lps entre las 20:45 – 21:45 y un mínimo de 2.31 lps de las 12:45 – 13:45 y la velocidad máxima fue de 0.50 m/s entre 16:45 – 17:45 y una mínima de 0.34 m/s de 13:45 – 14:45 como se muestra en la Figura 4 y el Cuadro 11 del Anexo.

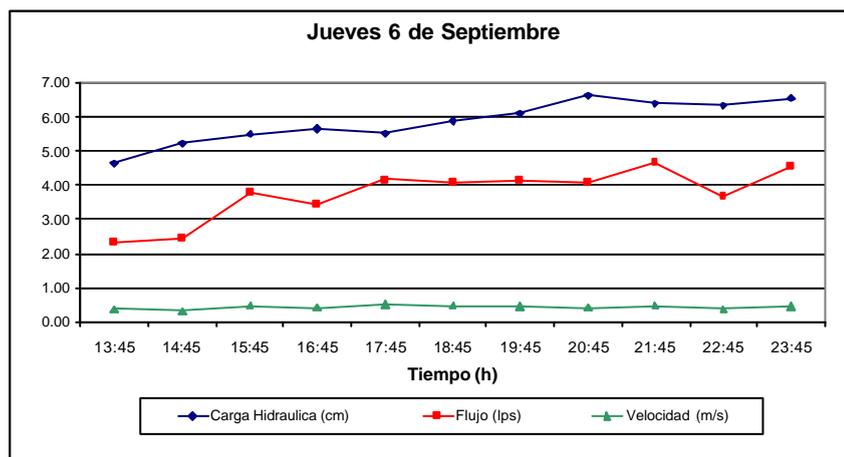


Figura 4. Aforo de las Aguas Residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN 6 de septiembre del 2007.

Para el día Domingo 9 de septiembre la carga hidráulica máxima promedio registrada del agua residual fue entre las 11:00 – 12:00 p.m. con 10.27 cm y la mínima entre las 3:00 – 4:00 a.m. con 8.25 cm; en el caso del flujo fue entre las 9:00 – 10:00 a.m. con 9.46 lps y un mínimo entre las 3:00 – 4:00 a.m. con 4.25 lps promedio y por último la velocidad máxima se marco entre las 10:00 – 11:00 a.m. con 1.34 m/s y la mínima entre las 4:00 – 5:00 a.m. con 0.31 m/s en promedio, como se puede apreciar en la Figura 5 y el Cuadro 12 del Anexo.

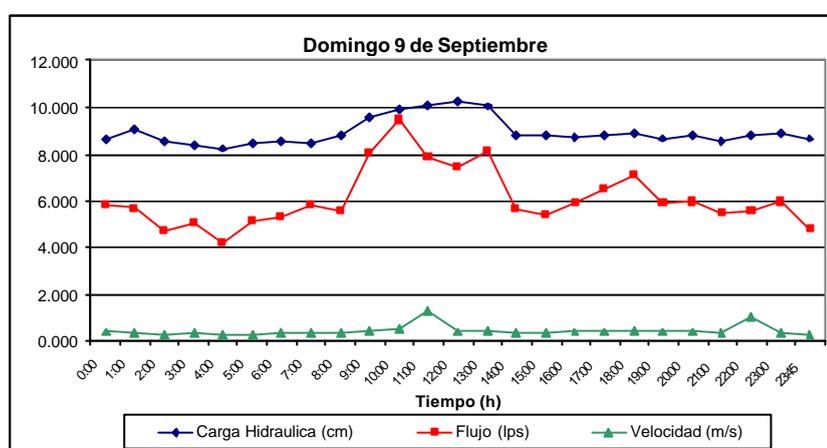


Figura 5. Aforo de las Aguas Residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN 9 de Septiembre del 2007.

Para el día lunes 10 de septiembre se registró un máximo de 10.38 cm de altura entre 21:00 - 22:00 y un mínimo de 8.08 cm promedio de 4:00 a 5:00 a.m.; el flujo máximo fue de 7.97 lps entre las 12:00 - 13:00 con un mínimo de 4.02 lps promedio entre 2:00 – 3:00 a.m.; por último la velocidad máxima registrada fue entre las 21:00 – 22:00 de 0.45 m/s y la mínima de 0.30 m/s promedio de 2:00 a 3:00 a.m. como se muestra en la Figura 6 y Cuadro 13 del Anexo.

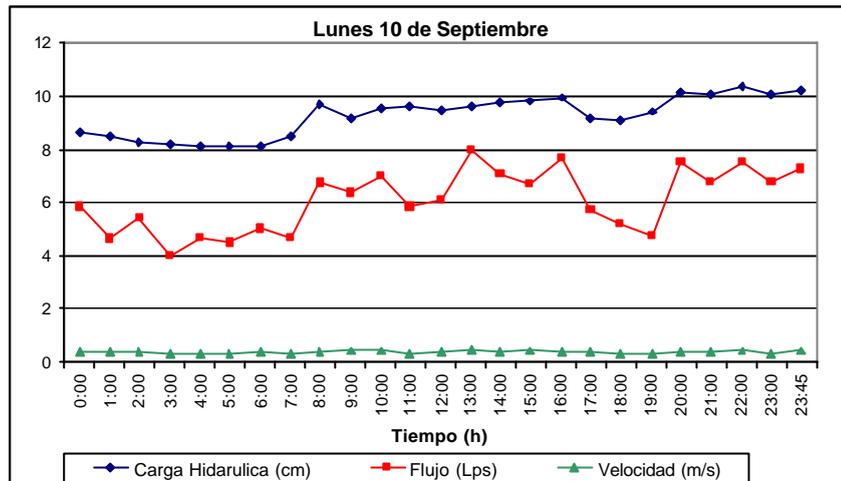


Figura 6. Aforo de las Aguas Residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN 10 de septiembre del 2007.

Para el día martes 11 se registró una carga hidráulica máxima de 8.97 cm de 1:00 a 2:00 y una mínima de 8.25cm de 3:00 – 4:00 a.m.; mientras tanto el flujo máximo fue 9.38 lps entre 6:00 – 7:00 a.m. con un mínimo de 4.77 lps de 1:00 – 2:00 a.m.; la velocidad máxima fue de .46 m/s entre 00:00 – 1:00 a.m. y la mínima de 0.28 m/s de 16:00 a 17:00 como se aprecia en la Figura 7 y cuadro 14 del Anexo.

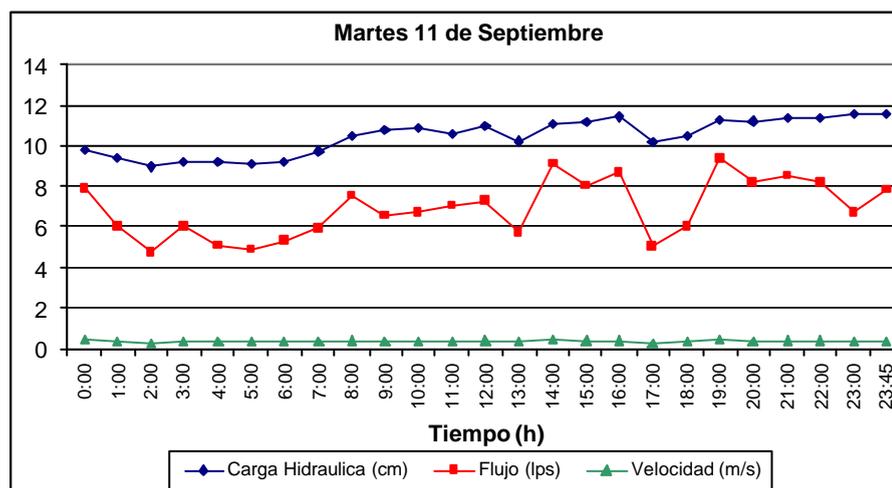


Figura 7. Aforo de las Aguas Residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN 11 de septiembre del 2007.

Para el día miércoles 12 se observo una carga hidráulica máxima de 12.28 cm de 7:00 a 8:00 a.m. y una mínima de 10.44cm de 17:00 – 18:00 ; mientras tanto el flujo máximo fue 9.57 lps entre 10:00 – 11:00 a.m. con un mínimo de 3.93 lps de 17:00 – 18:00 a.m.; la velocidad máxima fue de .45 m/s entre 9:00 – 10:00 a.m. y la mínima de 0.21 m/s de 17:00 a 18:00 como se aprecia en la Figura 8 y Cuadro 15 del Anexo.

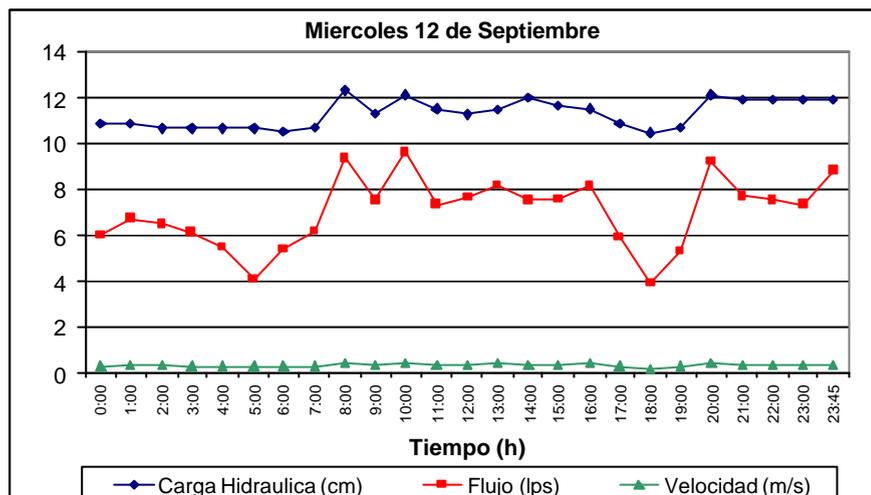


Figura 8. Aforo de las Aguas Residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN 12 de septiembre del 2007.

Cuadro 9. Flujos, Velocidades y Cargas Hidráulicas Promedio Día.

Día	Carga Hidráulica (cm)	Flujo (lps)	Velocidad (m/s)
6 de Sep.	5,73	3,66	0,44
9 de Sep	8,95	6,13	0,46
10 de Sep	9,27	6,05	0,38
11 de Sep	9,55	5,53	0,34
12 de Sep	10,45	6,85	0,37

4.2. Parámetros de la Calidad de Agua.

Cuadro 10. Parámetros Promedios Día del Efluente de Aguas Residuales de la Residencia Estudiantil de la UAAAN obtenidos de los Cuadros del Anexo (16, 17, 18,19, 20, 21)

Septiembre del 2007		Parámetros de Calidad										
Día	ST (mg/l)	SV (mg/l)	SS (ml/l)	DQO (mg/l)	pH	CE (µS/cm)	T °C	Grasas (mg/l)	DBO (mg/l)	(mg/l)	F total (mg/l)	N total (mg/l)
Miércoles 5	1349.08	378.15	1.31	422.97	6.29	1220	21.34	811.00	350.73	70.87	7.80	35.30
Jueves 6	826.73	145.09	1.12	619.33	6.22	1055.91	20.43		420.27	29.27	7.90	44.08
Domingo 9	1081.33	233.33	5.50	1409.53	5.97	1066.67	20.33	51.27	538.33	111.33	6.30	44.10
Lunes 10	766.67	142	1.33	448.00	5.87	1013.33	14.77	24.20	248.67	61.68	8.10	26.90
Martes 11	7236.5	573.5										
Miércoles 12	3952	176										
Promedio	2535.39	274.68	2.32	724.96	6.09	1088.98	19.22	295.49	389.50	68.29	7.53	37.60

4.1.1. Sólidos Totales

El parámetro de sólidos totales no se considera en la Norma Oficial Mexicana (NOM -001 – ECOL – 1996) pero es importante conocerlo por que afecta la presencia de oxígeno en el agua residual; el nivel más alto de sólidos totales fue el día martes con 7236.5 mg/l como se observa en la Figura 9.

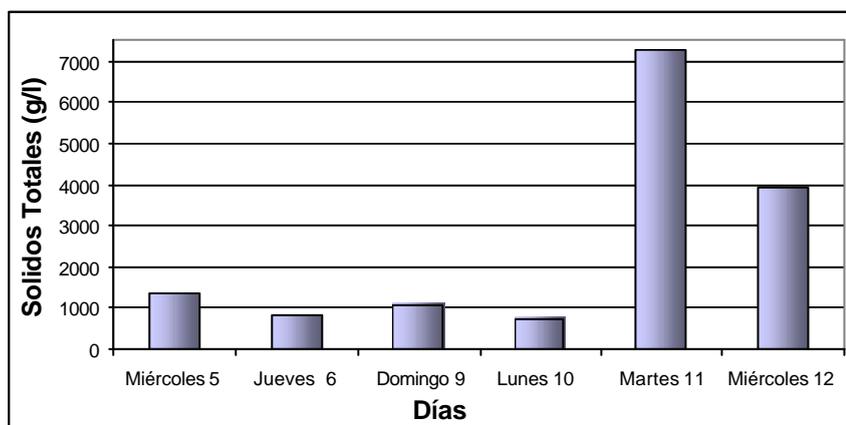


Figura 9. Valores de Sólidos Totales.

4.2.2. Sólidos Volátiles

Se observa en la Figura 10 que el contenido de sólidos volátiles presentes hay diferencias en los días que se muestrearon, el máximo fue el día martes con 7236.5 mg/l.

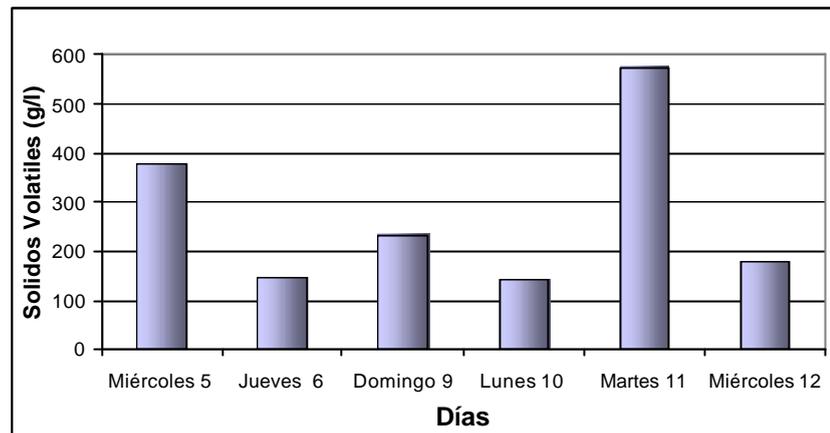


Figura 10. Valores de Sólidos volátiles.

4.2.3. Sólidos Sedimentables

En la Figura 11 los cuatro días muestreados resultaron mayores de 1ml/l, el cual el día domingo se determino el mayor nivel de sólidos sedimentables con 5.50 ml/l al compararla con la NOM-001-ECOL-1996 los sólidos sedimentables no aplican en la descarga de aguas residuales a un bien (suelo).

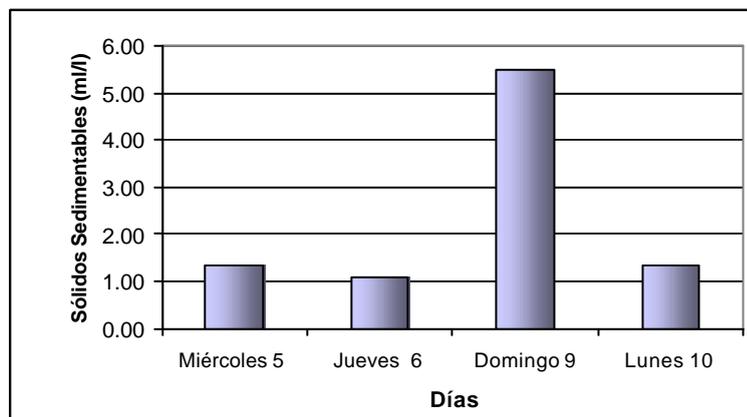


Figura 11. Valores de sólidos sedimentables.

4.2.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Como se puede observar en la Figura 12 los contenidos de DQO son elevados, y el para día domingo se determino un máximo de 1409.53 mg/l y un mínimo de 448 mg/l. Comparándola con la NOM-001-ECOL-1996 la DQO no aplica.

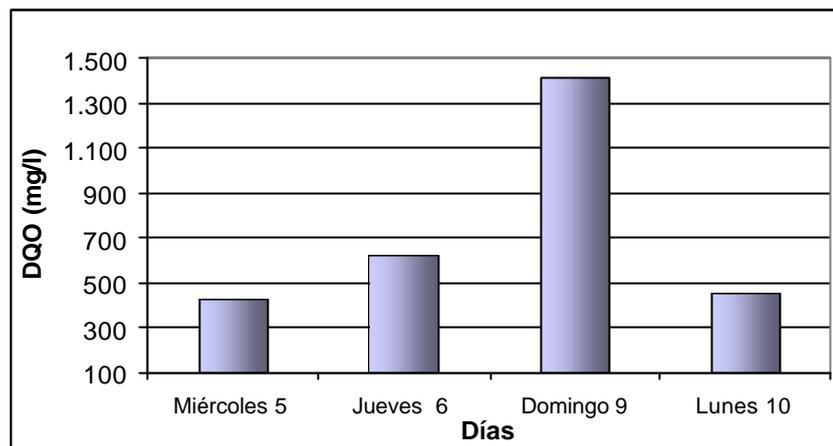


Figura 12. Valores de DQO.

4.2.5. pH

Los límites de pH máximos permisibles que establece la NOM-001-ECOL-1996 es de 5 a 10 unidades y comparándolo con el máximo medido en los muestreos que fue de 6.29 unidades del día miércoles se encuentra dentro del límite permitido como se aprecia en la Figura 13.

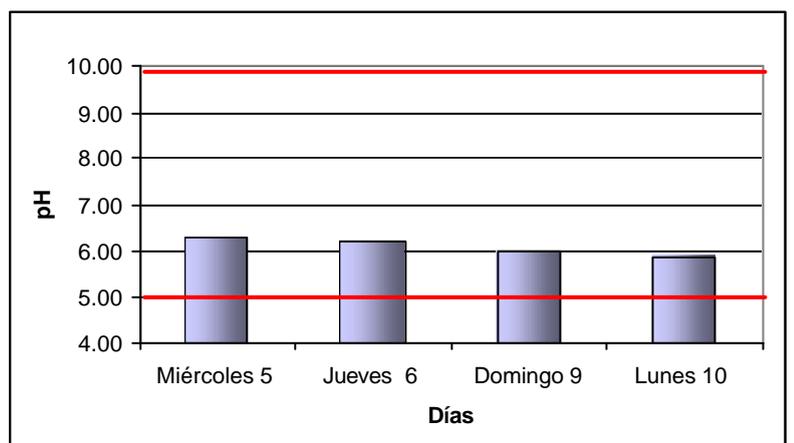


Figura 13. Valores de pH.

4.2.6. Conductividad Eléctrica (CE)

La NOM-001-ECOL-1996 no aplica la conductividad eléctrica; ahora comparándola con la norma de Riverside los parámetros se encuentran entre 750 y 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que significa que es un agua con alta salinidad y puede afectar al suelo si no se cuenta con un buen drenaje como se observa en la Figura 14.

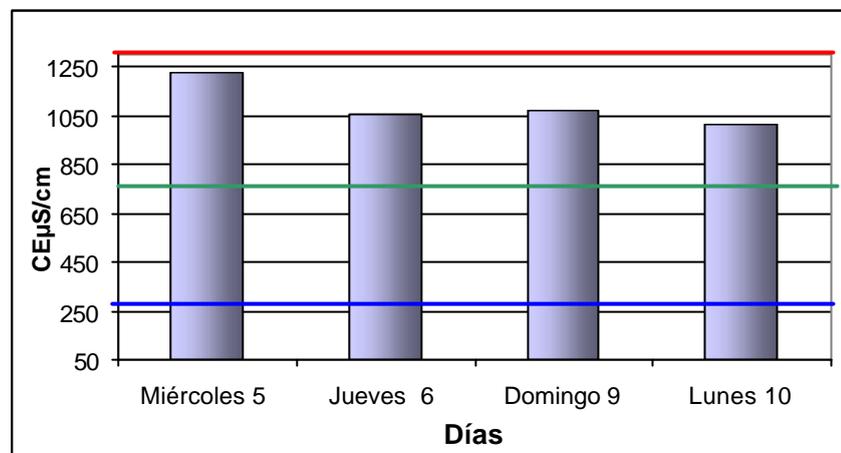


Figura 14. Valores de Conductividad Eléctrica (CE).

4.2.7. Temperatura

La temperatura en la NOM-001-ECOL-1996 se contempla como límite máximo permisible pero no aplica. La temperatura en las aguas residuales afecta directamente a las reacciones químicas y los procesos biológicos por lo que es necesario tomarla. En la Figura 15 se observa temperaturas semejantes en los días muestreados sin embargo el día lunes hay una baja de la temperatura de 14.7 $^{\circ}\text{C}$.

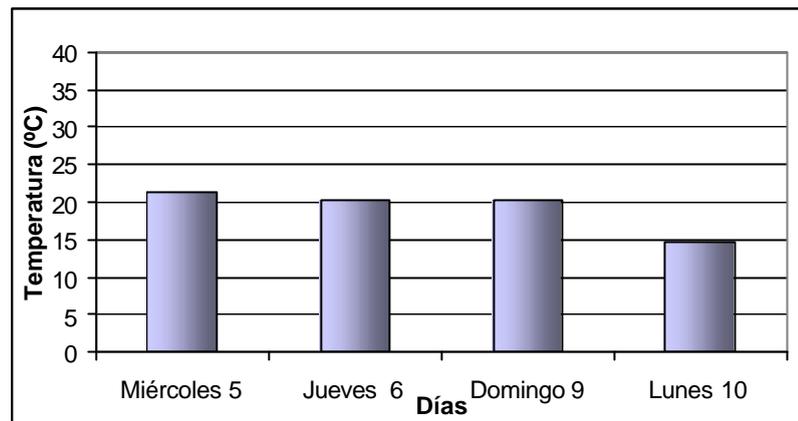


Figura 15. Valores de Temperatura.

4.2.8. Grasas

En la Figura 16 se observa claramente la diferencia que hubo en los tres días de muestreo para el contenido de Grasas, el día miércoles fue de 811 mg/l mientras que el día lunes fue de 24.2 mg/l. Comparándolo con la NOM-001- ECOL-1996 el día miércoles, domingo sobre pasa el límite permitido promedio diario que es de 25 mg/l. y el lunes se encuentra cercano al límite (24.20 mg/l).

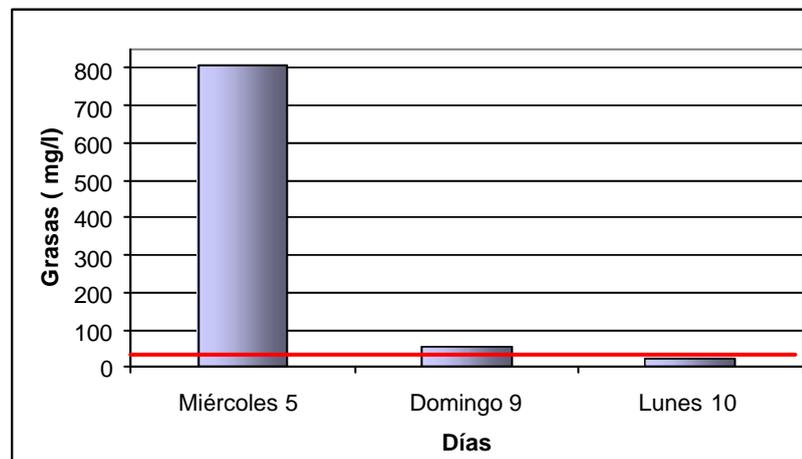


Figura 16. Valores de Grasas.

4.2.9. Demanda Bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO₅)

Se observa en la Figura 17 los valores de DBO₅ son altos todos días muestreados, el día domingo se determinó una DBO₅ máximo de 538.33 mg/l. Este parámetro de calidad de Agua residual no aplica en la NOM-001-ECOL-1996 que es con la que se está comparando.

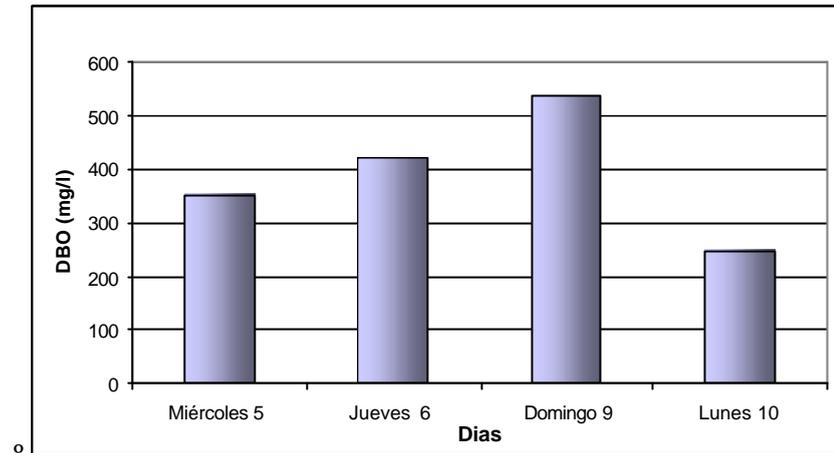


Figura 17. Valores de DBO₅

4.2.10. Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

Las determinaciones del SAAM mayores fueron para el día domingo con 111.13 mg/l y la mínima para el día jueves con 29.27 mg/l como se aprecia en la Figura 18.

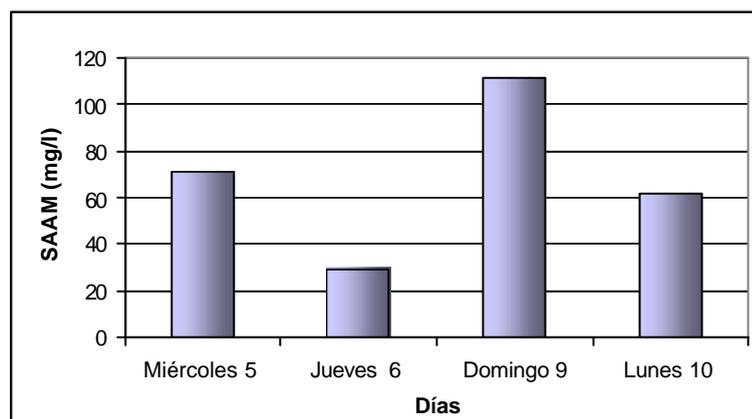


Figura 18. Valores de sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

4.2.11. Fosfato Total

Los valores de fosfato total fueron semejantes en tres de los cuatro días muestreados, este parámetro no afecta mucho al aplicarlo al suelo pero ya en una planta de tratamiento puede causar aumento en el crecimiento de algas.

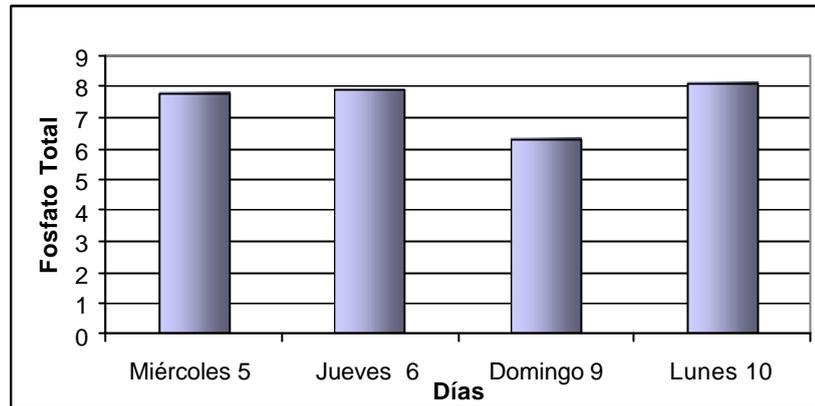


Figura 19. Valores de fosfato total.

4.2.12. Nitrógeno Total

El nitrógeno total como se puede observar en la Figura 20 no aplica en la NOM-001-ECOL-1996. Pero tiene mucha importancia porque es básico para la síntesis de proteínas en el tratado de aguas residuales.

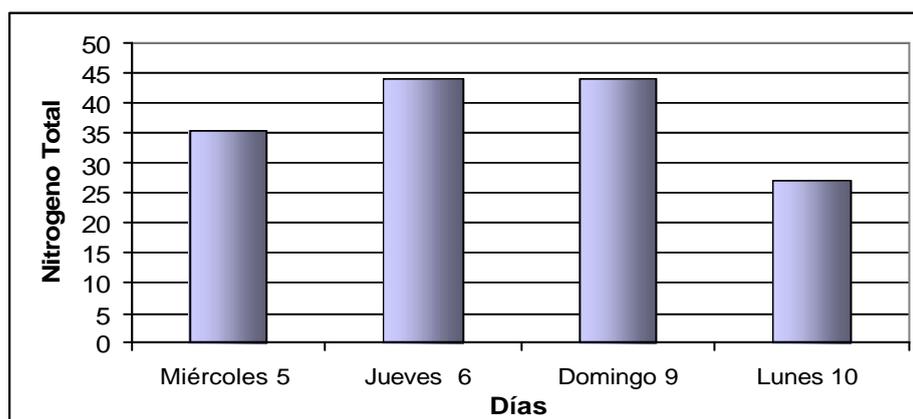


Figura 20. Valores de nitrógeno total .

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si tomamos el gasto promedio de los días aforados (6.14lps) podemos estimar el volumen diario del efluente, que sería de 530.50m^3 / día, si este volumen fuera tratado y almacenado por dar un ejemplo podríamos utilizarla en áreas agrícolas y jardines dentro de nuestra universidad, es por eso la importancia del tratamiento de las aguas residuales.

Al observar el contenido alto de SAAM, grasas y aceites igualmente elevados y estimando un consumo alto per cápita en lpd/persona, nos indica claramente que la Residencia Estudiantil no es la única fuente del efluente muestreado si no también lavandería, servicios generales, comedor y el Departamento de Maquinaria Agrícola.

El agua residual del efluente es ligeramente acida teniendo un pH promedio de 6.09 lo que puede afectar la actividad biológica, el contenido de grasas y aceites está por encima del los límites máximos promedio día, su conductividad eléctrica es alta, también los parámetros de DBO_5 y DQO son elevados.

En base a los parámetros obtenidos lo más recomendable es hacer una planta tratadora de aguas residuales mediante un proceso biológico de aireación extendida para su posterior reuso que beneficiará enormemente a nuestra universidad en el ámbito ecológico ya que previenen daños en el ambiente (gases, microbios) y evita la transmisión de enfermedades por contacto accidental con las aguas negras.

Se recomienda agregar bacterias específicas para grasas para evitar problemas posteriores como el taponamiento del drenaje y así bajar el contenido de grasas antes de su descarga.

VI. LITERATURA CITADA

- Arce, V. A. L. 2003. Serie autodidáctica de medición de la calidad de agua: fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de la calidad de aguas residuales. Mexico, DF. 73 p.
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. 2000. Sistema de manejo de aguas residuales: para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo I. 1ª Edición. Ed. McGraw-Hill. Colombia. 1043 p.
- De la Lanza, E. G y Hernández, P. S. 2003. Manual para colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de calidad del agua. 1ª edición. Ed. AGT Editor, S.A. México. 223 p.
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1986. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. 8ª reimpresión. Editorial LIMUSA. Estados Unidos. 303 p.
- Fair, M.G.; Geyer, C.J; Okun A.D. 1968. Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales. 1ª edición. Editorial Limisa-Wiley, S.A. España. 467 p
- Kemmer N. F.; McCallion J. 2001. Manual de agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Tomo I. Ed. McGraw-Hill. México. Pp. 43-20
- Metcalf & Eddy, Inc. 1996. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento vertido y reutilización. Tomo 1. 3ª Edición. Editorial McGraw-Hill. México. 1459 p.

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

Programa Ambiental de Centroamérica (PROARCA), 2004. Guía práctica de monitoreo de procesos de tratamiento de aguas residuales. Salvador. 11 p.

Rascón A. E. 2006 .Evolución de propiedades físicas y químicas de suelo y absorción de metales pesados en producción agrícola con aguas residuales. Tesis Doctorado, U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México. 98 p.

Seoáñez (a) C.M. 1999. Aguas residuales tratamiento por humedales artificiales: fundamentos científicos. Tecnología. Diseño. Ediciones Mundi-Prensa. México.325 p.

Seoáñez (b), C.M.1999. Aguas residuales urbanas: tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. 2^{la} Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España.368 p.

Seoáñez, C. M. 2003. Manual de tratamientos, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias. Ed. Mundi-Prensa. España. 465 p.

Sierra, L. L. F. 2006. Aplicación de *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de agua residual. Tesis de licenciatura, U.A.A.A.N. Torreón, Coahuila, México. Pp.12-13.

Páginas Web Consultadas:

Álvarez, B. D; Contreras, R. S. M. y Poggi V. H. M. 2002. Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo. Avance y Perspectiva vol. 2. Disponible en: <http://www.cinvestav.mx/Portals/0/Publicaciones%20y%20Noticias/Revistas/Avance%20y%20perspectiva/sep02/15%20DIOSELINA.pdf>

Consultado: 12/4/08.

Comisión Nacional del Agua (CNA), 2006. Agua disponible. México. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/conagua/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=e7820bc7-2da0-4646-a13e-ba8d39bd2493|%20%20%20%20%20%20%20%20ACERCA%20DEL%20AGUA|2|0|0|0>

Consultado: 05/02/08.

Comisión Nacional del Agua.2006. Acerca del agua: Introducción. México. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/conagua/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=e7820bc7-2da0-4646-a13eba8d39bd2493|%20%20%20%20%20%20%20%20ACERCA%20DEL%20AGUA|2|0|0|0>

Consultado: 30/01/08

Comisión Nacional del Agua 2007. Estadísticas del Agua en México. 2007. México. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/conagua/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=Publicaciones%202007%7CPUBLICACIONES%20CONAGUA%7C0%7C87%7C0%7C0%7C0>

Consultado: 14/04/08

Moscoso, C. J.2002. Aspectos técnicos de la agricultura con aguas residuales. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep184/vleh/fulltext/acrobat/moscoso.pdf>

Consultado: 23/04/08

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2005. El uso de aguas residuales.
Disponible en:http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/es/.
Consultado: 12/04/08

Organización Mundial de la Salud (OMS). 1996. Análisis de las aguas residuales para su uso en la agricultura Disponible en:
http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/labmanual/es/
Consultado: 12/04/08

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2005.
Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. Disponible:
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
Consultado: 05/02/08

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2006. La Gestión Ambiental en México. Disponible:
http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Publicacion/Gestion_Ambiental.pdf
Consultado: 05/02/08

ANEXOS

Cuadro 11. Parámetros Hidráulicos

Jueves 6 de Sep. de 2007.

Hora	Carga Hidráulica (cm)	Flujo (lps)	Velocidad (m/s)
13:45	4,66	2,31	0,37
14:45	5,23	2,46	0,34
15:45	5,49	3,81	0,49
16:45	5,65	3,46	0,42
17:45	5,50	4,17	0,50
18:45	5,87	4,06	0,47
19:45	6,10	4,13	0,46
20:45	6,62	4,07	0,42
21:45	6,40	4,68	0,48
22:45	6,32	3,67	0,38
23:45	6,54	4,56	0,46

Cuadro 12. Parámetros Hidráulicos

Domingo 9 de Sep. de 2007.

Hora	Carga Hidráulica (cm)	Flujo (lps)	Velocidad (m/s)
0:00	8,629	5,844	0,405
1:00	9,017	5,692	0,371
2:00	8,538	4,756	0,329
3:00	8,412	5,056	0,363
4:00	8,246	4,252	0,313
5:00	8,463	5,192	0,343
6:00	8,546	5,315	0,373
7:00	8,456	5,834	0,396
8:00	8,755	5,575	0,367
9:00	9,584	8,019	0,481
10:00	9,940	9,460	0,547
11:00	10,116	7,869	1,338
12:00	10,270	7,460	0,412
13:00	10,068	8,124	0,462
14:00	8,800	5,654	0,381
15:00	8,778	5,404	0,367
16:00	8,747	5,937	0,404
17:00	8,759	6,524	0,442
18:00	8,879	7,068	0,471
19:00	8,645	5,905	0,399
20:00	8,784	5,994	0,402
21:00	8,568	5,484	0,379
22:00	8,762	5,590	1,046
23:00	8,880	5,962	0,383
23:45	8,643	4,813	0,334

Cuadro 13. Parámetros Hidráulicos

Lunes 10 de Sep. de 2007.

Hora	Carga Hidráulica (cm)	Flujo (lps)	Velocidad (m/s)
0:00	8,626	5,811	0,403
1:00	8,442	4,623	0,362
2:00	8,257	5,401	0,397
3:00	8,191	4,021	0,299
4:00	8,123	4,701	0,353
5:00	8,076	4,488	0,339
6:00	8,111	5,019	0,376
7:00	8,444	4,689	0,334
8:00	9,657	6,728	0,402
9:00	9,154	6,355	0,421
10:00	9,570	6,961	0,420
11:00	9,613	5,820	0,350
12:00	9,470	6,106	0,366
13:00	9,602	7,974	0,475
14:00	9,746	7,078	0,401
15:00	9,813	6,711	0,421
16:00	9,951	7,678	0,405
17:00	9,188	5,743	0,374
18:00	9,088	5,221	0,328
19:00	9,427	4,746	0,356
20:00	10,158	7,523	0,378
21:00	10,084	6,805	0,373
22:00	10,385	7,523	0,452
23:00	10,083	6,794	0,354
23:45	10,195	7,266	0,417

Cuadro 14. Parámetros Hidráulicos

Martes 11 de Sep. de 2007.

Hora	Carga Hidráulica (cm)	Flujo (lps)	Velocidad (m/s)
0:00	9,827	7,887	0,462
1:00	9,396	6,030	0,373
2:00	8,976	4,771	0,315
3:00	9,202	6,033	0,385
4:00	9,136	5,083	0,328
5:00	9,109	4,894	0,316
6:00	9,148	5,349	0,344
7:00	9,726	5,962	0,356
8:00	10,476	7,593	0,406
9:00	10,806	6,556	0,341
10:00	10,871	6,713	0,346
11:00	10,593	7,077	0,375
12:00	11,005	7,248	0,429
13:00	10,245	5,767	0,320
14:00	11,065	9,100	0,459
15:00	11,126	8,050	0,392
16:00	11,376	8,693	0,422
17:00	10,173	5,037	0,283
18:00	10,491	6,046	0,325
19:00	11,264	9,378	0,458
20:00	11,231	8,168	0,381
21:00	11,329	8,507	0,416
22:00	11,351	8,218	0,403
23:00	11,583	6,695	0,319
23:45	11,549	7,809	0,372

Cuadro 15. Parámetros Hidráulicos

Miércoles 12 de Sep. de 2007

Hora	Carga Hidráulica (cm)	Flujo (lps)	Velocidad (m/s)
0:00	10,906	6,021	0,309
1:00	10,835	6,704	0,347
2:00	10,633	6,476	0,343
3:00	10,617	6,093	0,324
4:00	10,637	5,490	0,291
5:00	10,632	4,108	0,275
6:00	10,526	5,392	0,290
7:00	10,725	6,164	0,323
8:00	12,275	9,376	0,424
9:00	11,304	7,498	0,388
10:00	12,089	9,571	0,445
11:00	11,508	7,312	0,351
12:00	11,227	7,661	0,379
13:00	11,411	8,219	0,399
14:00	11,961	7,527	0,346
15:00	11,645	7,556	0,358
16:00	11,465	8,138	0,418
17:00	10,902	5,938	0,304
18:00	10,443	3,930	0,213
19:00	10,694	5,321	0,279
20:00	12,129	9,205	0,415
21:00	11,856	7,716	0,357
22:00	11,949	7,535	0,347
23:00	11,876	7,313	0,338
23:45	11,886	8,790	0,349

Cuadro 16. Parámetro de Calidad de Agua Miércoles 5 de Sep. de 2007

Hora	ST (mg/l)	SV (mg/l)	SS (ml/l)	DQO (mg/l)	pH	CE (μ S/cm)	T °C	Grasas (mg/l)	DBO (mg/l)	SAAM (mg/l)	F total (mg/l)	N total (mg/l)
11:30	1134	368	1		6.6	1570	22.3	712				
12:30	3938	2876	2	307.5	6.4	1530	22.8	678	215	22.6	8.4	15.6
13:30	1474	240	0.5		6.4	1540	22	734				
14:30	948	128	0.25		6.2	1250	23	1206				
15:30	1720	58	2.5		6.1	1210	24.5	2776				
16:30	1308	60	1.5	384.4	6.2	1110	23	460	324.2	110	8.7	54.3
17:30	954	58	2		6.3	1140	21.5	352				
18:30	804	36	0.8		6.3	1120	21.7	364				
19:30	746	16	3.5		6.3	1090	20.8	424				
20:30	608	28	0.8	577	6.2	980	19.2	404	513	80	6.3	36
21:30	786	446	0.2		6.2	1210	18					
22:30	2382	560	1		6.3	1060	19.5					
23:30	736	42	1		6.2	1050	19.1					
Promedio	1349.08	378.15	1.31	422.97	6.29	1220.00	21.34	811.00	350.73	70.87	7.80	35.30

Cuadro 17. Parámetro de Calidad de Agua Jueves 6 de Sep. de 2007

Hora	ST (mg/l)	SV (mg/l)	SS (ml/l)	DQO (mg/l)	pH	CE (μ S/cm)	T °C	Grasas (mg/l)	DBO (mg/l)	SAAM (mg/l)	F total (mg/l)	N total (mg/l)
00:30	720	94	0.7	577	6.3	1075	19.6		283.8	39.8	11.7	42.2
01:30	688	24	0.5		6.1	1100	18					
02:30	604	14	0.2		6.1	1000	18.1					
03:30	922	30	0.2		6	940	25					
04:30	1960	816	< 0.1	128	5.8	920	26.5		59	26	3.9	18.2
05:30	596	264	0.2		6	930	17.6					
06:30	598	8	0.1		6.1	980	19.5					
07:30	578	64	0.1		6.5	1240	23					
08:30	534	202	0.2	1153	6.4	1090	17.3		918	22	8.1	71.9
09:30	1100	34	8		6.5	1200	19.1					
10:30	794	46	1		6.6	1140	21					
Promedio	826.73	145.09	1.12	619.33	6.22	1055.91	20.43		420.27	29.27	7.90	44.08

Cuadro 18. Parámetro de Calidad de Agua Domingo 9 de Sep. de 2007

Hora	ST (mg/l)	SV (mg/l)	SS (ml/l)	DOO (mg/l)	pH	CE (μ S/cm)	T °C	Grasas (mg/l)	DBO (mg/l)	SAAM (mg/l)	F total (mg/l)	N total (mg/l)
13:30	802	234	1	2691	6.3	1070	22	35.8	737	121	3	42.6
17:30	858	44	2	768.8	6.3	1090	20.6	62.4	405	130	7.8	47.1
21:30	1584	422	13.5	769	5.3	1040	18.4	55.6	473	83	8.1	42.6
Promedio	1081.33	233.33	5.50	1409.53	5.97	1066.67	20.33	51.27	538.33	111.33	6.30	44.10

Cuadro 19. Parámetro de Calidad de Agua Lunes 10 de Sep. de 2007

Hora	ST (mg/l)	SV (mg/l)	SS (ml/l)	DOO (mg/l)	pH	CE (μ S/cm)	T °C	Grasas (mg/l)	DBO (mg/l)	SAAM (mg/l)	F total (mg/l)	N total (mg/l)
01:30	676	316	0.5	384	5.7	930	16.1	3.2	273	19	6.6	30.6
05:30	614	42	0.5	192	5.7	870	13.2	13.4	135	5%	5.4	18.7
11:30	1010	68	3	768	6.2	1240	15	56	338	166	12.3	31.4
Promedio	766.6667	142	1.3333	448	5.867	1013.33	14.7667	24.2	248.667	61.682	8.1	26.9

Cuadro 20. Parámetro de Calidad de Agua Martes 11 de Sep. de 2007

Hora	ST (mg/l)	SV (mg/l)
11:30	14536	668
15:30	2670	292
19:30	6008	1132
23:30	5732	202
Promedio	7236.5	573.5

Cuadro 21. Parámetro de Calidad de Agua Miércoles 12 de Sep. de 2007

Hora	ST (mg/l)	SV (mg/l)
05:30	2570	20
07:30	5334	332
Promedio	3952	176