

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA TRATADORA DE AGUA DE  
CECFOR No. 3 PARA USO AGRÍCOLA**

**Por:**

**PATRICIA LUCERO ALVARO ARCOS**

**TESIS:**

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo 2010

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
DIVISION DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

**TESIS:**

CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA TRATADORA DE AGUA DE  
CECFOR No. 3 PARA USO AGRÍCOLA

**Realizado por:**

PATRICIA LUCERO ALVARO ARCOS

**Tesis:**

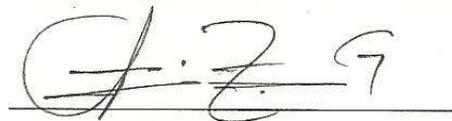
Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador  
como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

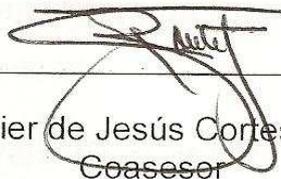
**Aprobado:**



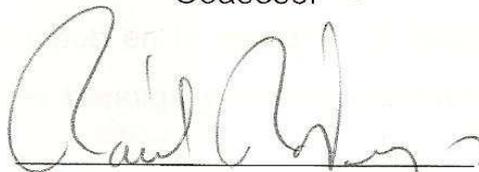
Dra. Manuela Bolívar Duarte  
Asesor Principal



M. C. Luis Rodríguez Gutiérrez  
Coasesor

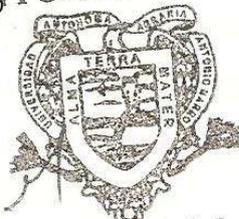


Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho  
Coasesor



Dr. Raúl Rodríguez García  
Coordinador de la División de Ingeniería

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de  
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo 2010

## AGRADECIMIENTOS

**A MI ALMA TERRA MATER** (UAAAN) por darme la oportunidad de formar parte de su historia y hacerme sentir honrado de la distinción de Ingeniero Agrónomo en Irrigación. Por abrirme la puertas y brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente. Alma Terra Mater te llevare en mi corazón en donde quiera que me encuentre y pondré en alto tu nombre como una institución Agraria del país

Al departamento de riego y drenaje por formar parte de su leyenda y tradición en la formación de excelentes profesionistas para el agro mexicano.

A la **Dra. Manuela Bolívar Duarte** por darme la confianza y apoyo moral, por compartir conmigo sus conocimientos y su valioso tiempo para realizar este trabajo.

Al **Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho** por su disponibilidad y apoyo para la realización de mi trabajo de tesis.

Al **M. C. Luis Rodríguez Gutiérrez** por su disponibilidad y sugerencias en el trabajo de tesis.

A mis asesores gracias por la dedicación que le dieron a este trabajo de tesis, por su valioso tiempo, que dios los bendiga a cada uno de ustedes.

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

Al M. C. Rogelio Cabrera González mi gran amigo ya que el viaje de estudios que realizamos en la preparatoria sirvió para que yo conociera la UAAAN, que dios lo bendiga y que nunca cambie ese buen corazón que tiene.

## DEDICATORIAS

### A Dios:

Por permitirme concluir esta etapa de mi vida e iluminar mi existencia desde el cielo, por las pruebas que me hacen crecer como hija tuya y que me permiten dar lo mejor de mí.

*Jehová es mi Pastor; nada me faltará.*

*Salmos 23:1*

*Por que de tal manera amo Dios al mundo, que ha dado a su hijo unigénito, para que todo aquel que en él cree, no se pierda, mas tenga vida eterna.*

*San Juan 3:16*

### A MIS PADRES:

*Sra. Ana Catalina Arcos Cruz.* A ti mamá te dedico mis desvelos y mi trabajo de tesis por ser una mujer extraordinaria, maravillosa, por haberme traído a este mundo y ser un ejemplo de lucha en la vida, te agradezco tu apoyo incondicional, tu amor, tu cariño y todo lo que haces por mí, te amo mamá.

*Profr. Lucio Alvaro Peñate.* Papá por tu apoyo y gracias a ti he podido cumplir mi sueño, te dedico este trabajo, mas que mío es tuyo, por el orgullo de ser hombre extraordinariamente maravilloso, gracias papá.

Por que ustedes siempre están conmigo en las buenas y en las malas; me educan, me aconsejan, me imparten valores para conducirme correctamente y me ofrecen el sabio consejo en el momento oportuno; por hacerme una mujer de bien y por darme la mejor herencia, gracias, DIOS me los cuide y me los bendiga por siempre.

## **A MIS PRINCESAS:**

*Luci Yeni, Karina Guadalupe, Mezli Astaira*, gracias por su amor hacia a mi, apoyo y la motivación que siempre me han dado.

## **A MIS ABUELOS**

Maternos

Antonio Cruz y Pascual Arcos: Por sus consejos, a ti abuelita mía por que en todo momento me demuestras tu amor, a ti abuelito por enseñarme lo que es la paciencia hacia lo alrededor, les dedico este trabajo y gracias por compartir conmigo mis éxitos y dios les siga dando largo vida, que dios los bendiga, los amo.

Paternos:

Domingo Alvaro y Barbara Peñate (+): Gracias por sus consejos les dedico este trabajo y compartir conmigo mis éxitos, a ti abuelita mía nunca olvidare esos momentos tan hermosos que viví contigo en mi infancia que aunque tu presencia no esta en este mundo pero tu imagen esta en mi mente y tu amor en mi corazón, a ti abuelo mío me has enseñado lo que es la responsabilidad que dios te siga dando larga vida, que dios me lo bendiga, los amo.

## **A MIS BISABUELOS**

María (+) y Lucas: Gracias por compartir conmigo la alegría cuando me vine a la uaaan, y de acordarse siempre de mi, sobretodo mi viejita mía de acordarte cuando estabas muy mal, nunca olvidare ese gran ternura que transmitías con tan solo verte. A ti mi viejito que dios te conserve mas años con nosotros que dios me lo bendiga.

## **A MIS TIAS Y TIOS**

A mis tías y tíos, María, Juana, Alicia, Rubén, Celso, Abel, Ruitter, Martha, Socorro, Celia (+), Guadalupe, Domingo, por sus consejos, por su amor

hacia a mi y por compartir conmigo mis éxitos, los quiero que dios me los cuide.

Nunca te olvidare a ti tío Samuel por ser un ángel que mando dios para conocer tu gran amor hacia a mi, tu bondad, tu voz que nunca olvidare cuando mencionabas mi nombre con una alegría inmensa al verme llegar.

### **A MIS PRIMOS Y PRIMAS**

A todos ustedes que son como mis hermanos gracias por su amor hacia a mí, y por compartir conmigo mis logros, los quiero.

### **A MIS AMIGOS**

Gracias por regalarme una muestra de su amistad hacia a mi, que dios los bendiga.

## INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>INDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>vii</b>
<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>xii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>I.INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1. Justificación.....	2
1.2. Objetivo.....	2
<b>II.REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Aguas Residuales Urbanas.....	3
2.2. Composición de las Aguas Residuales.....	3
2.3. Disponibilidad del agua en México.....	5
2.4. Usos del agua en México.....	6
2.4.1. Clasificación de los usos del agua.....	6
2.4.1.1. Uso agrícola.....	6
2.4.1.2. Uso para abastecimiento público.....	6
2.4.1.3. Uso en industria autoabastecida.....	6
2.4.1.4. Uso en termoeléctricas.....	7
2.4.1.5. Uso en hidroeléctricas.....	7
2.5. Contaminación del Agua.....	7

2.6. Agricultura en México.....	8
2.6.1. Suelos que Admiten Aguas Residuales.....	9
2.7. El Riego en México.....	9
2.8. Bases del Riego con Aguas Residuales.....	10
2.8.1. Técnicas de riego.....	10
2.8.1.1. Riego por aspersión.....	10
2.8.1.2. Riego por surcos.....	11
2.8.1.3. Riego por encharcamiento.....	11
2.9. Condición de los cultivos a regar con agua residual.....	12
2.10. Efectos y alteraciones ecológicas.....	12
2.11. Calidad del agua y saneamiento.....	12
2.11.1. Saneamiento.....	13
2.12. Parámetros de Calidad de Agua.....	15
2.13. Determinación de la Calidad de las Aguas Residuales.....	15
2.13.1. Métodos físicos – químicos.....	15
2.13.2. Métodos biológicos.....	16
2.13.3. Indicadores Físico –Químico.....	16
2.13.3.1. Olor.....	16
2.13.3.2. Materiales en suspensión.....	16
2.13.3.3. Color.....	16
2.13.3.4. Turbidez.....	17
2.13.3.5. Temperatura .....	17
2.13.3.6. pH.....	17

2.13.3.7. Conductividad eléctrica.....	18
2.13.4. Indicadores de Contaminación Orgánica.....	18
2.13.4.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).....	18
2.13.4.2. Demanda química de oxígeno (DQO).....	18
2.13.4.3. Nitrógeno total.....	19
2.13.4.4. Determinación de nitritos.....	19
2.14. Exigencias de las Aguas de Uso Agrícola.....	19
2.14.1. Factores agroclimáticos.....	20
2.14.2. Salinidad de las aguas.....	20
2.14.3. Norma Usa.....	21
2.14.4. Permeabilidad.....	21
2.15. Aspectos técnicos de la Agricultura con Aguas residuales.....	22
2.15.1. Ventajas y limitaciones del uso de aguas residuales.....	22
2.15.2. Estrategias para el manejo de las aguas residuales tratadas en la agricultura.....	23
2.15.3. Selección del cultivo.....	23
2.15.4. Practicas de manejo del campo.....	24
2.16. Normativa básica de exigencias de las aguas de uso agrario.....	25
2.16.1. Normas de L. V. Wilcox.....	25
2.16.2. Recomendaciones de C. Tamés.....	25
2.16.2.1. Aguas buenas.....	25
2.16.2.2. Aguas malas.....	25
2.16.2.3. Aguas dudosas.....	26

2.17. Efectos en el Suelo por la Irrigación con Aguas Residuales.....	26
2.18. Consideraciones en el Uso de Aguas Residuales para Riego de cultivos.....	26
2.19. Normatividad de la Calidad de Aguas Residuales para Uso Agrícola.....	29
<b>III. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>30</b>
3.1. Localización del sitio de Muestreo.....	30
3.2. Muestreo.....	30
3.2.1. Numero de muestras.....	31
3.2.2. Identificación de las muestras.....	31
3.2.3. Preservación, almacenamiento y transporte de las muestras.....	31
3.3. Determinación de los parámetros de calidad.....	32
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>33</b>
4.1. Parámetros de Calidad del Agua.....	33
4.1.1. Temperatura.....	33
4.1.2. pH.....	33
4.1.3. Conductividad Eléctrica.....	34
4.1.4. Parámetros de Sólidos en el Agua.....	34
4.1.5. Cuantificación de Coliformes Fecales.....	36
4.1.6. Nitrógeno Total y Nitrógeno Amoniacal.....	36
4.1.7. Demanda Química de Oxígeno.....	37
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>40</b>

## INDICE DE CUADROS

Pág.

Cuadro 2.1. Composición del agua residual doméstica bruta.....	4
Cuadro 2.2. Clasificación de disponibilidad natural media de agua .....	5
Cuadro 2.3. Marco Normativo para el Control de la Contaminación del Agua.....	14
Cuadro 2.4. Orientaciones Generales Sobre el Uso Agrícola de Aguas Salinas .....	21
Cuadro 2.5. Cuadro de Tolerancia de algunos cultivos.....	24
Cuadro 2.6. Factores que Influyen en la Aplicación de las Aguas residuales Urbanas a Suelos Agrícolas .....	27
Cuadro 2.7. Factores que Influyen en la Aplicación de las Aguas residuales Urbanas a Suelos Agrícolas .....	28
Cuadro 2.8. Límites máximos permisibles de contaminantes (NOM-003-ECOL-1997).....	29
Cuadro 3.2. Se muestran los parámetros a medir, los métodos y las normas que los respaldan.....	32
Cuadro 4.1. Se muestran los valores de las temperaturas que se obtuvieron al momento del muestro.....	33
Cuadro 4.2. Valores de pH de las muestras de agua.....	34

Cuadro 4.3. Valores de CE de las muestras de agua.....	34
Cuadro 4.4. Valores de Sólidos obtenidos de las muestras.....	35
Cuadro 4.5. Resultados de Cuantificación de Coliformes fecales.....	36
Cuadro 4.6. Resultados del análisis de Nitrógeno Total y Nitrógeno Amoniacal.....	37
Cuadro 4.7. Resultados del análisis de la Demanda Química de Oxígeno...	37

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.3. Países con mayor superficie con infraestructura de riego, año 2005.....	10
Figura. 3.1. Localización de los sitios de muestreo.....	30

## RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en la Escuela de Forestal CECFOR No. 3 en Saltillo Coah. México, con el propósito de evaluar la calidad del agua para riego agrícola, comparando los resultados con la NOM-003-ECOL-1997.

La temperatura no aplica en la NOM, es de gran importancia ya que influye en la solubilidad de las sales. El agua de la entrada esta a 20 °C, el agua sin y con Cloro 13.2 °C. La determinación del pH no aplica en las NOM. En la entrada, tiene un pH de 8.1, el agua sin Cloro pH de 7 y en el agua con Cloro 7.18. La determinación de la conductividad eléctrica no aplica a la NOM, indica la concentración de sal presente en el suelo. La entrada tiene una concentración 1110  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; el agua sin y con Cloro 820  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Los Sólidos Suspendidos (SST) en la entrada son de 580 mg/l; en el agua sin Cloro 60 mg/l y en el agua con Cloro es de 65 mg/l. El agua con Cloro es la que comparamos, es mayor que lo establecido, por lo tanto no cumple; los Sólidos Sedimentables en los análisis realizados en la entrada son de 13 mg/l, en el agua sin Cloro y con Cloro es de 0, por lo que sí cumple. El resultado del análisis de detección de bacterias coliformes fecales en las muestras se observa que en la entrada es mayor que 1100, en el agua sin Cloro 150 y en el agua con Cloro 290, al compararlos con la NOM el agua con Cloro, sí cumple. Los resultados de los análisis del Nitrógeno Total, en la entrada es de 56 ppm; en la salida sin Cloro es de 14.56 ppm y en la salida con Cloro 16.8 ppm. El resultado de los análisis de Demanda Química de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) en la entrada es de 1050 mg/l, en el agua con Cloro y sin Cloro es de 1040 mg/l. Con los análisis comparados no es recomendable su uso para riego. Se recomienda hacer un monitoreo frecuente de la calidad del agua para riego, esto sería con el fin de detectar si la calidad varia.

### **Palabras Clave:**

Agua Residual, Conductividad Eléctrica, Normas Oficiales Mexicanas.

## I. INTRODUCCION

El agua es considerada el recurso natural más importante del mundo. A diferencia de los otros recursos, éste no puede ser sustituido en sus aplicaciones; es la base del desarrollo social y económico de los países a través de la historia; es innegable que la disponibilidad y el adecuado abastecimiento del agua ha marcado el proceso de diferentes comunidades de la tierra (Jacobo y Saborio, 2004).

Para la especie humana, las necesidades de agua y energía han sido siempre en orden creciente, a medida que se ha desarrollado la civilización y ha crecido la población en casi todas las áreas habitadas de la superficie terrestre. Como consecuencia de ello, el ingenio humano ha ideado, a lo largo de la historia, diferentes sistemas de aprovechamiento y tratamiento de las aguas, tanto en su aspecto energético como bajo el punto de vista de su uso en alimentación y utilización agrícolas (Seoanez, 2005).

La utilización de las aguas residuales en los suelos de uso agrícola tienen una triple vertiente: por una parte, se trata de aprovechar las posibilidades de aplicación de ciertas formas de energía como pueden ser utilizar la materia orgánica presente en las aguas residuales; por otra parte, se intenta desarrollar sistemas de tratamiento y depuración de las aguas usadas de bajo costo y de relativamente sencilla aplicación y finalmente se busca el aprovechamiento de un agua, independientemente de su calidad, que de otro modo y a pesar de que contiene cierta energía acumulada en forma de energía potencial para usos urbanos, sería vertida y no reutilizada directamente en cursos de agua o tratada en estaciones depuradoras convencionales, perdiéndose así una etapa de posible uso en riego de zonas agrícolas y forestales (Seoanez, 1999b).

### **1.1. Justificación:**

Los datos de la calidad del agua servirán para realizar una comparación con los parámetros establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997), que establece los límites permisibles para uso agrícola.

### **1.2. Objetivo:**

Determinar la calidad del agua residual de la Planta Tratadora de la Escuela de Forestal (CECFORT ) No. 3 de Saltillo, Coah. Para uso agrícola.

## **II. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. Aguas Residuales Urbanas**

Las aguas residuales urbanas son aquéllas que se han canalizado en los núcleos urbanos después de su uso doméstico (inodoros, fregaderos, lavadoras, lavados y baños) y que pueden contener, además, algún residuo de los arrastres de las aguas de lluvia por una parte y de pequeñas actividades industriales urbanas por otra (Seoanez, 1999b).

El mismo autor considera como aguas residuales, a los líquidos procedentes de la actividad humana, que llevan en su composición gran parte de agua y que generalmente son vertidos a cursos o masas de agua continental o marina.

Las aguas residuales urbanas están conformadas por:

- Excretas humanas
- Residuos domésticos
- Arrastres de lluvia
- Infiltraciones
- Residuos industriales
- Aguas de limpieza y lavado público

### **2.2. Composición de las Aguas Residuales**

La composición de las aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales. En el Cuadro 2.1. Se presenta la composición de las aguas residuales. En función de las concentraciones, estos constituyentes, se pueden clasificar: concentrada, media o débil.

Tanto constituyentes como sus concentraciones presentan variaciones en función de la hora del día, el día de la semana, el mes del año y otras condiciones locales (Metcalf y Eddy, 1996).

Cuadro 2.1. Composición del agua residual doméstica bruta.  
(Metcalf y Eddy, 1996).

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales	mg/l	350	720	1200
Sólidos disueltos totales	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos Sedimentables	mg/l	5	10	20
Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días 20°C (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	110	220	400
Carbono Orgánico Total	mg/l	80	160	290
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno Total	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoniaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo Total	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10

Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Alcalinidad	mg/l	50	100	200
Grasas	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	n. /100ml	$10^6$ - $10^7$	$10^7$ - $10^8$	$10^7$ - $10^9$
Compuestos orgánicos volátiles	ml/l	<100	100-400	>400

### 2.3. Disponibilidad del Agua en México

La disponibilidad natural media per cápita de un país resulta de dividir sus recursos renovables entre el número de habitantes. Según este criterio, México se encuentra en el lugar número 89 mundial sobre 177 países de los cuales se dispone de información, en términos de disponibilidad media per cápita. Cabe aclarar de que en el caso de México, la disponibilidad nacional esconde una fuerte variación regional. En el Cuadro 2.2. se presenta la clasificación de la disponibilidad media del agua (<http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/GoogleBP.aspx>).

Cuadro 2.2. Clasificación de disponibilidad natural media de agua  
(<http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/GoogleBP.aspx>)

Disponibilidad natural media per cápita m <sup>3</sup> /hab/año	Clasificación
Menor a 1 000	Extremadamente baja
1 001 a 2 000	Muy baja
2 001 a 5 000	Baja
5 001 a 10 000	Media
10 001 a 20 000	Alta
Más de 20 000	Muy alta

## **2.4. Usos del agua en México**

### **2.4.1. Clasificación de los usos del agua** (<http://www.conagua.gob.mx/espaniol/TmpContenido.aspx>).

Los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), agrupándose para fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas) y no consuntivos (hidroeléctricas). El 63 por ciento del agua para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), el resto de aguas subterráneas.

### **2.4.2. Uso agrícola**

El mayor uso es el agrícola, con el 77 por ciento del volumen concesionado para uso consuntivo. La superficie cosechada varía entre 18 y 22 millones de hectáreas anualmente. El valor de la producción es el 6.5 por ciento del PIB y la población ocupada en estas actividades oscila entre 4 y 5 millones de personas. Se calcula que dependen directamente de esta actividad entre 20 y 25 millones de personas en México. La superficie bajo riego representa 6.46 millones de hectáreas, agrupadas en 85 Distritos de Riego (54 por ciento de la superficie bajo riego) y más de 39 mil Unidades de Riego (46 por ciento restante).

### **2.4.3. Uso para abastecimiento público**

Se abastece a los usuarios domésticos, así como a industrias y servicios conectados a redes de agua potable en las localidades, generalmente urbanas. Con base en los Censos de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, se estima que de 1998 a 2003 se incrementó el volumen de agua empleado por los prestadores de servicio en 22 por ciento. En 2003, el agua facturada representó el 49 por ciento del agua empleada, lo que implica que el 51 por ciento restante, se perdió en fugas, toma

clandestina o deficiencias del padrón de usuarios. Cabe comentar que la prestación del uso queda bajo el ámbito municipal (<http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/TmpContenido.aspx>).

#### **2.4.4. Uso en industria autoabastecida**

Representado por la industria que se abastece directamente de ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país. Los principales rubros son industria química, azucarera, petróleo, celulosa y papel.

#### **2.4.5. Uso en termoeléctricas**

En 2007 las termoeléctricas (centrales de vapor, duales, carboeléctricas, ciclo combinado, turbogas y combustión interna) generaron 189 TWh, el 87 por ciento de la electricidad producida en el país. Cabe aclarar que el 76 por ciento del agua concesionada a termoeléctricas corresponde a la carboeléctrica de Petacalco Guerrero.

#### **2.4.6. Uso en hidroeléctricas**

El uso no consuntivo, que no consume el agua empleada, en hidroeléctricas, representó en 2007 123 mil millones de metros cúbicos, para generar 29.7 TWh, el 13 por ciento de la producción de energía eléctrica en México.

### **2.5. Contaminación del Agua**

Según Carabias y Landa (2005) la contaminación de los cuerpos de agua es producto de las descargas de aguas residuales sin tratamiento, ya sea de tipo doméstico, industrial, agrícola, pecuario o minero. A finales del año 2001, más del 70 por ciento de los cuerpos de agua del país presentaban algún indicio de contaminación. Las cuencas que destacan por sus altos índices de contaminación son la del Lerma-Santiago, la del Balsas, y las aguas del Valle de México y el sistema Cutzamala.

Si bien la industria autoabastecida sólo consume 10 por ciento del agua total (7.3 km<sup>3</sup> anuales), la contaminación que genera en demanda bioquímica de oxígeno es tres veces mayor que la que producen 100 millones de habitantes. En 2002 los giros industriales con mayores descargas contaminantes sumaban un volumen total de 170.3 m<sup>3</sup>/s. La actividad con mayor volumen de descarga es la acuicultura, con 67.6 m<sup>3</sup>/s (39.6 por ciento), seguida por la industria azucarera 45.9 m<sup>3</sup>/s (27 por ciento), la petrolera 11.4 m<sup>3</sup>/s (6.6 por ciento), los servicios 10.3 m<sup>3</sup>/s (6 por ciento) y la química 6.9 m<sup>3</sup>/s (4 por ciento). A su vez la industria azucarera es la que produce la mayor materia orgánica contaminante y la petroquímica las que producen los contaminantes de mayor impacto ambiental. El sector industrial compite por el uso del agua con otros sectores productivos, particularmente con el agrícola (Carabias y Landa 2005).

Ellas mismas manifiestan que la sobreexplotación de los acuíferos ha ocasionado también que la calidad del agua se haya deteriorado, sobre todo por intrusión salina y migración de agua fósil (las que de manera natural, después de siglos contiene sales y minerales nocivos para la salud humana) inducida por los efectos del bombeo, así como por contaminación difusa producida en las ciudades y zonas agrícolas. Por otra parte, el monitoreo de la calidad de los acuíferos es escaso y poco confiable. Debido a las características propias del ciclo hidrológico, un río puede quedar limpio en un tiempo relativamente corto si la fuente de contaminación se suspende y si no quedan atrapados una cantidad importante de contaminantes en el sedimento; sin embargo, cuando se contamina un acuífero, el problema puede durar decenas de años.

## **2.6. Agricultura en México**

La superficie dedicada a las labores agrícolas en México varía entre los 20 y 25 millones de hectáreas con una superficie cosechada de 18 a 22 millones de hectáreas por año. El valor de la producción es de 155 000 millones de pesos equivalentes al 4 por ciento del PIB nacional (1998); la

población ocupada es de 8.6 millones de personas en su gran mayoría rural con altos grados de marginación. La productividad en las áreas de riego es 3.6 veces mayor que en las de temporal, por lo que esta actividad representan más de la mitad de la producción agrícola nacional (Jacobo y Saborio, 2004).

### **2.6.1. Suelos que admiten aguas residuales**

Los suelos deben tener una serie de características compatibles con la admisión de elevados volúmenes de agua, en los que están presentes un conjunto de productos que pueden modificar la estructura y alterar el equilibrio ecológico del medio en que se sitúa el área de aplicación. Se pueden aceptar suelos desde arenosos hasta franco arcillosos. Los suelos que entran en el grupo de los admisibles para aplicación de aguas residuales deben tener como normas comunes un buen drenaje, lo que está relacionado con la textura, la estructura y la constitución geológica, y una buena capacidad de recuperación. Los suelos pesados y de textura fina, como los arcillosos no son aptos para la aplicación de vertidos residuales más que en la modalidad de la escorrentía superficial sobre cubierta vegetal debido a su mal drenaje (Seoanez, 2005).

## **2.7. El riego en México**

El riego es fundamental para la alimentación mundial. Sólo el 17 por ciento de la superficie de riego es regada, pero produce más de una tercera parte de los alimentos del mundo. Por otra parte, en los últimos años la agricultura ha utilizado mayores cantidades de fertilizantes, los químicos empleados en el riego han contaminado los suelos. México ocupa el sexto lugar a nivel mundial en superficie con infraestructura de riego, mientras que los primeros lugares los ocupan China, India y los Estados Unidos de América, como se muestra en la Figura 2.1 (<http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/TmpContenido.aspx?id>).

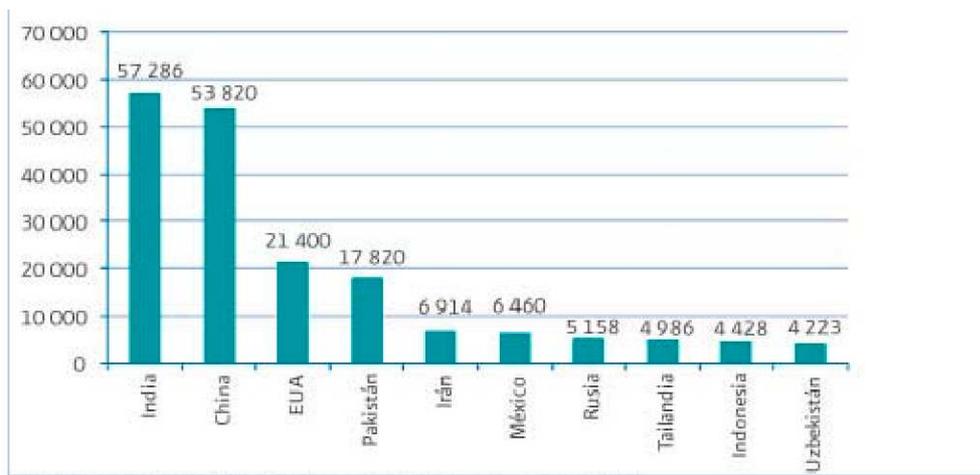


Figura 2.1. Países con mayor superficie con infraestructura de riego, año 2005 (<http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/TmpContenido.asp?id>).

## 2.8. Bases del riego con Aguas Residuales

Los tratamientos para riego se fundan en fenómenos naturales de degradación, de metabolismo y de utilización de nutrientes y demás productos que llevan las aguas residuales consigo y que así pueden ser aplicados al suelo (Seoanez, 2005).

### 2.8.1. Técnicas de riego

El riego es una descarga controlada del efluente sobre el suelo por métodos diversos, con objeto de sustentar y favorecer el crecimiento de los cultivos. El agua residual se distribuye así entre las necesidades de los cultivos, la evapotranspiración y la percolación de los acuíferos. El método de riego a aplicar depende de una serie de factores como son climatología, la topografía, el tipo de suelo, el tipo de cosecha, etc.

Generalmente, el agua residual puede quedar depurada hasta el 99 por ciento aproximadamente en la DBO y en los suelos expandidos ocurre lo mismo cuando se atraviesa capas de 50 a 120 centímetros de espesor (Seoanez, 2005).

El mismo autor menciona las siguientes técnicas de riego:

### **2.8.2. Riego por aspersión**

El riego por aspersión tiene como base la aplicación del agua similar a la caída de lluvia. La caída en forma de gotas se provoca con el flujo de agua residual manteniendo a presión con bomba o por depósito elevados y con aspersores. En el uso de este sistema con aguas residuales, es necesario tener en cuenta que no se mueve agua limpia, sino que se utilizan cantidades elevadas de materia en suspensión y en disolución elevada DBO y posiblemente muchas sales.

Como consecuencia, si el vertido no a sido sometido a depuraciones y tratamientos previos, aparecerán incrustaciones, sedimentaciones y depósitos donde se acumulan las bacterias. Por ello, se deben estudiar las presiones, las pendientes y los diámetros de las conducciones, el diámetro de los aspersores será de 4 a 8 veces superiores al clásico y su resistencia al desgaste deberá ser mucho mayor, la presión también será algo mas elevada y lo mismo el diámetro de las conducciones.

### **2.8.3. Riego por surcos**

El tamaño de los surcos dependerá, sobre todo, del volumen del vertido de que se disponga, del tipo de cultivo y del tipo de suelo. Los surcos, de ser posible, deberán tener un perfil transversal redondeado y en general, deben ser amplios, con separación entre líneas superior a la que se utilizaría en un riego normal. Una vez realizado el vertido, deben permitirse que los surcos se sequen pues de otro modo se puede llegar a colmatar los poros del suelo y por consiguiente el agua residual no penetrará hacia el interior.

### **2.8.4. Riego por encharcamiento**

Este riego se puede realizar por curvas de nivel o mediante lagunas, efectuándose la separación por camellones. Se trata de inundar el suelo con un volumen de vertido, de forma que el agua alcance cierta altura sobre el nivel del suelo. Esta altura dependerá del tipo de suelo, del volumen de agua y del tipo de vegetación. Una condición fundamental para esta técnica es la nivelación del suelo, es decir, éste debe ser horizontal de forma que la profundidad sea siempre uniforme.

## **2.9. Condición de los cultivos a regar con agua residual**

Los cultivos a utilizar dependen de numerosos factores como son, entre otros, su capacidad de absorción de agua, sus necesidades y tolerancia a los componentes del agua residual urbana, lo que implica que siendo fundamental la composición del vertido. También lo es la comercialización, la resistencia de los vegetales, su mayor o menor dificultad de manejo y el valor de la cosecha (Seoanez, 2005).

## **2.10. Efectos y alteraciones ecológicas**

La aplicación de aguas residuales sobre un suelo origina una serie de alteraciones que pueden ser beneficiosas en ciertas condiciones; muchos componentes del agua residual son productos que pueden mejorar la fertilidad, pues son elementos y compuestos nutritivos, aunque otros pueden ser problemáticos desde el punto de vista de toxicidad. La aplicación de aguas residuales pueden producir un aumento en el contenido en sales y metales pesados del suelo (Seoanez, 2005).

El mismo autor menciona que en ciertas experiencias europeas se ha comprobado un aumento de la concentración de algunos metales, aunque esto a ocurrido después de muchos decenios de aplicación. Los componentes sólidos del vertido se concentran en el suelo y si se realizan lavados frecuentes con aguas no residuales, el resultado es una baja en la concentración de estos productos en el suelo y un aumento de su presencia en los niveles piezométricos, tanto fríaticos como el de los acuíferos. La presencia de esta clase de elementos y compuestos puede alterar la calidad de un suelo o del agua relacionada con los componentes de éste, por lo que antes de aplicar agua residual es de gran interés su análisis.

## **2.11. Calidad del agua y saneamiento**

La calidad del medio ambiente se ha visto, en las últimas décadas, seriamente afectadas por el manejo y disposición inadecuados de considerables cantidades de desechos generados en los grandes núcleos de población y centros industriales. La Comisión Nacional del Agua(CNA), órgano desconcentrado de la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos

Naturales, tiene entre sus principales atribuciones, conferidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico (LEEPA) y la Protección al Ambiente y en la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento, promover, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para preservar, conservar y mejorar la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, de acuerdo con la normatividad en materia de agua vigente (Jacobo y Saborio, 2004).

Los mismos autores mencionan que en México los marcos de referencia para evaluar la calidad del agua son:

a) Los criterios Ecológicos de calidad del agua, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 1989. Estos permiten evaluar la calidad del agua directamente de la fuente de abastecimiento, ya sea agua superficial o subterránea, ya que establecen los parámetros y los valores máximos permisibles que debe cumplir la calidad del agua para los diferentes usos.

b) La norma oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano, la cual permite evaluar la calidad del agua que consume la población obtenida del proceso de potabilización.

### **2.11.1. Saneamiento**

El deterioro en la calidad de los diferentes cuerpos de agua es consecuencia directa del vertido sin previo tratamiento de las aguas residuales municipales, agrícola e industrial que contienen grandes cantidades de sustancias contaminantes; la naturaleza de éstas y sus efectos sobre los cuerpos de agua varían dependiendo del origen de las aguas residuales, las concentraciones de las sustancias contaminantes, los volúmenes descargados y de las características propias de los cuerpos de agua. Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal; de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos y en los

demás casos previstos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Cuadro 2.3) (Jacobo y Saborio, 2004).

Cuadro 2.3. Marco Normativo para el Control de la Contaminación del Agua (Jacobo y Saborio, 2004).

<b>Norma</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Observaciones</b>
NOM-001-ECOL-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales	Proteger la calidad de los cuerpos de agua y posibilitar sus usos.	No aplica a las descargas provenientes de drenajes pluviales independientes.
NOM-002-ECOL-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.	Prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas.	No se aplica a las descargas de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria que sean distintas a las aguas residuales de procesos y conducidos por drenaje separado.
NOM-003-ECOL-1997	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.	Proteger el medio ambiente y la salud de la población.	

## 2.12. Parámetros de Calidad de Agua

La calidad del agua ha de definirse en relación con el uso o actividad a que se le quiere dedicar, por ello no podemos hablar de “buena” o “mala” calidad en abstracto, sino que cada actividad exige una calidad adecuada (Seoanez, 1999a).

El mismo autor menciona para evaluar los cambios que las diferentes aplicaciones del agua puedan originar en su calidad, se emplean parámetros físicos, químicos o biológicos. A estos parámetros se les denomina *indicadores de calidad*.

En las reglamentaciones internacionales se establecen distintas limitaciones:

- La concentración máxima recomendada representa un tope a alcanzar. Si el agua se encuentra dentro de esta limitación se puede asegurar su excelente calidad.
- La concentración máxima aceptable representa un límite a partir del cual ya no se puede garantizar la calidad del agua, pues aparecen una serie de factores que resultan incómodos al consumidor.
- La concentración máxima admisible 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.

## 2.13. Determinación de la Calidad de las Aguas Residuales

### 2.13.1. Métodos físicos - químicos

Se basan en el estudio de los factores físico- químico del agua y se llevan a cabo mediante una toma de muestras, con determinación de sus características físicas y con análisis de sus componentes químicos y dan una información muy valiosa de la calidad del agua. (Seoanez, 2005)

### **2.13.2. Métodos biológicos**

Se basan en el estudio de las comunidades de animales y de plantas acuáticas. Dado que cada comunidad responde a las condiciones físico-químicas del medio en que vive. Por lo tanto, la caracterización biológica del agua parte de la determinación del grado de alteración de la condición biológica de la misma cuando se introducen sustancias tóxicas, materia orgánica que pueda descomponerse, o cualquier forma de energía. (Seoanez, 2005)

El mismo autor menciona los siguientes indicadores de la calidad del agua.

### **2.13.3. Indicadores físico -químico**

#### **2.13.3.1. Olor**

Las aguas residuales tienen olores característicos generados por los materiales volátiles que contienen y por los procesos de degradación de la materia orgánica presente.

#### **2.13.3.2. Materiales en suspensión**

Las aguas residuales están cargadas casi siempre con materiales en suspensión. Estos materiales, según su densidad y las características del medio receptor, son depositados en distintas zonas produciendo una contaminación mecánica.

#### **2.13.3.3. Color**

Los desechos de las industrias alteran considerablemente el color de las aguas. Esto tiene como consecuencia una grave contaminación estética, además de dificultar los procesos de fotosíntesis e intercambios de oxígeno. Se determina por dos métodos: el método de platino-cobalto y la comparación de discos coloreados (Seoanez, 2005). Para el Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York 2007, el color del agua es ocasionada generalmente por la extracción de materia colorante del humus de los bosques o de la materia vegetal de los pantanos y áreas de poca profundidad. El color del agua es de dos tipos: el “color verdadero” es el que

está presente en el agua después de haberse removido la materia suspendida y el “color aparente” es el color verdadero más cualquiera otro color que produzca la sustancias en suspensión.

#### **2.13.3.4. Turbidez**

Para Seoanez (2005) la turbidez del agua es debida a la presencia de materiales en suspensión finamente divididas: arcillas, limos, granos de sílice, materia orgánica, etc. Las medidas de turbidez se realizan utilizando el efecto Tyndall, la opacidad o el índice de difusión. Concepto similar considera el Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (2007), pues menciona que la turbidez es el efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en la suspensión.

#### **2.13.3.5. Temperatura**

Influye en la solubilidad de las sales y sobre todo en las de los gases y en la disociación de las sales disueltas y por lo tanto, en la conductividad eléctrica (CE) y en el pH del agua. Las medidas se realizan con termómetros de máximas y mínimas suspendidos a una profundidad media (Seoanez, 2005).

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).

#### **2.13.3.6. pH**

Mide la concentración de los iones hidrógeno en el agua. Un pH de 8 es elevado, indica una baja concentración de iones de  $H^+$  y por lo tanto una alcalinización del medio. Por lo contrario, un pH de 5 es bajo, indica una acidificación del medio (Seoanez, 2005). EL pH ideal para la retención de la mayoría de los componentes del agua residual es el comprendido entre 6 y

7. Para el Departamento del Estado de Nueva York (2007) el pH es la concentración de iones hidrógeno es decir el pH, mide la intensidad de la reacción ácida o alcalina del agua. No mide la concentración total del ácido o álcali que esté presente.

#### **2.13.3.7. Conductividad eléctrica**

La conductividad, que varía en función de la temperatura, está estrechamente ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza (Seoanez, 2005).

La salinidad medida por la conductividad eléctrica, indica un nivel elevado de salinidad implicando alteraciones y perturbaciones en la vegetación que puede llegar a ser irreversibles, pues aquella es un factor limitante (Seoanez, 1999a).

#### **2.13.4. Indicadores de Contaminación Orgánica**

##### **2.13.4.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Expresa la cantidad de oxígeno necesaria para biodegradar la materia orgánica (degradación por microorganismos) (Seoanez, 2005).

La DBO<sub>5</sub> en la práctica, permite apreciar la carga del agua en materias putrescibles y su poder autodepurador y de ello se puede deducir la carga máxima aceptable (Seoanez, 1999b).

##### **2.13.4.2. Demanda química de oxígeno (DQO)**

La medida de la DQO es la estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral (Seoanez, 2005). 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.

#### **2.13.4.3. Nitrógeno Total**

El nitrógeno que se aporta a un suelo mediante un vertido de aguas residuales con carga orgánica, tiene que ser sometido a un proceso natural que lo convierta en un producto asimilable para los vegetales. El nitrógeno presente o por lo menos más de la mitad de él, está en forma amoniacal, de nitritos, nitratos, según haya sido el tratamiento a que haya sido sometido el agua residual. Los tratamientos previos alteran el ciclo del nitrógeno, pues se eliminan previamente gran parte del elemento (Seoanez, 1999a).

El nitrógeno total es la suma del nitrógeno presente en los compuestos orgánicos aminados y en el amoniaco (Seoanez, 2005).

#### **2.13.4.4. Determinación de nitritos**

Según el origen de las aguas, su contenido en nitrito varía y el método utilizado para su determinación es distinto. Así para aguas con contenido superior a 50 mg/l se emplea el método del reactivo de Zambelli y para contenidos inferiores a 50 mg/l el método de la sulfanilamida (Seoanez, 2005).

### **2.14. Exigencias de las Aguas de Uso Agrícola**

En general, las aguas de uso agrícolas deben tener ciertas exigencias en lo que se refiere a problemas básicos de salinidad, permeabilidad, toxicidad específica por ciertos iones y contaminación desde el punto de vista sanitario (Seoanez, 1999b).

El mismo autor menciona que en los flujos de vertido deben tenerse en cuenta tanto la calidad como la cantidad. Existen diversos Organismos Internacionales, como la (FAO) o la (UNESCO), y organismos específicos de diversos países avanzados, que han realizado buenas interpretaciones, con bases analíticas y de todo tipo, de la calidad de las aguas útiles para la agricultura, bases en las que se incluyen las cantidades mesurables de sustancias disueltas que llevan los productos asimilables, los no asimilables, etc.

Las líneas que deben de tenerse en cuenta son: el grado de salinidad , la permeabilidad del suelo, la toxicidad de los elementos añadidos, la cantidad y el volumen de riego, el cultivo adecuado de la zona, el pH del agua, el pH del suelo, el catión predominante en el suelo, la climatología de la zona, etc. Todo plan que lleve consigo el uso de aguas residuales en aplicaciones agrícola, deberá incluir un estudio profundo de la problemática que se debe plantear en lo que se refiere a contaminación y a gestión de un material que no es el clásico que se utiliza normalmente en riegos (Seoanez ,1999a).

El autor anterior menciona los siguientes factores:

#### **2.14.1. Factores agroclimáticos**

Por lo que se refiere a la aplicación de las aguas de uso agrícola a cultivos y lugares donde existe presencia de cultivos, como es natural deben influir grandemente las condiciones ecológicas y climáticas. En este sentido es necesario el uso de las caracterizaciones o clasificaciones agroecológicas que tienen en cuenta las temperaturas, la humedad, las aguas de lavado y general los balances de aguas de cada zona, con lo que se puede prever el vertido, a lo largo de las diferentes estaciones del año, de las aguas residuales sobre los suelos.

#### **2.14.2. Salinidad de las aguas**

El concepto abarca las cantidades de sales que se aportan mediante los vertidos. Para realizar una adición equilibrada se tendrá en consideración: la capacidad de redistribución que manifiestan los cultivos, ya que extraen sales de los horizontes profundos para depositarlas en el horizonte superficial; la pluviosidad y el grado de permeabilidad del suelo respecto a estos elementos y la parte retenida por el cultivo. El conjunto de estos datos da como consecuencia, el grado de empobrecimiento anual que sufre el suelo tras la cosecha, y, en definitiva nos indica el contenido en elementos que deben de estar presentes en las aguas de riego. En el cuadro 2.4. se presentan las Orientaciones Generales Sobre el Uso Agrícola de Aguas Salinas.

Cuadro 2.4. Orientaciones generales sobre el uso agrícola de Aguas salinas (Seoanez, 1999a).

<b>Respuesta de las cosechas</b>	<b>Sólidos disueltos en mg/l</b>	<b>Conductividad eléctrica (dS.m<sup>-1</sup>)</b>
A.-Aguas sin problema	< 500	<750
B.-Aguas que pueden perturbar a ciertos cultivos sensibles	500-1,000	750-1500
C.-Aguas que pueden dañar muchos cultivos y que necesitan una gestión adecuada	1,000-2,000	1500-3000
D.-Aguas que pueden ser utilizadas solamente en especies tolerantes, con una gestión adecuada.	2,000-5,000	3000-7500

### **2.14.3. Norma USA**

Los Estados Unidos se preocupan actualmente por el uso y reciclado de las aguas residuales urbanas. Los límites químicos y bacteriológicos han sido establecidos y reducidos desde hace bastantes años, hasta el punto que, en la actualidad, no se permite la aplicación de aguas residuales crudas ni tratadas por sedimentación, cuando el vertido tenga por objeto vegetales de consumo humano.

Si las aguas residuales han recibido un tratamiento completo (oxidación, desinfección, etc.), ciertos estados permiten los vertidos sobre productos de consumo crudo, aunque en la mayoría de ellos esta prohibida.

### **2.14.4. Permeabilidad**

Los problemas de permeabilidad se centran en la velocidad de infiltración que manifiestan los suelos de uso agrícola frente a las aguas de vertido.

La presencia excesiva de determinados cationes puede realizar, mediante desplazamiento químico, la sustitución de calcio y magnesio por sodio. La presencia de carbonatos y bicarbonatos, importante en los suelos calizos, afecta a la permeabilidad, por una competencia que aparece entre calcio del carbonato y el sodio de las aguas de riego.

## **2.15. Aspectos técnicos de la Agricultura con Aguas residuales.**

### **2.15.1. Ventajas y limitaciones del uso de aguas residuales**

(<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=aguas+residuales>).

El riego con aguas residuales se viene incrementando notablemente en los últimos años, debido a que otorga a la agricultura las siguientes ventajas:

- Disponibilidad permanente de agua
- Aporte de gran cantidad de nutrientes
- Incremento del rendimiento de los cultivos
- Mejora de la calidad de los suelos (textura)
- Ampliación de la frontera agrícola

(<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=aguas+residuales>).

Aun cuando estas importantes ventajas justifican ampliamente el uso de las aguas residuales en agricultura, también existen algunas restricciones o riesgos que se deben tomar en cuenta, como los siguientes:

- La contaminación microbiológica del cultivo
- La bioacumulación de elementos tóxicos
- La salinización e impermeabilización del suelo
- El desbalance de nutrientes en el suelo

## **2.15.2. Estrategias para el manejo de las aguas residuales tratadas**

### **en la agricultura**

La eficiencia del uso de las aguas residuales en la actividad agrícola depende básicamente de las estrategias que se adopten para optimizar la calidad y cantidad de la producción, manteniendo la productividad del suelo y protegiendo el ambiente y la salud pública. Los tres componentes básicos que deberán combinarse son tipo de cultivos, los métodos de riego y las prácticas de manejo.

La cantidad total y la disponibilidad de agua permitirán determinar la magnitud del área agrícola, el programa de siembras y cosechas, la frecuencia y horario de riego y las necesidades adicionales de almacenamiento. La calidad del agua, en términos de concentración de nutrientes, sales y iones determinará el tipo de cultivo en función a su tolerancia a las concentraciones de sales, el método de riego, la fertilización y otras prácticas de manejo (<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=aguas+residuales>).

### **2.15.3. Selección del cultivo**

La mayoría de las aguas residuales tratadas no son muy salinas, ya que los niveles generalmente se sitúan entre 200 y 500 mg/l. Podrían presentarse casos de efluentes con niveles de salinidad que excedan los 2000 mg/l y que restrinjan la absorción de agua en ciertos cultivos susceptibles a este factor. La tolerancia de algunos de ello se indica en el Cuadro 2.5. (<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=aguas+residuales>).

Cuadro 2.5. Tolerancia de algunos cultivos a la salinidad (<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=aguas+residuales>)

Tolerantes	Semi – tolerantes	Sensibles
Cebada	Avena	Frijoles
Algodón	Soya	Lenteja
Betarraga	Trigo	Zanahoria
Alfalfa	Sorgo	Cebolla
Esparrago	Caña de azúcar	Maíz

La mayoría de hortalizas (col, coliflor, tomate, espinaca) y tubérculos (papa y camote) tienen una sensibilidad moderada. Casi todos los cultivos de frutas son bastante sensibles a la salinidad, salvo el caso del higo, papaya, olivo y piña, que muestran una tolerancia moderada (<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=aguas+residuales>).

#### **2.15.4. Prácticas de manejo del campo**

Cuando las concentraciones salinas de los efluentes tratados excedan los 2000 mg/l se debe efectuar prácticas de riego que eviten la acumulación salina. Aplicar volúmenes restringidos de agua y facilitar una buena percolación y drenaje del suelo son prácticas que contribuyen a evitar este proceso. Por eso es preferible optar por un método de riego con poca demanda de agua

(<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=aguas+residuales>).

En caso de observarse un proceso de salinización, se debe favorecer el lavado del suelo, aplicando mayor cantidad de agua en la época fría en lugar de la cálida, ya que normalmente las pérdidas por evapotranspiración son menores en este periodo del año. También se recomienda esta práctica

en el periodo entre cosecha y siembra, especialmente en suelos de poca percolación (<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=aguas+residuales>).

## **2.16. Normativa básica de exigencias de las aguas de uso agrícola**

Por lo que se refiere a la normativa general de exigencias de las aguas de uso agrícola, existen diversas recomendaciones y clasificaciones, como pueden ser las normas de Wilcox, las de Tamés o las del USDA, que califican el agua residual según su calidad y según el lugar donde vaya ser vertido (Seoanez, 1999a).

### **2.16.1. Normas de L. V. Wilcox**

Considera como índices para la calificación de las aguas el porcentaje de sodio respecto al total de cationes y la conductividad eléctrica.

### **2.16.2. Recomendaciones de C. Tamés**

Para tales recomendaciones C. Tamés tuvo en cuenta los trabajos del "Soil Salinity Laboratory Staff" de USA. Distingue tres clases de aguas: buenas, malas y dudosas. Las buenas son utilizables siempre, las malas nunca y las dudosas dependen del lugar y de otras circunstancias.

#### **2.16.2.1. Aguas buenas**

Han de poseer todas y cada una de las siguientes especificaciones:

- 1.-Total de sólidos disueltos: No superior a 0.5 g/l
- 2.-Contenido en boro: Inferior a 0.33 mg/l
- 3.-Índice de carbonato sódico residual: Deben de ser menor de 1.25 meq /l
- 4.-Relación de calcio: Superior a 0.35 meq/l

#### **2.16.2.2. Aguas malas**

Serán todas aquellas que tienen alguna de las siguientes especificaciones:

- 1.-Total de sólidos disueltos: Superior a 12 g/l.

2.-Contenido en boro: superior a 3.75 mg/l

3.-Índice de carbonato sódico residual: 2.5 meq/l

4.-Relacion de calcio: inferior a 0.35 meq/l

### **2.16.2.3. Aguas dudosas**

Su aplicación deberá ir precedida del estudio de los siguientes factores.

- Suelo: Permeabilidad y capacidad de campo, drenaje natural, naturaleza del complejo absorbente, salinidad del “extractor a saturación”, contenido de yeso y carbonato de calcio no ionizado.
- Clima: Características ombrotérmicas (Thornthwaite) (lavado en profundidad mediante aguas de lluvia).
- Planta: Resistencia a la salinidad de las presuntas especies vegetales.
- Acondicionamiento del terreno: Calidad de la nivelación y del drenaje, sistema de riego, cubierta protectoras, enmiendas y abonado.

### **2.17. Efectos en el Suelo por la Irrigación con Aguas Residuales**

Seoanez, (1999(a)) citado por Ramírez (2008) 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.

### **2.18. Consideraciones en el Uso de Aguas Residuales para Riego de Cultivos**

Seoanez, (1999a) citado por Ramírez (2008) 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 2.6 y 2.7.

Cuadro 2.6. Factores que Influyen en la Aplicación de las Aguas Residuales Urbanas a Suelos Agrícolas (Seoanez 1999a, citado por Ramírez (2008)).

<b>Características de vertido</b>	<b>Características del suelo</b>	<b>Características geológicas</b>	<b>Características topográficas</b>
Composición	Tipo	Roca madre	Pendientes
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 adsorción 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: -Industrial -Turística -Residual -Mixta

Cuadro 2.7. Factores que Influyen en la Aplicación a Suelos Agrícolas de las Aguas Residuales Urbanas II. (Seoanez, 1999b citado por Ramírez (2008)).

<b>Factores climáticos</b>	<b>Cubierta vegetal</b>	<b>Sistema y técnicas de vertido</b>	<b>Calidad del área de vertido y su entorno</b>
Temperatura	Especies autóctonas	sistema	Uso anterior del suelo
Precipitaciones	Capacidad de absorción de nutrientes	intensidad	Tipo de cosecha
Evapotranspiración	Ciclo vegetativo	drenajes	Pastizal <ul style="list-style-type: none"> <li>- De uso</li> <li>- De depuración</li> </ul>
Heladas  Vientos <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dirección</li> <li>- Velocidad</li> <li>- Frecuencia</li> </ul> Tormentas (frecuencial)  Huracanes y tornados	Tolerancia <ul style="list-style-type: none"> <li>- Humedad</li> <li>- Sombra</li> <li>- Agentes tóxicos</li> </ul> Productividad  Rentabilidad  Tamaño <ul style="list-style-type: none"> <li>- Herbáceas</li> <li>- Matorral</li> <li>- Cubierta arbórea</li> </ul>	Material  Duración  Frecuencia	Zonas del entorno <ul style="list-style-type: none"> <li>- Turística</li> <li>- Residenciales</li> <li>- Agrícolas</li> <li>- Forestales</li> <li>- Industriales</li> <li>- Periurbanas Abandonadas</li> <li>- Deportivas</li> <li>- Pantanosa</li> <li>- Reservas naturales</li> <li>- Cursos de agua</li> <li>- Masas de agua</li> <li>- Valoración del suelo</li> <li>- En el área de vertido</li> <li>- En el entorno</li> <li>- Aspectos estéticos (olores)</li> <li>- Aspectos sanitarios</li> </ul>

## 2.19. Normatividad de la Calidad de Aguas Residuales para Uso Agrícola (NOM-003-ECOL-1997)

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso. Se puede destinar a actividades donde el público usuario está expuesto indirectamente, en contacto directo u ocasional. En el cuadro 2.8. se muestran los límites máximos permisibles de contaminantes (Comisión Nacional del Agua, 2005).

Cuadro 2.8. Límites máximos permisibles de contaminantes (NOM-003-ECOL-1997) (Comisión Nacional del Agua, 2005)

Tipo de reúso	Promedio mensual				
	Coliformes fecales	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
Servicio al público con contacto directo	240	≤1	15	20	20
<b>Servicio al público con contacto indirecto u ocasional</b>	<b>1,000</b>	<b>≤5</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>30</b>

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización del sitio de Muestreo

El presente trabajo de investigación se inició el muestreo el 5 de febrero del 2010, tomando muestras en la Planta Tratadora de la Escuela de Forestal (CECFORT No. 3) ésta se ubica geográficamente sobre las Coordenadas  $25^{\circ} 22' 29''$  Latitud Norte y  $101^{\circ} 00' 43''$  Longitud Oeste con una altura sobre el nivel del mar de 1750 m, Saltillo Coahuila, México, como se observa en la figura 1.

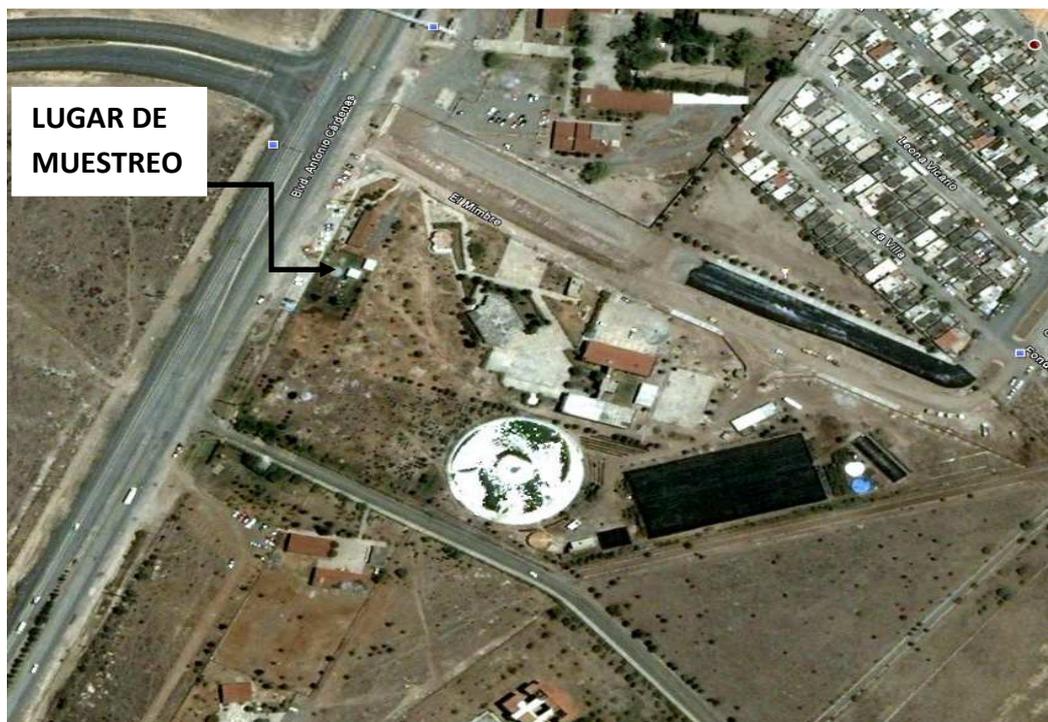


Figura 3.1. Localización de los sitios de muestreo.

#### 3.2. Muestreo

Para el muestreo del agua de la Planta Tratadora CECFORT No. 3, se siguieron las especificaciones de la NMX-AA-003-1980 Aguas residuales-Muestreo.

### **3.2.1. Número de muestras**

Las muestras fueron tomadas en la entrada y salida de la planta tratadora. Se tomaron tres muestras del efluente de las aguas residuales, la primera muestra se tomó en el cárcamo de bombeo en la entrada de la institución; la segunda, el agua sin cloro y el tercero fue en la salida, siendo estos los lugares representativos para los análisis físicos y químicos del agua residual, el muestro se realizó sólo una vez, la fecha antes ya mencionada.

### **3.2.2. Identificación de las muestras**

Para la identificación de las muestras se emplearon etiquetas que contenía la siguiente información:

- Localización
- Lugar
- Fecha
- Hora
- Temperatura
- Conductividad Eléctrica
- pH

Se usaron recipientes de 2 y 2.5 litros utilizando guantes y cubre-boca.

### **3.2.3. Preservación, almacenamiento y transporte de las muestras**

Las muestras fueron transportadas en hieleras al Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje para realizar su análisis. Las cuales se colocaron en refrigeración a una temperatura de 4°C para su conservación.

### 3.3. Determinación de los parámetros de calidad.

En el cuadro 3.2 se muestran los parámetros a medir, los métodos y las normas que los respaldan (Bolívar, 2009 ).

Cuadro 3.2. Parámetros, métodos de determinación y norma aplicada en el análisis de Aguas Residuales (Bolívar, 2009).

<b>Determinación</b>	<b>Método</b>	<b>Norma</b>
Temperatura	Muestreador automático Hach	NMX-AA-007
pH	Muestrador automático Hach	NOM-AA-008
CE	Conductivímetro	NOM-AA-093
Sólidos suspendidos Totales, Volátiles y fijos	Crisol Gooch	NOM-AA-034
Sólidos Totales, Volátiles y fijos	Crisol Gooch	NOM-AA-034
Sólidos disueltos totales	Crisol Gooch	NOM-AA-034
Sólidos Sedimentables	Cono de Imhoff	NOM-AA-004
Coliformes Totales	Número más Probable (NMP)	NOM-AA-042
Nitrógeno amoniacal y total	Titulométrico con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Kjeldahl	NMX-AA-026
Demanda química de oxígeno	Método de reflujo Abierto	NMX-AA-028

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Parámetros de Calidad del Agua

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos y se discutirán los parámetros de la calidad de agua de riego para uso agrícola, los parámetros de calidad del agua se compararon con la NOM-003-ECOL-1997.

#### 4.1.1. Temperatura

La determinación de la temperatura aunque no aplica en la Norma Oficial Mexicana, es de gran importancia ya que influye en la solubilidad de las sales por lo tanto, en la conductividad eléctrica (CE) y en el pH del agua. Las lecturas se realizaron con un muestreador automático Hach. En el Cuadro 4.1 se muestra el resultado de las temperaturas de las tres muestras las diferencias, se observa que en la entrada presenta mayor temperatura comparada con la de agua sin cloro y agua con cloro que presenta valores iguales.

**En el cuadro 4.1. Valores de las temperaturas**

<b>Muestras</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Entrada	20
Agua sin cloro	13.2
Salida con cloro	13.2

#### 4.1.2. pH

La determinación del pH aunque no aplica en la norma, es de gran importancia ya que mide la intensidad de la reacción ácida o alcalina del agua. En el Cuadro 4.2. se muestran los valores que resultaron de los análisis de pH, se puede observar que la muestra que presentó mayor pH fue el de la muestra de la entrada.

**Cuadro 4.2. Valores de pH de las muestras de agua**

<b>Muestras</b>	<b>pH</b>
Entrada	8.1
Agua sin cloro	7.00
Salida con cloro	7.18

#### **4.1.3. Conductividad Eléctrica**

La determinación de la conductividad eléctrica no aplica a la NOM-ECOL-003-1997 las dos normas propuestas pero es de gran importancia ya que nos indica la concentración de sal presente en el suelo. En el Cuadro 4.3. se observa que la muestra de agua que presentó mayor conductividad eléctrica fue el de la entrada de 1110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  , el agua sin cloro 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el agua con cloro con un valor de 820  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Cuadro 4.3. Valores de CE de las muestras de agua**

<b>Muestras</b>	<b>CE (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>
Entrada	1110
Agua sin cloro	800
Salida con cloro	820

#### **4.1.4. Parámetros de Sólidos en el Agua**

Los resultados de sólidos obtenidos en los análisis se muestran en el Cuadro 4.4., solo fueron comparados los Sólidos Suspendidos Totales y los Sólidos Sedimentables con la NOM-ECOL-003-1997 (Comisión Nacional del Agua, 2005).

Al comparar los sólidos suspendidos totales con la NOM-ECOL-003-1997 es mayor que lo establecido y al comparar los resultados de los Sólidos sedimentables es menor que lo establecido.

**Cuadro 4.4. Valores de Sólidos obtenidos de las muestras**

Parámetros	Muestras en mg/l			NOM-ECOL-003-1997 (mg/l)
	Entrada	Agua sin cloro	Salida Con cloro	
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	<b>580</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>30</b>
Sólidos suspendidos Volátiles	490	25	10	No aplica
Sólidos suspendidos Fijos	90	35	55	No aplica
Sólidos totales	1380	750	925	No aplica
Sólidos totales volátiles	780	330	370	No aplica
Sólidos totales fijos	600	420	555	No aplica

Sólidos disueltos totales	115	45	50	No aplica
<b>Sólidos Sedimentables (ml/l)</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>No aplica</b>

#### **4.1.5. Cuantificación de Coliformes fecales**

El resultado del análisis de detección de bacterias coliformes fecales en las muestras en comparación con la NOM-003-ECOL-1997, se observa que en la entrada es mayor el número de coliformes fecales que en la muestra sin cloro y en la muestra con cloro, las dos últimas muestras se encuentran dentro de los límites permisibles de la norma oficial mexicana. El resultado de los análisis de coliformes fecales se muestra en el Cuadro 4.5.

**Cuadro 4.5. Resultados de Cuantificación de Coliformes fecales**

<b>Muestras</b>	<b>Coliformes fecales (NMP/100 ml)</b>	<b>NOM-ECOL-003 (NMP/100 ml)</b>
Entrada	>1100	1000
Agua sin cloro	150	1000
Salida con cloro	290	1000

#### **4.1.6. Nitrógeno Total y Nitrógeno Amoniacal**

El resultado de los análisis de Nitrógeno Total y Nitrógeno Amoniacal se muestran en el cuadro 4.6. con los resultados obtenidos podemos obtener el Nitrógeno Orgánico.

Los resultados de los análisis del Nitrógeno Total, en la entrada con 56 ppm, en el agua sin cloro 14.56 ppm y en el agua con cloro 16.8ppm, estos resultados no son comparados.

**Cuadro 4.6. Resultados del análisis de Nitrógeno Total y Nitrógeno Amoniacal**

Parámetro	Muestras en ppm			NOM- ECOL-003- 1997  (mg/l)
	Entrada	Salida sin cloro	Salida con cloro	
Nitrógeno total	56	14.56	16.8	No aplica
Nitrógeno Amoniacal	56	2.80	3.36	No aplica
Nitrógeno orgánico	16.8	11.76	13.44	No aplica

#### 4.1.7. Demanda Química de Oxígeno

El resultado de los análisis de Demanda Química de Oxígeno se observa en el cuadro 4.7. los análisis muestran mayor cantidad de oxígeno que requiere en la entrada, en el agua sin cloro y con cloro necesitan la misma cantidad de oxígeno, para la oxidar la materia orgánica y la inorgánica.

**Cuadro 4.7. Resultados del análisis de la Demanda Química de Oxígeno**

Parámetro	Muestras en mg/l		
	Entrada	Salida con cloro	Salida sin cloro
DQO	1050	1040	1040

## V. Conclusiones y Recomendaciones

El agua analizada de la planta tratadora de agua proviene de la Colonia Teresitas y Soldados Zona Militar de Saltillo, Coahuila.

La determinación de la temperatura, aunque no aplica en la Norma Oficial Mexicana, es de gran importancia ya que influye en la solubilidad de las sales por lo tanto, en la conductividad eléctrica (CE) y en el pH del agua. En la entrada la temperatura es mayor que en el agua sin y con cloro, las temperaturas no son altas por su origen domestico.

La determinación del pH, aunque no aplica en la NOM, es de gran importancia ya que mide la intensidad de la reacción ácida o alcalina del agua. En la entrada en el carcamo de bombeo, el agua presenta un pH de 8.1 es considerada como alcalina; en el agua sin Cloro presenta un pH de 7 que es neutro y en la salida con Cloro el pH es de 7.18 que presenta un porcentaje bajo de alcalinidad.

La determinación de la conductividad eléctrica no aplica en la NOM-ECOL-003-1997 propuesta pero es de gran importancia ya que nos indica la concentración de sal presente en el suelo. En la entrada la CE es de 1110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  es el valor mas alto, en el agua sin Cloro es de 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en el agua con Cloro es de 820  $\mu\text{S}/\text{cm}$  la calidad de esta agua no afectaría mucho en el rendimiento de los cultivos, como por ejemplo: los cultivos mas sensibles a la salinidad es el frijol y ejote su rendimiento estaría afectado por un porcentaje de 1.02 porciento.

Es importante tener los resultados de todos los sólidos, porque los Sólidos Suspendidos Totales nos dicen el contenido el contenido de materia orgánica y la contaminación que éstas pueden tener. La NOM-ECOL-003-1997 su valor máximo permisible es 30 mg/l, los sólidos suspendidos en la entrada de 580 mg/l, en el agua sin Cloro de 60mg/l y en la salida con Cloro de 65 mg/l; estos resultados nos indican que no cumple con la NOM.

El resultado del análisis de detección de bacterias coliformes fecales en las muestras se observa que en la entrada el número de coliformes fecales

es >1100, en la muestra sin Cloro 150 y en la muestra con Cloro 290, el límite máximo permisible es 1000 por lo que las dos últimas muestras se encuentran dentro de los límites permisibles de la Norma Oficial Mexicana, nos indica que la presencia de estos patógenos no causaran daño a la salud humana, por lo que sí cumple con la NOM.

Cuando el agua residual llega a la planta de tratamiento trae nitrógeno, al pasar a través de un proceso biológico, los microorganismos lo utilizan como fuente. Los resultados de los análisis del Nitrógeno Total, en la entrada con 56 ppm, en la salida sin Cloro 14.56 ppm y en la salida con Cloro 16.8 ppm, estos resultados no son comparados con la NOM-ECOL-003-1997.

Aunque no aplica en las normas mexicanas el resultado de los análisis de Demanda Química de Oxígeno es de gran importancia conocerla para saber la cantidad de oxígeno para oxidar la materia orgánica. Los resultados de los análisis en la entrada con 1050 mg/l, en la salida sin y con Cloro es 1040 mg/l estos resultados no son comparados con la NOM-ECOL-003-1997. En los análisis muestran mayor cantidad de oxígeno que requiere en la entrada, en la salida sin Cloro y con Cloro necesitan la misma cantidad de oxígeno, para la oxidar la materia orgánica y la inorgánica.

Los datos de los análisis de coliformes del agua de la salida, comparados con la NOM-003-ECOL-1997 sí cumple, en los SS no cumplen con la norma por lo que su uso podría causar taponamiento en el sistema de riego y en el suelo se estaría aportando materia orgánica.

Se recomienda hacer un monitoreo frecuente de la calidad del agua residual para riego, esto sería con el fin de detectar si la calidad varía de modo que si se utilizan en cultivos, en todo momento se conozcan las necesidades, excesos y se opere en consecuencia. Al aplicar los volúmenes de agua residuales urbanas, se aportan con ellos sales y productos que pueden llegar hacer tóxicos si aparece en exceso. En circunstancias los rendimientos de los cultivos pueden verse seriamente afectados y lo que procede es conocer la calidad del agua y controlar muy bien el agua que se vierte, para que se obtengan los máximos rendimientos.

## VI.-BIBLIOGRAFIA

- Bolivar D, 2009. Manual de Prácticas de Aguas residuales, Departamento de Riego y Drenaje .Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. .
- Carabias, J. y R. Landa. 2005. Agua, Medio Ambiente y Sociedad, Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México, UNAM, COLMEX, FGRA, pag 33.
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York .2007. Manual de tratamiento de aguas. Editorial Limusa, S.A de C.V. Grupo Noriega Editores. México D.F, pág 183-185.
- Jacobo, V. M. y Elsa Saborío Fernández, 2004. La Gestión del Agua en México: Los Retos para el desarrollo Sustentable. Primera Edición. Editorial Miguel Ángel Porrúa. México, D.F. pág 91-258.
- Jiménez, B. 2008. Calidad de Agua Residual de la Colonia Eulalio Gutiérrez .Treviño, Saltillo, Coahuila. Tesis de Licenciatura UAAAN.pg. 18.
- Metcalf y Eddy. 1996. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertidos y reutilización. Tomo 1. Editorial Mc Graw-Hill / Interamericana. Editores, S.A. de C.V. México.
- Comisión Nacional del Agua, 2005. Normas Oficiales Mexicanas. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Primera Edición
- Ramírez, R. 2008. Determinación de la Calidad del Agua Residual de la Residencia Estudiantil de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura UAAAN.pg.37.
- Seoanez, C. M. 1999a. Aguas Residuales Urbanas. Tratamientos Naturales de bajo costo y aprovechamiento. Colección Ingeniería Medioambiental. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. Pág. 325

Seoanez, C. M. 1999b. Aguas Residuales: Tratamiento por humedales artificiales. Colección Ingeniería del medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. España.

Seoanez C.M. 2005. Depuración de las aguas residuales por Tecnologías Ecológicas y de bajo costo. Colección Ingeniería del medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. España.

**Páginas web Consultadas:**

Moscoso J. Octubre 1995. Aspectos técnicos de la Agricultura con Aguas residuales. Centro Panamericano de ingeniería sanitaria (CEPIS). Programa de reuso de aguas residuales. Lima  
<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=aguas+residuales+utilizados+en+la+agricultura&btnG=Buscar&meta=&aq=f&oq=>

CNA. Agua en el mundo. Editor Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera Edición .México 2008  
<http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=Documentos%20relacionados%20con:%20Agua%20en%20el%20Mundo|Documentos%20relacionados%20con:%20Agua%20en%20el%20Mundo|0|0|281|0|0>

CNA, 2008. Situación de los recursos hídricos. Editor Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera Edición .Mexico 2008.  
[http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/GoogleBP.aspx?cx=005034753689622933206%3Aj2ysx\\_s4ipy&cof=FORID%3A9&ie=UTF-q=disponibilidad+m+edia+percapita&siteurl=www.conagua.gob.mx%2FBuscador.htm#1035](http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/GoogleBP.aspx?cx=005034753689622933206%3Aj2ysx_s4ipy&cof=FORID%3A9&ie=UTF-q=disponibilidad+m+edia+percapita&siteurl=www.conagua.gob.mx%2FBuscador.htm#1035)

CNA, Usos del Agua. Editor Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera Edición .Mexico 2008  
<http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=35fc066b-084c-45a4-975c-ae6f9c2660b1|%20%20%20%20%20%20%20%20ACERCA%20DEL%20AGUA|2|0|0|0|0>

NOM-127-SSA1-1994 Disponible en:

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>