

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**CALIDAD AGRÍCOLA DEL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DULCES NOMBRES,
PESQUERIA, N.L.**

POR:

GILBERTO GARCÍA ALBARRÁN

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER TÍTULO

DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

CALIDAD AGRÍCOLA DEL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DULCES NOMBRES, PESQUERIA, N.L.

POR:

GILBERTO GARCÍA ALBARRÁN

QUE SOMETE AL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

Universidad Autónoma Agraria

"ANTONIO NARRO"

Manuela Bolívar Duarte
Dra. Manuela Bolívar Duarte

Asesor principal

Rolando Sandino Salazar
Ing. Rolando Sandino Salazar.

Asesor

DEPTO.

RIEGO Y DRENAJE

Luis Samaniego Moreno
Dr. Luis Samaniego Moreno.

Asesor

Luis Samaniego Moreno
Dr. Luis Samaniego Moreno.

Coordinador de la División de Ingeniería.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre del 2015.

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar quiero agradecer a **Dios** por darme la oportunidad de cerrar otra etapa en mi vida y de mis más grandes sueños.

A mi **Alma Mater** la gloriosa Antonio Narro por brindarme la oportunidad de formar parte de su grandiosa historia y hacerme sentir orgulloso de formarme profesionalmente en sus aulas.

Al **Departamento de Riego y Drenaje y todos sus catedráticos**, por abrir sus puertas para formarme como ingeniero Agrónomo en Irrigación y ser parte de su historia. Mil gracias a todos ustedes, que ponen como el mejor departamento de la UAAAN a Riego y Drenaje. Sinceramente estoy orgulloso de ser egresado de Irrigación, pero no de cualquiera, soy egresado del Departamento de Riego y Drenaje, de la UAAAN de Buenavista, Saltillo, Coahuila.

A la **Dra. Manuela Bolívar Duarte** por todo su apoyo y disponibilidad para la realización de mi trabajo de tesis, gracias por su confianza.

Al **Ing. Rolando Sandino S.** y al **Dr. Luis Samaniego M.** por su apoyo y asesoría para realizar este trabajo.

“¿Quién soy? Soy las manos de mis Abuelos,

soy las lágrimas y alegrías de mi Madre,

la fuerza de mi padre,

las bromas de mis hermanos y

la disciplina de mis maestros...”

Anónimo

DEDICATORIAS:

A Mi Esposa:

Ing. Alicia Gema Buendia Figueroa, Gracias por ser el motivo para continuar trabajando y superándome, gracias por estar allí cuando te necesito, eres mi razón de ser y por quien trabajo y lucho. Te amo, con todo mi corazón.

A mis padres:

Sra. Sofía Albarran de García. A ti madre te doy gracias y te dedico este trabajo por haberme traído al mundo, tú eres la mayor razón de lo que soy, gracias madre por tu apoyo incondicional, por tus desvelos, regaños, sonrisas, por tu sacrificio y tantas razones más te amo mamá.

Sr. Profesor Bonifacio Bernabé García Bracamontes a ti padre mil gracias por tus sacrificios, tus consejos que me ayudan día con día, porque sé que mis sueños son tus sueños, y mis triunfos son tuyos, estoy orgulloso de tener al mejor padre del mundo.

A mis hermanos Adriana, Carolina y Gustavo, por ser el motor para que yo siga adelante gracias por tanto cariño, por los días de risas y su apoyo, simplemente los adoro.

A mis sobrinos **Mya Sofía y Mauricio** que son el motivo de alegría en esos días tristes.

A mi cuñado **Mauricio Jiménez** gracias por todo su apoyo y su confianza hacia a mí.

A mis suegros **Sr. René Buendía** y la **Sra. Emma Gabriela Figueroa**, por permitirme ser parte de la familia, y sobre todo por darme el mejor regalo del mundo a mi querida esposa.

A las familias **García Bracamontes y Albarrán Catalán**, a mis abuelos y abuelas, a mis tíos y tías, son parte importante en mi vida a ustedes este trabajo porque creyeron en mí, y aquí está el resultado de todo, mil gracias y me siento orgulloso de ser descendiente de dos grandes familias.

A la **Dra. Manuela Bolívar Duarte y su familia** le dedico este trabajo, gracias por abrirme las puertas de su casa, por compartir conmigo sus experiencias, por dejarme formar parte de su familia, a usted con respeto Dra. Manuelita Gracias por todo.

A mis **compañeros de carrera** a todos y cada uno de ellos mil gracias por todo.

A la **Q.F.B Ana Paola Moreno Garza** gracias por apoyarme en el laboratorio.

A mis amigos El **M.C. Marcos Manuel Quintero González, Ing. Saidiel Aquino Reyes, Ing. Jesús Alonso Cortez Villa y al Ing. Joel Cerón Rodríguez (QEPD)** a donde quiera que te encuentres un abrazo.

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Tipos de Industrias y los Principales Contaminantes que Produce.....	7
Composición Típica del Agua Residual Domestica.....	10
Escalas de Clasificación de la Calidad del Agua.....	12
Parámetros a Evaluar en el Agua.....	20
Agua Residual de Entrada (Influyente).....	21
Agua Residual de Salida (Efluente).....	22
Comparación entre los Parámetros Físico – Químico – Biológica entre el Influyente y Efluente.....	23
Análisis Físico – Químico y Microbiológico del Agua de Salida a la PTAR.....	24
Aniones.....	32
Cationes.....	32
Calidad Agrícola del Agua.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Localización del Sitio de Muestreo.....	
18	
Comparación de Sólidos Suspendidos Totales.....	
25	
Comparación de Sólidos Suspendidos Volátiles.....	
26	
Comparación de Sólidos Fijos.....	
26	
Comparación de Sólidos Totales.....	
27	
Comparación de Totales Volátiles.....	
27	
Comparación de Totales Fijos.....	
28	
Comparación de Disueltos Totales.....	
28	
Comparación de Sólidos Sedimentables.....	29
Comparación de Oxígeno Disuelto.....	
29	
Comparación de Coliformes Totales.....	
30	
Comparación de Coliformes Fecales.....	
30	

Comparación de Demanda Química de Oxígeno.....	31
Comparación de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	31

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CUADRO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Disponibilidad del Agua.....	2
2.2. Situación del Agua en México	2
2.3. Usos del Agua.....	3
2.3.1. Distribución de los Usos en el Territorio Nacional	3
2.3.2. Grado de Presión Sobre el Recurso	5
2.3.3. Agua Virtual en México.....	5

2.4. Contaminación del Agua	5
2.5. Definición de Agua Residual.....	5
2.6. Fuentes de Aguas Residuales.....	6
2.6.1. Fuentes Naturales.....	6
2.6.2. Fuentes de Origen Humano	6
2.7. Clasificación de las Aguas Residuales	8
2.7.1. Aguas Domésticas o Urbanas.....	8
2.7.2. Aguas Residuales Industriales.....	8
2.7.3. Aguas de Usos Agrícolas.....	8
2.7.4. Aguas Pluviales.....	9
2.8. Composición de las Aguas Residuales.....	9
2.9. Evaluación de la Calidad del Agua.....	9
2.10. Parámetros de la Calidad del Agua.....	13
2.10.1. Indicadores Físicos.....	14
2.10.2. Indicadores Químicos.....	15
2.10.3. Indicadores Biológicos	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Lugar y Fecha de Establecimiento	18
3.2. Selección del Sitio de Muestreo.....	18
3.3. Material, equipo y reactivos	19
3.3.1. Materiales	19
3.3.2. Equipo	19
3.3.3. Reactivos.....	19
3.4. Parámetros a evaluar en el agua.....	19
3.5. Proceso del muestreo	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1. Calidad Agronómica límite1 permisible.....	33
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
VI. LITERATURA CITADA.....	36

RESUMEN

El agua es un elemento imprescindible para todo ser vivo, como parte de su composición, su ecosistema.

Con el crecimiento de la población humana en el planeta, y la necesidad de agua, tanto para uso doméstico, agrícola o industrial, se requieren grandes cantidades de este vital líquido, por ende se contamina más, el hombre por necesidad busca la forma de reutilizar el agua contaminada, tratando de eliminar todo contaminante de la misma, mediante procesos físicos, químicos y biológicos.

Nuestro trabajo se realizó, por la necesidad de saber si el agua tratada de la Planta Tratadora de Agua Residual (PTAR) Dulces Nombres, ubicada en Pesquería, Nuevo León, es apta para el consumo agrícola. Se realizaron muestras en el influente y efluente de la ya mencionada PTAR, para analizarlos en el laboratorio de calidad de aguas del Depto. De Riego y Drenaje de la UAAAN, para determinar la calidad del agua tratada, comparando los resultados con las NOM – 001 – SEMARNAT – 1996 y la NOM – 003 – SEMARNAT – 1997, teniendo resultados, que el agua tratada pasa las dos normas antes mencionadas, así como su calidad agronómica de la misma, haciendo estudios de salinidad, teniendo como resultados un agua C3S1.

Palabras claves: PTAR, Agua Tratada, Agua Residual, Calidad Agronómica

Correo electrónico; Gilberto garcia albarran, ing.garcia_albarran@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El agua ha sido, desde la creación del mundo, un elemento imprescindible para todos los seres vivos, necesaria para su mantenimiento, para formar parte de su composición o como medio ambiente de múltiples especies. Para los humanos, las necesidades de agua y energía han ido siempre en orden creciente, a medida que se ha desarrollado la civilización y crecido la población en casi todas las aéreas habitadas de la superficie terrestre. Al mismo tiempo, desde el inicio de las actividades humanas, el desarrollo ha obstaculizado cada vez más el uso del agua limpia causando contaminación con residuos. Como consecuencia de todo esto, el ingenio humano ha ideado, a lo largo de la historia, diferentes sistemas de aprovechamiento y tratamiento de las aguas y estudiado tanto en su aspecto de calidad bajo el punto de vista de su uso en alimentación y en aplicaciones agrícolas, (Seoanez 1999).

Para contrarrestar el problema de contaminación de este vital liquido, el hombre está utilizando plantas tratadoras de aguas residuales (PTAR), las cuales tienen el objetivo de reducir los contaminantes y este líquido se reutilice en actividades de campo, industria y reincorporarla al medio ambiente.

La responsabilidad de mantener el agua limpia, cuidarla, no desperdiciarla y reutilizar el agua residual, es tanto de los gobiernos como de todos los ciudadanos, ya que si no lo hacemos, en un futuro sufriremos la escasez de este vital líquido.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es el siguiente:

1.1. Objetivo

- Determinar la calidad de agua de la PTAR, Dulces nombres para descarga a los cuerpos de aguas nacionales.
- Determinar la calidad del agua de la PTAR, Dulces Nombres para reuso agrícola.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Disponibilidad del Agua

Según la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2014) reporta que poco más del 97 por ciento del volumen de agua en el planeta es salada y se encuentra en océanos y mares; mientras que el 3 por ciento restante es agua dulce o de baja salinidad. Del volumen total de esta última, se estima en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, del cual alrededor del 2 por ciento está contenido en los casquetes polares, glaciares, nieves eternas y en el subsuelo a grandes profundidades, que se aprovecha en pequeñas partes debido a limitaciones económicas y físicas. Y solo el 1 por ciento restante, es agua disponible para el consumo humano. Gran parte del agua dulce aprovechable transita y almacena en los primeros 1000 metros 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.

2.2. Situación del Agua en México

El agua en México está mal distribuida, mientras que en unas partes existe sequía en otras llueve demasiado, aunado a esto el desperdicio que se presenta en el campo, quizá por la eficiencia en los sistemas de riego, la falta de tratamiento del agua residual y el aumento de la población. Si se continua así con la baja eficiencia de los sistemas de riego, la contaminación y sobreexplotación de los cuerpos superficiales, en 25 años México padecerá la falta del agua en varias ciudades; verá frenado su desarrollo; sufrirá el colapso de ecosistemas y registrará problemas de salud pública. De una precipitación de 722 mm por año equivalente a 1549 kilómetros cúbicos, el Sureste recibe la mayor parte. La paradoja es que en la zona

Centro y Noreste del país, es en la que se localiza el 84 por ciento de la población y cuenta sólo con el 28 por ciento del agua (Millán, 2002).

2.3. Usos del Agua

La CNA, (2014) reporta datos sobre el uso del agua

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.

2.3.1. Distribución de los Usos en el Territorio Nacional

El volumen concesionado puede analizarse regionalmente. Las regiones hidrológico-administrativas con mayor volumen concesionado son (VIII) Lerma-Santiago-Pacífico, (IV) Balsas, (III) Pacífico Norte y (VI) Bravo. Por entidades federativas, las que presentan mayor volumen concesionado son Sinaloa y Sonora, debido a sus extensiones agrícolas bajo riego.

2.3.1.1. Uso Agrícola

El mayor uso es el agrícola, con el 80 por ciento del volumen concesionado para uso consuntivo. La superficie sembrada varía entre 21.8 y 22.1 millones de hectáreas anualmente. La población ocupada en estas actividades fue de 7.0 millones de personas al cuarto trimestre del 2012 Conforme a la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), reportado por CNA, (2014). La superficie bajo riego representa 6.50 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). Cabe destacar que al

año 2007 el rendimiento de la agricultura de riego fue de $27.3 \text{ ton} \cdot \text{Ha}^{-1}$, superior al de $7.8 \text{ ton} \cdot \text{Ha}^{-1}$ correspondiente a la agricultura de temporal.

2.3.1.2. Uso para Abastecimiento Público

Incluye la totalidad del agua entregada a través de redes de agua potable, tanto a usuarios domésticos como a industrias y servicios conectados a dichas redes. El tipo de fuente predominante es la subterránea, con el 60.7 por ciento del volumen. En el periodo 2001-2013, el agua concesionada para este uso creció 42.2% por ciento.

2.3.1.3. 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. Este uso presenta una dinámica de crecimiento en volumen concesionado para el periodo 2001-2013.

2.3.1.4. Uso en Termoeléctricas

En 2012 las termoeléctricas (centrales de vapor, duales, carboeléctricas, ciclo combinado, turbogas y combustión interna) generaron 229.2 TWh, lo que representó el 88% de la energía eléctrica producida en el país Cabe aclarar que el 77.2% del agua concesionada a este uso corresponde a la planta carboeléctrica de Petacalco, ubicada en las costas de Guerrero, cerca de la desembocadura del río Balsas.

2.3.1.5. Uso en Hidroeléctricas

En el 2012 las plantas hidroeléctricas emplearon un volumen de agua de 155.7 mil millones de metros cúbicos, lo que permitió generar 31.3 TWh de energía eléctrica, que corresponde al 12% de la generación del país.

2.3.2. Grado de Presión Sobre el Recurso

Se calcula como el porcentaje de agua para uso consuntivo respecto a la disponibilidad total. Si es mayor a 40 por ciento, se considera que se ejerce una fuerte presión sobre el recurso. A nivel nacional, el valor es de 17 por ciento o moderado. Regionalmente, las zonas centro, norte y noroeste del país tienen fuerte presión sobre el recurso.

2.3.3. Agua Virtual en México

Cantidad total de líquido que se utiliza o integra a un producto. Por ejemplo, para producir un kilogramo de trigo en México, se requieren en promedio 1 000 litros de agua; un kilo de carne de res requiere 13 500 litros. Bajo este marco, los intercambios comerciales representaron exportaciones por 6 961 millones de metros cúbicos e importaciones por 34 601 al 2008. La importación neta está relacionada con cereales, semillas y frutos (52 por ciento) y productos animales (29 por ciento).

2.4. Contaminación del Agua

Para Carabias (2005) la contaminación de los cuerpos de agua es producto de las descargas de aguas residuales sin previo 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 presentan algún índice de contaminación CNA, (2003).

2.5. Definición de Agua Residual

Son aguas de composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarias, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas según la Norma Oficial Mexicana (NOM – 001

SEMARNAT – 1996) como se indica en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 1996). Para Metcalf y Eddy (1996) la define como la combinación de los residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

2.6. Fuentes de Aguas Residuales

Las fuentes de agua residual, mencionadas por la página de internet,

<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120ProcC.htm>

2.6.1. Fuentes Naturales

Algunas fuentes de contaminación del agua son naturales. Por ejemplo, el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza de la Tierra y en los océanos, contamina la biósfera mucho más que el procedente de la actividad humana. Algo similar pasa con los hidrocarburos y con muchos otros productos. Estas fuentes de contaminación son dispersas y no provocan concentraciones altas de contaminación.

2.6.2. Fuentes de Origen Humano

Hay cuatro focos principales de contaminación antropogénica.

2.6.2.1. Industria

Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos, como se muestra en el Cuadro 2.1. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos.

Cuadro 2.1. Tipos de industrias y los principales contaminantes que produce.

<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120ProcC.htm>

Sector industrial	Substancias contaminantes principales
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

2.6.2.2. Vertidos urbanos

La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos; pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.), sales, ácidos, etc.

2.6.2.3. Navegación

Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, accidentales o no, provocan importantes daños en la ecología marina.

2.6.2.4 Agricultura y ganadería

Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan las aguas de una forma difusa pero muy notable. Se llama, vertidos directos a los que no se hacen a través de redes urbanas de saneamiento y por tanto son más difíciles de controlar y depurar.

2.7. Clasificación de las Aguas Residuales

Las aguas residuales pueden englobarse dentro de cuatro clases según Reynolds (2002).

2.7.1. Aguas Domésticas o Urbanas

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

2.7.2. Aguas Residuales Industriales

Son las aguas desechables de los procesos industriales, las que pueden disponerse en forma aislada pueden agregarse a la doméstica.

2.7.3. 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.

2.7.4. Aguas Pluviales

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

2.8. 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 2.2. Se presentan datos típicos sobre la composición de las aguas residuales. En función de las concentraciones de estos constituyentes, podemos clasificar el agua residual de acuerdo a sus concentraciones: débil, medio o fuerte. Tanto los 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 según Metcalf y Eddy (1996).

2.9. Evaluación de la Calidad del Agua

Actualmente se utilizan tres parámetros indicadores para evaluarla calidad del agua: 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 y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal, como se observa en el Cuadro 2.3. Publicado por la CNA (2008).

Cuadro 2.2. Composición típica del agua residual domestica (Metcalf y Eddy, 1996).

CONTAMINANTES	UNIDADES	CONCENTRACIÓN		
		DÉBIL	MEDIA	FUERTE
Sólidos totales (ST)	Mg/l	350	720	1200
Sólidos Disueltos totales (SDT)	Mg/l	250	500	850
Fijos	Mg/l	145	300	525
Volátiles	Mg/l	105	200	325
Sólidos en Suspensión (SS)	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 ₅ 20°C)	Mg/l	110	220	400
Carbono Orgánico Total (COT)	Mg/l	80	160	290
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Mg/l	250	500	100
Nitrógeno	Mg/l	20	40	85
Orgánico	Mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	Mg/l	12	25	50
Nitritos	Mg/l	0	0	0
Nitratos	Mg/l	0	0	0
Fósforo	Mg/l	4	8	15
Orgánico	Mg/l	1	3	5
Inorgánico	Mg/l	3	5	10
Cloruros ¹	Mg/l	30	50	100
Sulfatos ¹	Mg/l	20	30	50
Alcalinidad	Mg/l	50	100	200
Grasas	Mg/l	50	100	150
Coliformes Totales ²	n°/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos Orgánicos Volátiles	Mg/l	<100	100 - 400	>400

¹Los valores se deben de aumentar en las cantidades que estos compuestos se hallen presentes en las aguas de suministro. ²Se debe consultar en tabla.

La primera indica la cantidad de materia orgánica biodegradable y la segunda indica la cantidad de materia orgánica total. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos. Por otra parte, el aumento de la DQO indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales.

Los SST se originan en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de este parámetro hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa.

Cuadro 2.3. Escalas de clasificación de la calidad del agua (CNA, 2008)

Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅		
Criterio mg/l	Clasificación	color
DBO ₅ ≤ 3	Excelente No contaminada.	Azul
3 < DBO ₅ ≤ 6	Buena Calidad Aguas superficiales con Bajo contenido de materia orgánica biodegradable.	Verde
6 < DBO ₅ ≤ 30	Aceptable con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	Amarillo
30 < DBO ₅ ≤ 120	Contaminada Aguas superficiales con descarga de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	Naranja
DBO ₅ > 120	Fuertemente contaminada Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	Rojo
Demanda Química de Oxígeno DQO		
DQO ≤ 10	Excelente No contaminada.	Azul
10 < DQO ≤ 20	Buena Calidad Aguas superiores con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.	Verde
20 < DQO ≤ 40	Aceptable con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descarga de aguas residuales tratadas biológicamente.	Amarilla
40 < DQO ≤ 200	Contaminada aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	Naranja
DQO > 200	Fuertemente contaminada Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	Rojo
Sólidos Suspendidos Totales (SST)		
SST < 25	Excelente clase de excepción, muy buena calidad.	Azul
25 < SST ≤ 75	Buena calidad aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.	Verde
75 < SST ≤ 150	Aceptable aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces, riego agrícola restringido.	Amarillo
150 < SST ≤ 400	Contaminada aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de materia suspendida.	Naranja
SST > 400	Fuertemente contaminada aguas superficiales con fuerte impacto de descarga de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.	Rojo.

2.10. Parámetros de la Calidad del Agua

Para Seoanez (1999) la calidad de agua se define en función al uso o actividad a que se dedica, por ello no podemos hablar de “buena” o “mala” calidad en abstracto, sino que cada actividad exige una calidad adecuada.

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

2.10.1. Indicadores Físicos

2.10.1.1. Color

El color azul que presentan los grandes volúmenes de agua pura se puede ver afectado por la presencia de determinadas sustancias en dilución, fruto del vertido de desechos industriales. Para determinar el color de un agua, se emplea el método del platino cobalto en el laboratorio o bien se emplean los discos coloreados (Seoanez, 1999).

2.10.1.2 Turbidez

El mismo autor considera que la turbidez de un agua es ocasionada por la presencia de partículas sólidas en suspensión o coloidales, con un diámetro muy pequeño que impiden que la luz se transmita tal y como lo haría a través del agua pura. Un método para determinar la turbidez es la aplicación del efecto Tyndall.

2.10.1.3 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para concluir la corriente eléctrica según Crites y Tchobanoglous (2000).

2.10.1.4 Temperatura

Para los autores anteriores la temperatura de agua es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos.

2.10.2. Indicadores Químicos

2.10.2.1. pH

El pH es un parámetro que nos indica la concentración de protones (iones hidrogeno H^+) presentes en una disolución acuosa. Para Crites y Tchobanoglous (2000). El pH es la expresión usual para medir la concentración del ion hidrógeno en una solución.

2.10.2.2. Dureza

Según el Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (2007) el agua es un solvente universal disuelto en cantidades variables de las diversas sustancias minerales. Esto no afecta la calidad sanitaria del agua, sino que es importante en su uso doméstico, especialmente cuando se usa para lavado o en calderas. La dureza mide la capacidad del agua para consumir jabón. Las aguas duras son usualmente menos corrosivas.

Seoanez (1999) reporta que la dureza o grado hidrotimétrico de un agua corresponde a la suma de las concentraciones de cationes metálicos. En la mayoría de los casos la dureza se debe principalmente a los iones Calcio y Magnesio.

En el agua se puede determinar distintos tipos de dureza:

- Dureza total
- Dureza cálcica
- Dureza magnésica
- Dureza carbonatada o temporal
- Dureza permanente o no carbonatada

2.10.2.3. Alcalinidad

El Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (2007) menciona que la alcalinidad es una medida de los constituyentes básicos (alcalinos) del agua. En las aguas naturales la alcalinidad se presenta usualmente en carbonatos y bicarbonatos de Calcio y Magnesio, Sodio y Potasio. La alcalinidad es muy importante en relación con los procesos de coagulación y correctivos del poder corrosivo del agua.

La alcalinidad puede existir como hidróxido, carbonado y bicarbonato.

2.10.3. Indicadores Biológicos

El autor anterior reporta que el propósito del análisis bacteriológico del agua es indicar si contaminación con aguas negras, en el momento del muestreo y por ende la posibilidad de que pueda transmitir enfermedades.

El mismo autor menciona que las bacterias son pequeños organismos unicelulares que pertenecen al reino vegetal y las hay de muchos tipos y clases. Existen dos clases principalmente, que son: las *saprófitas*, que son inoñas y necesarios para descomponer la materia orgánica muerta y las *parásitas*, cuyo medio natural de desarrollo se encuentra en los cuerpos vivos de hombres y los animales. Los microorganismos patógenos, que producen enfermedades específicas en los seres humanos y en los animales, son parásitos, como lo son muchas bacterias no patógenas (*Escherichia coli*) que habitan en el tracto intestinal de los animales.

Los principales organismos indicadores de contaminación intestinal o de agua negras, son las bacterias de grupo Coliforme. La *Escherichia coli* es quizá el miembro más representativo de este grupo (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 2007).

El mismo autor menciona que el recuento normal en placa se usa para obtener una estimación del número total de bacterias en una muestra, que se

desarrollaran a 35° C en 24 horas y bajo condiciones de alimentación y de humedad que se especifiquen en los procedimientos normales de laboratorio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y Fecha de Establecimiento

El presente trabajo de investigación se realizó en mes de Mayo de 2010, tomando muestras en la entrada del agua residual y en la salida del agua tratada de la PTAR (Planta Tratadora de Aguas Residuales) “Dulces Nombres”, que se encuentra ubicada en el municipio de Pesquería, N.L. cuyas coordenadas son 25° 44' 23.62" N y 100° 04' 04.10" W.

3.2. Selección del Sitio de Muestreo

El primer sitio de muestreo se encuentra en la entrada del agua residual. La toma se realizó antes de que pasaran al clarificador primario y el segundo en la salida del clarificador secundario, como se muestra en la Figura 3.1.



Figura 3.1. Localización del Sitio de Muestreo.

Para la toma de muestra se utilizó un muestreador, se recolectó 4 litros por sitio.

3.3. Material, equipo y reactivos

Se requirió de algunos materiales, así como equipo y reactivos del laboratorio de calidad de Aguas, del Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN.

3.3.1. Materiales

Se utilizó material común de laboratorio, para evaluar nuestras muestras.

3.3.2. Equipo

Para evaluar conductividad y pH se utilizó un equipo Hanna modelo HI 991300

3.3.3. Reactivos

Se utilizaron reactivos de uso común para análisis de calidad de agua y aguas residuales.

3.4. Parámetros a evaluar en el agua

Posteriormente se trajo al Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” para determinar los parámetros físicos: Sólidos Totales, Sólidos Volátiles, Sólidos Disueltos, Sólidos Sedimentarios y Temperatura.

Los parámetros químicos fueron: pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto (OD), DBO y DQO.

Y el parámetro biológico que se determinó fue: Coliformes Totales y Fecales.

En el cuadro 3.1 se muestran los parámetros evaluados, así como las normas correspondientes.

Cuadro 3.1. Parámetros a evaluar en el agua residual.

Parámetros	Referencia
Sólidos totales.	NOM – AA – 34 – 1981
Sólidos volátiles.	NOM – AA – 34 – 1981
Sólidos disueltos.	NOM – AA – 20 – 1980
Sólidos sedimentarios.	NOM – AA – 4 – 1977
pH	NOM – AA – 8 – 1980
Temperatura	NOM – AA – 7 – 1980
Conductividad eléctrica	Manual de operación del medidor C.E Hanna 991300N
Oxígeno disuelto.	NOM – AA – 12 – 1980
Coliformes totales y fecales.	NOM - AA – 42 - 1987
DBO	NOM – AA – 28 – 1981
DQO	NOM – AA – 30 – 1981

3.5. Proceso del muestreo

Se realizaron dos tomas de muestras, una en el influente de la planta tratadora, y la ultima en el efluente, cada muestra se envasó en un recipiente de plástico y se colocó en una hielera, para conservar las muestras frías, se tomaron 4 litros de cada muestra.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis físico – químico - biológico del agua de entrada (influyente) no tratada se muestran en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Agua residual de entrada.

Análisis físico – químico y microbiológico del agua de entrada a la PTAR.	
Parámetros	Laboratorio (calidad de agua)
S.S.T	60 mg*L ⁻¹
S.V	15 mg*L ⁻¹
S.F	30 mg*L ⁻¹
Totales	310 mg*L ⁻¹

T. Volátiles	115 mg*L ⁻¹
T. Fijos	65 mg*L ⁻¹
D. Totales	210 mg*L ⁻¹
Sedimentables	5 mg*L ⁻¹
O. Disuelto	1.5 mg*L ⁻¹
Coliformes T.	920 NMP*L ⁻¹
Coliformes F.	350 NMP*L ⁻¹
DQO	250 mg*L ⁻¹
DBO ₅	103 mg*L ⁻¹

Los resultados físico – químico - biológico del agua del efluente se muestran en el cuadro 4.2.

Cuadro 4.2. Análisis físico – químico y microbiológico del efluente

Parámetros	Laboratorio (calidad de agua)
S.S.T	10 mg*L ⁻¹
S.S.V	2 mg*L ⁻¹
S.F	5 mg*L ⁻¹
Totales	90 mg*L ⁻¹

T. Volátiles	55 mg*L ⁻¹
T. Fijos	15 mg*L ⁻¹
D. Totales	75 mg*L ⁻¹
Sedimentables	0 mg*L ⁻¹
O. Disuelto	0.4 mg*L ⁻¹
Coliformes T.	144 NMP*L ⁻¹
Coliformes F.	22 NMP*L ⁻¹
DQO	20 mg*L ⁻¹
DBO ₅	18 mg*L ⁻¹

De los parámetros analizados entre agua de entrada y de salida se obtuvo la siguiente discusión (Cuadro 4.3.)

Cuadro 4.3. Comparación entre los parámetros Físico – Químico – Biológica entre el influente y efluente

Parámetros	Agua no tratada	Agua Tratada	Porcentaje de Eliminación Después del Tratamiento
S.S.T.	60 mg*L ⁻¹	10 mg*L ⁻¹	83.33
S.S.V	15 mg*L ⁻¹	2 mg*L ⁻¹	86.67
S.F	30 mg*L ⁻¹	5 mg*L ⁻¹	83.33

Totales	310 mg*L ⁻¹	90 mg*L ⁻¹	70.97
T. Volátiles	115 mg*L ⁻¹	55 mg*L ⁻¹	52.17
T. Fijos	65 mg*L ⁻¹	15 mg*L ⁻¹	76.92
D. Totales	210 mg*L ⁻¹	75 mg*L ⁻¹	64.29
Sedimentables	5 mg*L ⁻¹	0 mg*L ⁻¹	100
O. Disuelto	1.5 mg*L ⁻¹	0.4 mg*L ⁻¹	73.33
Coliformes T.	920 NMP*100ml ⁻¹	144 NMP*100ml ⁻¹	84.35
Coliformes F.	350 NMP*100ml ⁻¹	22 NMP*100ml ⁻¹	93.71
DQO	250 mg*L ⁻¹	20 mg*L ⁻¹	92
DBO ₅	103 mg*L ⁻¹	18 mg*L ⁻¹	82.52

De acuerdo al siguiente cuadro podemos decir que el agua tratada aprueba todos los parámetros que se comparan con las dos Normas Oficiales Mexicanas.

Cuadro 4.4

Parámetros	Laboratorio (calidad de agua)	NOM-001-SEMARNAT-1996	NOM-003-SEMARNAT-1997
S.S.T	10 mg*L ⁻¹	150 a 200 mg*L ⁻¹	20 mg*L ⁻¹
S.S.V	2 mg*L ⁻¹	N/A	N/A
S.F	5 mg*L ⁻¹	N/A	N/A

Totales	90 mg*L ⁻¹	N/A	N/A
T. Volátiles	55 mg*L ⁻¹	N/A	N/A
T. Fijos	15 mg*L ⁻¹	N/A	N/A
D. Totales	75 mg*L ⁻¹	N/A	N/A
Sedimentables	0 mg*L ⁻¹	1 a 2 mg*L ⁻¹	N/A
O. Disuelto	0.4 mg*L ⁻¹	N/A	N/A
Coliformes T.	144 NMP*L ⁻¹	N/A	N/A
Coliformes F.	22 NMP*L ⁻¹	N/A	240 NMP*L ⁻¹
DQO	20 mg*L ⁻¹	N/A	N/A
DBO ₅	18 mg*L ⁻¹	150 a 200 mg*L ⁻¹	20 mg*L ⁻¹

Las figura 4.1. A la 4.13., nos muestra los resultados, comparando la muestra del influente y efluente, con los límites permisibles de los parámetros analizados, de acuerdo a las normas **NOM-001-SEMARNAT-1996** y **NOM-003-SEMARNAT-1997**, cabe mencionar que algunos resultados no tienen la comparación con las normas antes mencionadas, porque en dichas normas no aplican (N/A) esos parámetros medidos.

NOM – 001 – SEMARNAT - 1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM – 003 – SEMARNAT – 1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

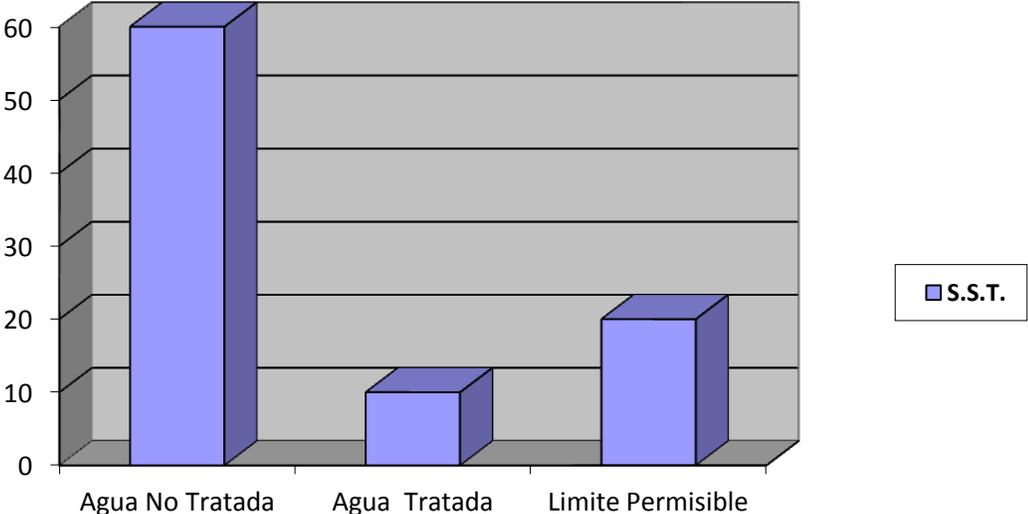


Figura 4.1. Comparación de Sólidos Suspendedos Totales NOM – AA – 34 – 1981, (DOF, 1980)

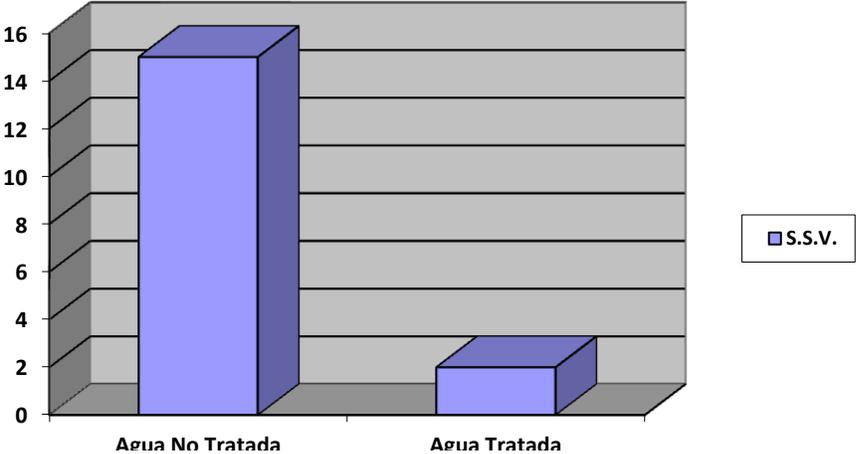
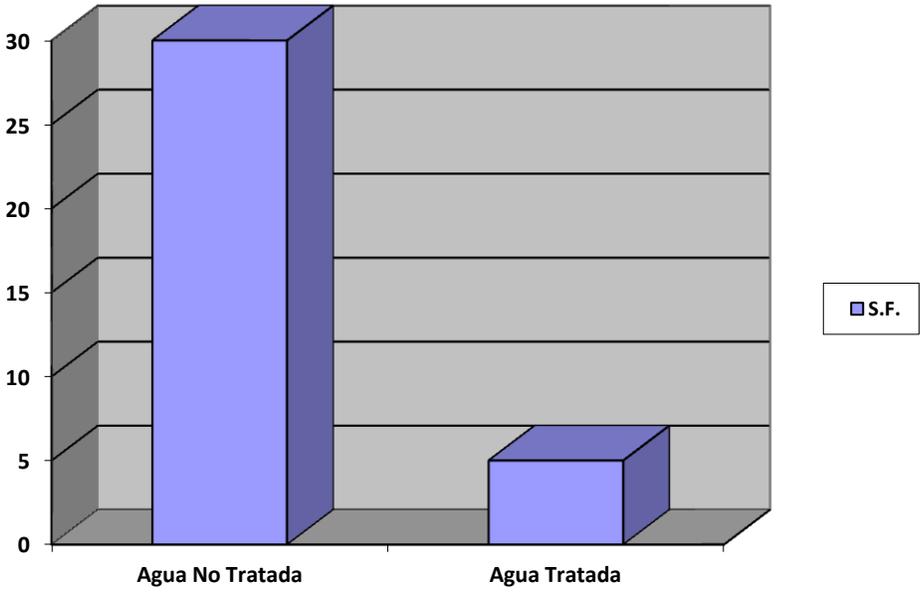


Figura 4.2. Comparación de Sólidos Suspendedos Volátiles NOM – AA – 34 – 1981, (DOF, 1980)

Figura 4.3. Comparación de Sólidos Fijos.
NOM – AA – 20 – 1980 (DOF, 1980)



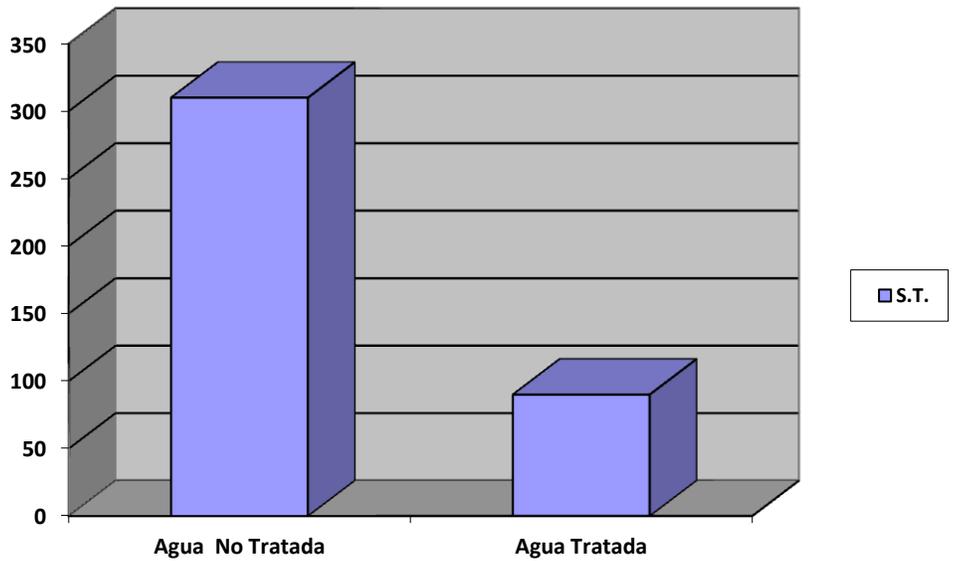


Figura 4.4. Comparación de Sólidos Totales.

NOM – AA – 20 – 1980 (DOF, 1980)

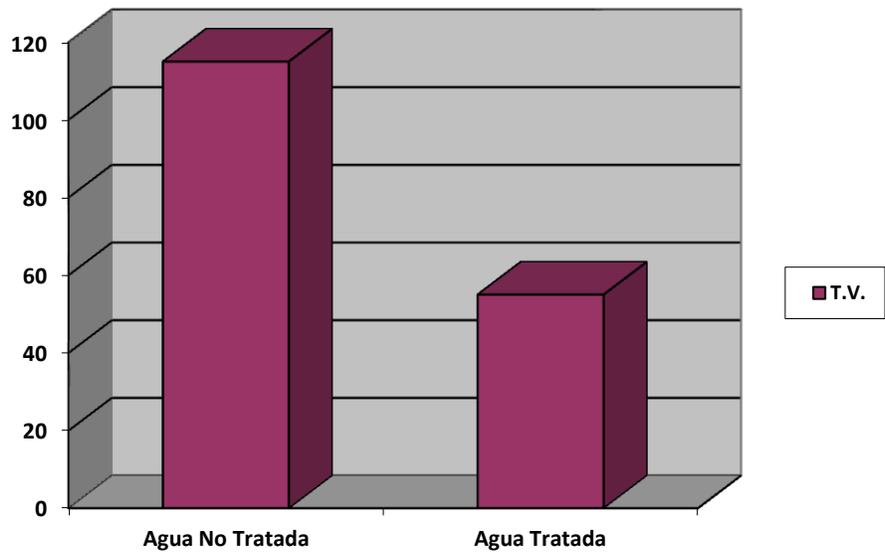


Figura 4.5. Comparación de Totales Volátiles.

NOM – AA – 20 – 1980 (DOF, 1980)

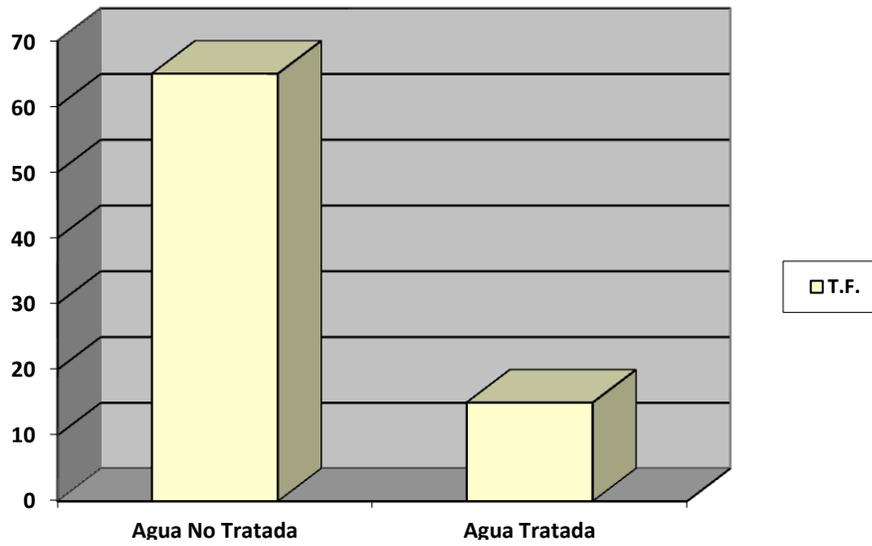


Figura 4.6. Comparación de Totales Fijos.
 NOM – AA – 20 – 1980 (DOF, 1980)

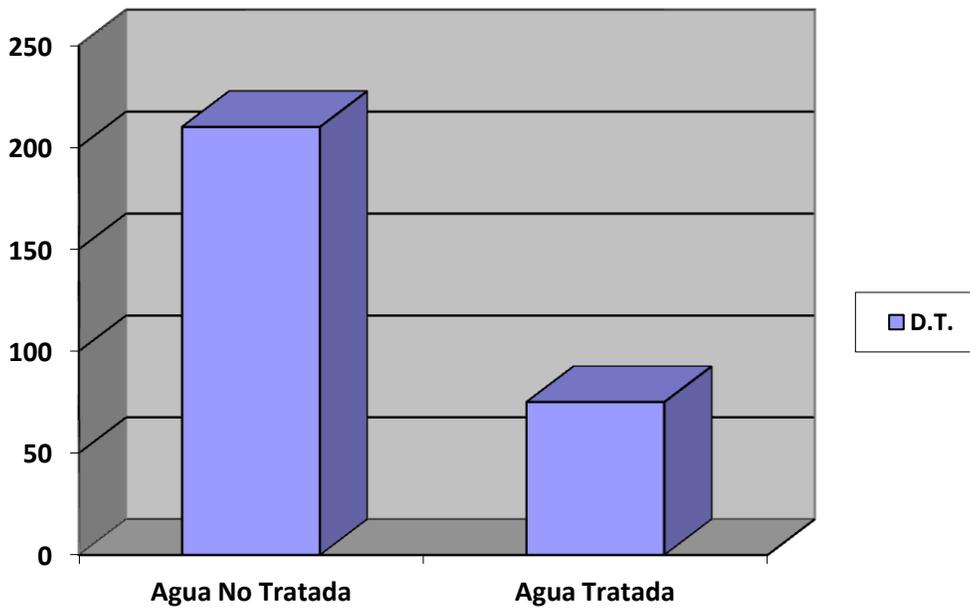


Figura 4.7. Comparación de Disueltos Totales.
 NOM – AA – 20 – 1980 (DOF, 1980)

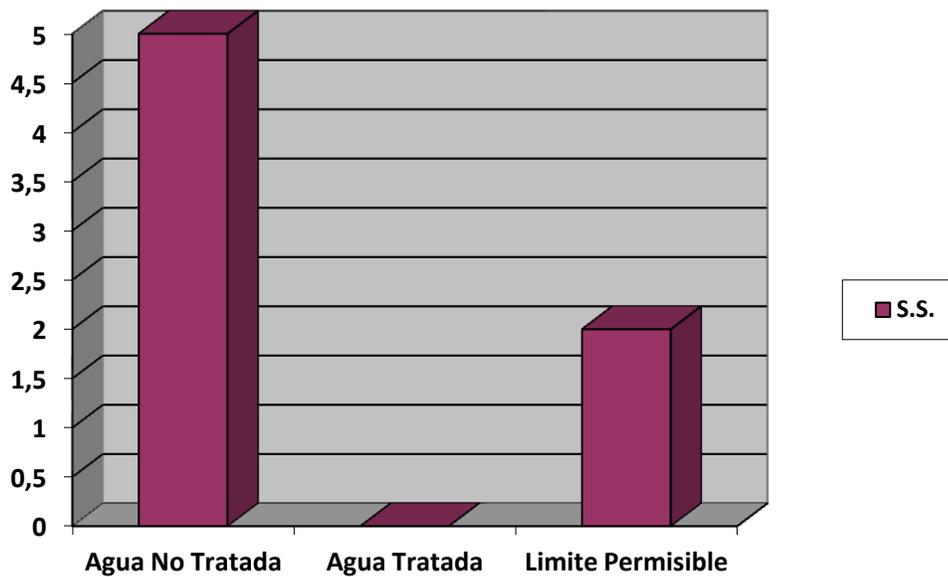


Figura 4.8. Comparación de Sólidos Sedimentables.
 NOM – AA – 4 – 1977 (DOF, 1980)

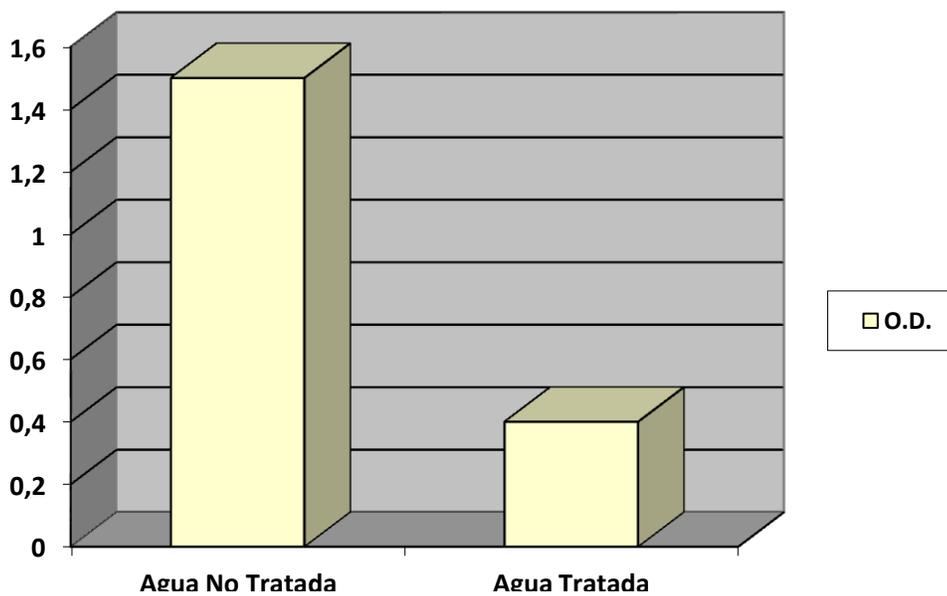


Figura 4.9. Comparación de Oxígeno Disuelto
 NOM – AA – 12 – 1980 (DOF, 1980)

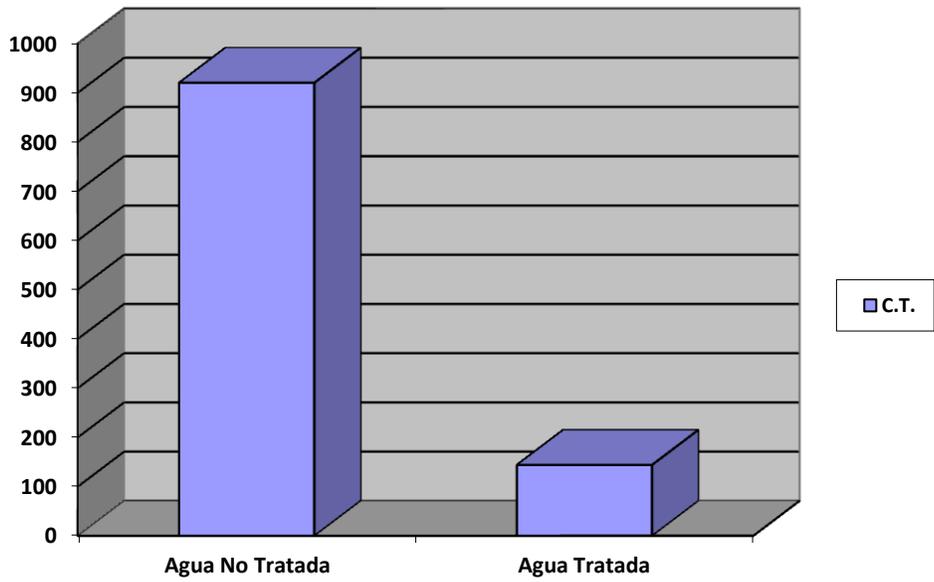


Figura 4.10. Comparación de Coliformes Totales.

NOM - AA - 42 - 1987 (DOF, 1987)

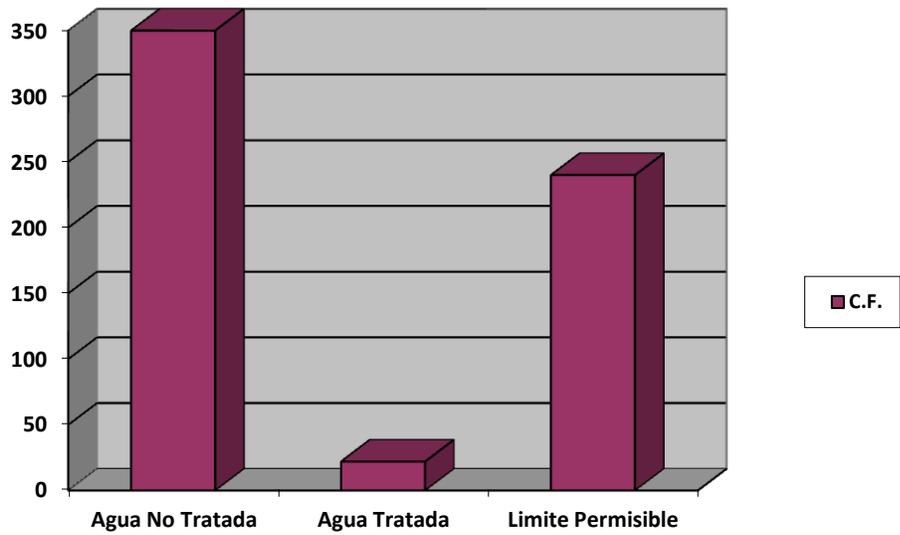


Figura 4.11. Comparación de Coliformes Fecales.

NOM - AA - 42 - 1987 (DOF, 1987)

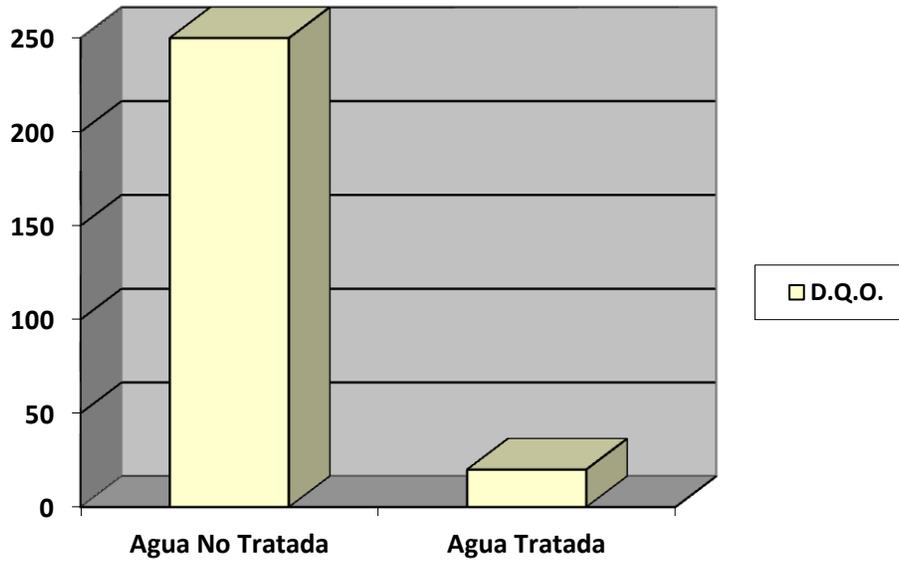


Figura 4.12. Comparación de Demanda Química de Oxígeno.

NOM – AA – 30 – 1981 (DOF, 1980)

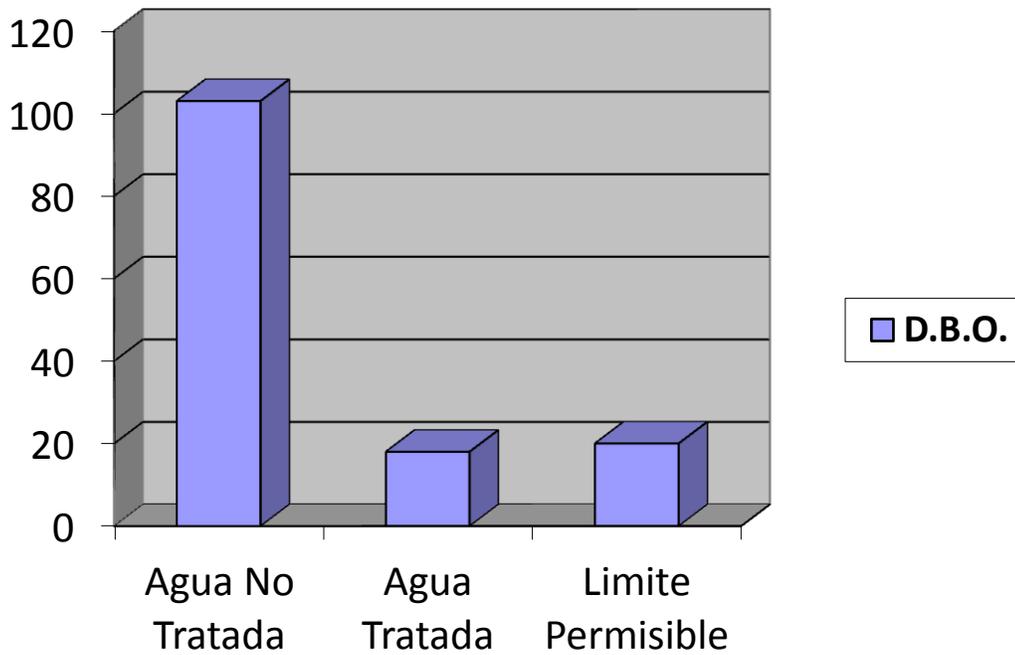


Figura 4.13. Comparación de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

NOM – AA – 28 – 1981 (DOF, 1980)

4.1. Calidad Agronómica límite1| permisible

De la muestra del agua de salida para su uso en la agricultura de acuerdo a Bolívar, D. M. 2009, se complementaron con las siguientes determinaciones (Cuadros 4.5. y 4.6.)

4.5. Aniones

Aniones	meq* Lt ⁻¹
Calcio	2.6
Magnesio	0.5
Sodio	0.9
Potasio	0

4.6. Cationes

Cationes	meq*Lt ⁻¹
Carbonatos	0.4
Bicarbonatos	3.8
Cloruros	3.2
Sulfatos	0.6

En el Cuadro 4.7. Se publican los resultados obtenidos de los parámetros agrícolas medidos.

Cuadro 4.7. Calidad Agrícola del Agua

Parámetro Medido	Resultado
S.E	4.9
S.P	3.5
RAS	0.7229
CSR	1.1
PSP	18.3673 %

Tenemos: Agua C₃S₁ Agua alta en sales y baja en sodio

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis y al compararlos con las Normas antes descritas podemos concluir que el agua de salida (agua ya tratada) cumple todos los rangos de los parámetros físico – químico y microbiológico para la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997

Y al realizar el análisis de calidad agronómica obtenemos

El agua es aceptable para riego, si el drenaje del terreno es bueno, es necesario utilizar sistemas de riego por gravedad o goteo y no utilizar cualquier sistema de riego por aspersión para evitar quemaduras de follaje por el contenido de cloro presente en el agua. También es recomendable realizar análisis previos del suelo donde se pretenda establecer un cultivo para verificar la calidad este. Y establecer cultivos tolerantes a la salinidad debido a que el agua tiene alto contenido de ella.

VI. LITERATURA CITADA

- Bolívar, D. M. 2009. "Apuntes de suelos salinos y sódicos" Depto. De Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Carabias, Julia. 2005. "Agua, Medio Ambiente y Sociedad, Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos de México" UNAM, COLMEX, FGRA.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2003. Estadísticas del agua en México 2002. Secretara del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2008. Estadísticas del agua en México 2006. Secretara del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2010. Estadísticas del agua en México 2008. Secretara del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2014. Estadísticas del agua en México 2013. Secretara del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.
- Crites y Tchobanoglous. 2000. Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para Núcleos Pequeños y Descentralizados, Tomo 1. Editoria McGraw – Hill interamericana, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia. Págs. 46 – 48.
- Departamento de Sanidad de Estado de Nueva York. 2007. Manual de Tratamiento de Aguas. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México D.F.
- Diario Oficial de la Federación. 1980. Norma Oficial Mexicana NOM – AA – 34 – 1981. México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1980. Norma Oficial Mexicana NOM – AA – 20 – 1980. México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1980. Norma Oficial Mexicana NOM – AA – 4 – 1977 México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1980. Norma Oficial Mexicana NOM – AA – 8 – 1980 México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1980. Norma Oficial Mexicana NOM – AA – 7 – 1980 México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1980. Norma Oficial Mexicana NOM – AA – 12 – 1980. México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1980. Norma Oficial NOM - AA – 42 - 1987. México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1980. Norma Oficial NOM – AA – 28 – 1981. México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1980. Norma Oficial NOM – AA – 30 – 1981. México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM – 001 – SEMARNAT – 1996. Límites Máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1998. Norma Oficial Mexicana NOM – 003 – SEMARNAT – 1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. México D.F.

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.

Millán, D. 2002. Agua el desafío. Agua 1:4 Monterrey México.

Reynolds, K. A. 2002. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del problema. Universidad de Arizona, U.S.A.

Seoanez, M. 1999. Aguas Residuales: Tratamiento por Humedales Artificiales. Colección Ingeniería del medio ambiente. Ediciones Mundi- Prensa. España.

Paginas Consultadas:

www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/11CAgu/120ProcC.htm