

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA USO EN
AGROECOSISTEMAS FORRAJEROS, CASO MAÍZ (*Zea mays* L.)**

POR:

RUBISEL VELÁZQUEZ GARCÍA

MONOGRAFÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

FEBRERO DEL 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA USO EN
AGROECOSISTEMAS FORRAJEROS, CASO MAÍZ (*Zea mays* L.)

MONOGRAFÍA QUE PRESENTA:

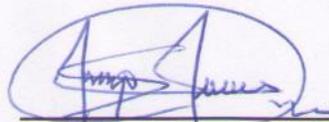
RUBISEL VELÁZQUEZ GARCÍA

ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y
APROBADÁ COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Aprobada por:

Asesor principal:



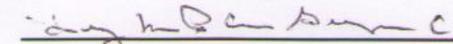
DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO.

Asesor:



DR. ALFREDO OGAZ.

Asesor:



M.C. LUZ MA. PATRICIA GUZMÁN CEDILLO.

Asesor:



M.C. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ.



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

CORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

FEBRERO 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA USO EN
AGROECOSISTEMAS FORRAJEROS, CASO MAÍZ (Zea mays L.)

MONOGRAFÍA QUE PRESENTA:

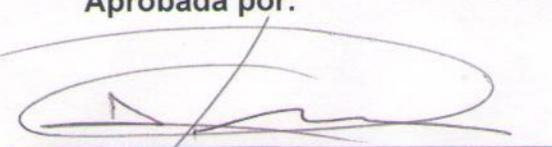
RUBISEL VELÁZQUEZ GARCÍA

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

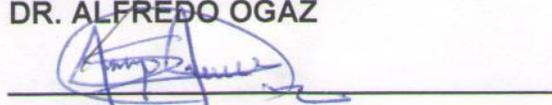
Aprobada por:

Presidente:



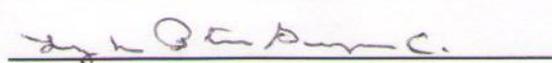
DR. ALFREDO OGAZ

Vocal:



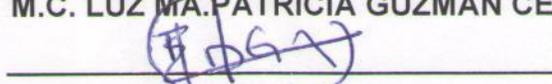
DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO.

Vocal:

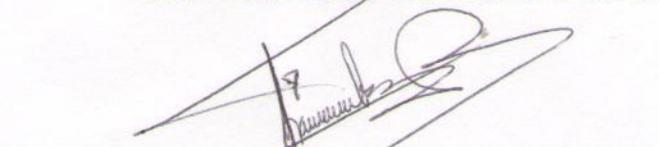


M.C. LUZ MA. PATRICIA GUZMÁN CEDILLO.

Vocal suplente:



M.C. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ.



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

CORDINADOR DE LA DIVICIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

FEBRERO 2013

DEDICATORIA

A DIOS

Por brindarme todas sus bendiciones en cada momento de mi vida, por darme una familia llena de unidad, dicha, amor y felicidad y sobre todo por darme la vida.

A MIS PADRES

Ausel Obdulio Velázquez Díaz (†) y Olga García Pérez.

Con todo mi cariño, respeto y amor por haberme enseñado e inculcado desde los inicios de la vida los buenos principios morales, por todo su amor, cariño y comprensión en todo los momentos de la vida, por confiar en mí y sobre todo por ese gran esfuerzo y sacrificio de encaminarme hacia los caminos del saber, la excelencia y la superación personal.

Por todo eso y más... ¡Gracias padres míos!

A MI HERMANA

Nubia Celi Velázquez García.

Gracias por tu apoyo, por ser en mí una persona ejemplar y de gran valor sentimental, persona que siempre ocupara un lugar especial en mi mente y en mi corazón.

A TODA MI FAMILIA

Gracias por brindarme todo su apoyo durante el trayecto de mi carrera, gracias por todas esas palabras de aliento que junto con un gran sacrificio hicieron posible mi formación como profesionalista ¡Gracias!

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme sus puertas y otorgarme los conocimientos necesarios para mi formación como profesionista, por brindarme grandes amistades y por adquirir en ella grandes y bonitas experiencias.

Al Dr. Jesús Vásquez Arroyo, primeramente por brindarme su amistad y apoyo incondicional, por su paciencia y más aun por su valiosa intervención en la elaboración y revisión de este trabajo.

A todos mis maestros por ese gran esfuerzo de brindarme todos sus conocimientos y por aclarar todas las dudas que en su momento surgieron durante el trayecto de mi carrera.

A todos mis compañeros de generación por darme la oportunidad de conocer en ellos más que un compañero, un amigo, y por compartir con todos y cada uno de ellos grande momentos de tristeza, alegría, amor y felicidad.

A mis amigos Noe Alvarado, Abraham Gonzales, Abraham castillejos, Lucya vera y Madaí López por brindarme su amistad y su apoyo durante el trayecto de mi carrera.

RESUMEN

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos diarios. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. En México, cerca del 77% del agua es utilizada en la agricultura; 14% en abastecimiento público (drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales); 4% en la industria (minería, electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final) y 5% en la energía eléctrica. Tan solo el Distrito Federal, para 1998, generó 2,421 millones de toneladas de sedimentos de sus aguas residuales al año y 3,552 millones de m³ de aguas residuales. Para su tratamiento, se cuenta con métodos físicos, químicos y biológicos. El agroecosistema de maíz es uno de los cultivos más importantes de América, por el área cultivada, el valor de la cosecha y su amplia utilización en la alimentación. La superficie sembrada con maíz en México es alrededor de 8 millones de hectáreas, con una producción total de 23 millones de toneladas. Actualmente en la región lagunera la producción promedio de forraje de maíz por hectárea es de 51 toneladas de forraje fresco y 15 toneladas de forraje seco. En 1997 y 1988 se promulgaron las leyes oficiales mexicanas (NOM) sobre descargas de aguas residuales, las cuales hoy continúan vigentes. El tratamiento biológico de las aguas residuales en un reactor anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente (UASB, por sus siglas en inglés), genera los mejores rendimientos, en comparación con un reactor convencional. El consumo de agua para la producción lechera en México se estima en 2,382 m³ Ton⁻¹, mientras que para la producción de maíz forrajero resultó ser de 1,744 m³ ton⁻¹.

Palabras claves: Reactor Anaerobio de Lecho de Lodos y Flujo Ascendente (UASB), tratamiento anaerobio, reactores de membrana, metales pesados, (*Zea mays* L.)

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE	Pág.
Portada	i
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Resumen	vi
Índice de contenido	vii
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
Objetivo.	4
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA.	5
2.1. Aguas residuales	5
2.2. Reutilización de las aguas residuales.	5
2.3. Normas oficiales mexicanas de descarga.	10
2.4. Descargas a suelo y cuerpos de agua.	10
2.5. Reutilización de las aguas residuales en México.	11
2.6. Características de las aguas residuales.	13
2.6.1. Características físicas.	13
2.6.1.1. Sólidos.	14
2.6.1.2. Olores.	14
2.6.1.3. Temperatura.	15
2.6.1.4. Densidad.	16
2.6.1.5. Color.	17
2.6.1.6. Turbiedad.	18
2.6.2. Características químicas.	19
2.6.2.1. Materia orgánica.	19
2.6.2.2. Materia inorgánica.	20

2.6.3. Características biológicas.	21
2.6.3.1. Microorganismos.	21
2.6.3.2. Bacterias.	22
2.6.3.3. Hongos.	23
2.6.3.4. Algas.	24
2.6.3.5. Protozoos.	25
2.6.3.6. Plantas y animales.	26
2.6.3.7. Virus.	26
2.6.3.8. Organismos patógenos.	27
2.6.3.9. Uso de organismos indicadores.	28
2.7. Métodos de tratamiento de aguas residuales.	28
2.7.1. Método de tratamiento físico.	28
2.7.1.1. Desbaste.	29
2.7.1.2. Sedimentación.	29
2.7.1.3. Filtración.	30
2.7.1.4. Flotación.	31
2.7.1.5. Coagulación-floculación.	31
2.7.2. Método de tratamiento químico	32
2.7.2.1. Precipitación.	32
2.7.2.2. Procesos electroquímicos.	33
2.7.2.3. Intercambio iónico.	34
2.7.2.4. Absorción.	35
2.7.2.5. Desinfección.	36
2.7.3. Métodos de tratamiento biológico.	37
2.7.3.1. Método de tratamiento biológico aeróbico.	38
2.7.3.2. Método de tratamiento biológico anaeróbico.	38

2.7.3.3. Biorreactor de membrana.	44
2.8. Combinación de métodos de tratamiento	45
Método de tratamiento físico-químico.	45
2.9. Remoción de metales pesados.	47
2.9.1. El plomo.	48
2.9.2. El arsénico.	50
2.9.3. El cadmio.	52
2.10. El agroecosistema forrajero. El caso del maíz.	53
2.10.1. El uso del maíz.	53
2.10.2. Rentabilidad.	54
2.10.3. El uso del agua en el maíz forrajero.	54
Consideraciones.	57
Conclusión.	58
Literatura citada.	59

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos diarios. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento (Kelly, 2002).

En México, cerca del 77% del agua es utilizada en la agricultura; 14% en abastecimiento público (drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales); 4% en la industria (minería, electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final) y 5% en la energía eléctrica (CNA, 2011).

Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, determinados procesos de tratamiento de aguas residuales, tienen muy bajos consumos energéticos son los (procesos anaerobios, y también facultativos y aerobios sin aireación), frente a otros más intensivos en energía (la mayor parte de procesos aerobios). Este consumo de energía suele estar ligado a emisiones adicionales de dióxido de carbono y otros contaminantes en la generación eléctrica (Escalas, 2006).

En todo el mundo y en México en particular, este enfoque de el análisis de ciclo de vida (ACV) no ha sido hasta ahora el predominante en la selección de las tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales. En general, los criterios han sido(Escalas, 2006):

- a) La viabilidad económica y técnica de la construcción y operación de la planta.
- b) La calidad de efluente que es posible obtener con cada tecnología (frente a la calidad exigida en la descarga o reutilización del agua).

La confianza que las tecnologías ofrecen a las autoridades, por haber sido probadas o no en un número suficiente de instalaciones en el mundo

Las actividades agropecuarias y forestales (la agricultura en su sentido más amplio), son la parte central de las sociedades rurales con la naturaleza (Morales-Hernandez, 2011). Un sistema agrícola (agroecosistema), su estudio comprende la comunidad de organismos y su medio físico interactuando como una unidad ecológica (Lincoln et al., 1995) denominada cultivo, en nuestro caso nos referimos al maíz, el cual es uno de los cultivos más importantes de América, por el área cultivada, el valor de la cosecha y su amplia utilización en la alimentación. La superficie sembrada con maíz en México es alrededor de 8 millones de hectáreas, con una producción total de 23 millones de toneladas. El consumo medio per cápita como alimento es de aproximadamente 128 kg / año (Sánchez, 2011). Es uno de los cultivos básicos de mayor importancia económica y social, ya que la mayor parte de la producción de grano se destina al consumo humano, así también el maíz es muy importante para la alimentación del ganado como forraje y que es proporcionado a los animales como ensilajes o alimento balanceado (Muños, 2009).

En La Comarca Lagunera es una de las regiones agropecuarias de mayor importancia de México, debido principalmente a la gran cuenca lechera que se encuentra establecida en esta región, donde se llegan a producir hasta 60 L por vaca por día, con lo cual se abastece al mercado nacional, sobresaliendo como sistema pecuario, mientras que, anteriormente el maíz sobresalía en la economía regional por la superficie de siembra, aproximadamente, 30 mil hectáreas año tras año, durante el ciclo 2007 se produjo maíz forrajero en una superficie de 34,770 ha, obteniéndose un total de 1,550,212 toneladas. La producción promedio de éste, oscila en 51 ton para forraje fresco y 15 para forraje seco. Su empleo en la alimentación animal tiene una gran versatilidad, ya que puede ser consumido en verde, ensilado, seco (heno o rastrojo) o como grano (Muños, 2009).

De acuerdo a (Hoekstra and Chapagain, 2006), el consumo promedio de agua para la producción lechera en México fue de $2,382 \text{ m}^3 \text{ Ton}^{-1}$ mientras que para la producción de maíz forrajero se utilizaron $1,744 \text{ m}^3 \text{ Ton}^{-1}$.

OBJETIVO

Presentar un análisis de la información científica disponible, sobre el tratamiento de aguas residuales en sistemas pecuarios, para su uso en agroecosistemas forrajeros, el caso de maíz.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. AGUAS RESIDUALES

De acuerdo a (Serrano, 1997) las aguas residuales son las aguas potables después de haber sido utilizadas en los diversos procesos llevados a cabo en poblaciones. Que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Rodríguez, 2009).

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Blazquez and Montero, 2010).

La descarga de aguas residuales se clasifica en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente de los cuerpos receptores de prioridad nacional, como es en el caso de las industrias autoabastecida. Con el objeto de preservar la calidad de agua, se construyen plantas para tratar el agua antes de su descarga de los ríos y cuerpos de agua. En el año 2008, las 1833 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación en el país trataron 83.6 m³/s, es decir el 40% de los 208 m³/s, recolectados en el sistema de alcantarillado (Conagua, 2008).

2.2. REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

En la población rural en el mundo es aproximadamente el 10 % de la población rural se encuentran dispersas en pequeñas localidades de menos de

100 habitantes, a las cuales es muy costoso dotar de los servicios de agua potable y alcantarillado. De acuerdo al último conteo del año 2005, en México existen 187938 localidades habitadas, de las cuales 187742 tienen menos de 2500 habitantes (Conagua, 2010).

De acuerdo a (Conagua, 2010) la cobertura de agua potable de 900 millones de personas en el mundo carecían de acceso a los servicios de agua potable, lo que se supone el 14% de la población del planeta, siendo los más afectados los habitantes de los continentes asiáticos y africanos. También se estima que la propagación de enfermedades de tipo diarreico, paludismo, hepatitis y tracomas se encuentra estrechamente vinculada con la provisión de los servicios de agua potable y alcantarillado. Siendo los infantiles los más perjudicados, por lo que la ampliación en la cobertura del servicio contribuirá a reducir la inmortalidad por estos procedimientos. México se encuentra en el lugar 89 de 177 en términos de agua potable, por su parte Uruguay está en el lugar 14 y tiene una cobertura del 100% nos indica en el Cuadro 1.

Cuadro1:

Países con mayor cobertura de agua potable, 2008.			
No	País	continente	Cobertura de agua potable (%)
1	Alemania	Europa	100
2	Australia	Oceanía	100
3	Canadá	Norte y centro de América	100
4	Corea del Norte	Asia	100
5	Emiratos Árabes Unidos	Asia	100
6	España	Europa	100
7	Francia	Europa	100
8	Israel	Asia	100
9	Japón	Asia	100
10	Líbano	Asia	100

11	Macedonia	Europa	100
12	Reino Unido	Europa	100
14	Uruguay	Sudamérica	100
45	Estados Unidos de América	Norte y Centro de América	99
49	Portugal	Europa	99
53	Costa rica	Norte y Centro de América	98
62	Rusia	Europa	97
63	Turquía	Asia	97
65	Argentina	Sudamérica	96
67	Guatemala	Norte y Centro de América	96
69	Chile	Sudamérica	95
70	Ecuador	Sudamérica	95
72	Republica dominicana	Norte y Centro de América	95
76	Colombia	Sudamérica	93
79	Jamaica	Norte y Centro de América	93
81	Sudáfrica	África	93
84	Panamá	Norte y Centro de América.	92
87	Brasil	Sudamérica	91
88	Cuba	Norte y Centro de América.	91
89	México*	Norte y Centro de América.	90
92	Venezuela	Sudamérica	90

Las necesidades del tratamiento de aguas residuales, es parte de una consecuencia de la civilización y el progreso, sea caracterizado por el aumento de la densidad demográfica y la expansión industrial que obliga a ciertas medidas sanitarias entre estas está un control de la contaminación(Escalas, 2006)

A continuación el cuadro 2. Nos indica a los países con mayor grado de presión sobre los recursos hídricos, lo cual resulta de dividir la extracción entre el agua renovable (disponibilidad). Es denotar que, por su baja disponibilidad los países del medio oriente figuran entre los países que sufren una presión mas

fuerte sobre los recursos hídricos, mientras que en México se encuentra en el lugar 58 sobre 151 evaluados según este indicador.

Cuadro 2. Nos demuestra el grado de presión en el mundo.

Países con mayor grado de presión sobre los recursos hídricos.				
No	País	Disponibilidad (km³)	Extracción total (km³)	Grado de presión sobre los recursos hidricos.
1	Kuwait	0.02	0.42	2075
2	Emiratos Árabes Unidos	0.15	2.40	1866.66
3	Arabia saudita	2.40	22.47	936.13
4	Libia	0.60	4.27	711.33
5	Qatar	0.06	0.22	381.03
6	Bahrain	0.12	0.24	205.78
7	Yemen	2.10	3.38	161.14
8	Uzbekistán	50.41	58.34	115.73
9	Barbados	0.08	0.09	112.50
10	Turkmenistán	24.72	24.63	99.62
11	Egipto	57.30	54.26	94.70
12	Jordán	0.94	0.85	90.46
13	Israel	1.78	1.55	87.20
14	Irak	75.61	64.49	85.30
15	Omán	1.40	1.18	83.93
16	Siria	16.80	13.89	82.72
17	Pakistán	225.27	169.39	7519
18	Tajikistán	15.98	11.96	74.84
19	Irán	137.52	93.10	67.70
44	Sudáfrica	50.00	12.48	24.96
56	Francia	203.70	39.95	19.61
57	Turquía	213.56	39.10	18.31
58	México	459.35	79.75	17.36
66	Estados Unidos de America	3051.00	283.94	9.31

Las razones que justifican el tratamiento de aguas residuales son cuatro:

- Higiénicas (causas relacionadas con la salud pública).
- Económicas (áreas despreciadas por estar contaminadas)
- Estéticas (desprendimiento de gases a la atmosfera)
- Legales (derechos propietarios marginales).

En el Cuadro 3, podemos ver las plantas de tratamientos de aguas residuales municipales en operación:

Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación por región hidrológica- administrativa.				
N°	Región hidrológica administrativa	Número de plantas en operación.	Capacidad instalada m³/s	Caudal tratado m³/s
I	Península de Baja California	45	8.19	6.11
II	Noroeste	90	4.54	3.18
III	Pacífico Norte	249	8.38	6.50
IV	Balsas	147	7.60	5.50
V	Pacífico Sur	83	3.17	1.98
VI	Rio Bravo	188	28.32	22.23
VII	Cuenca Central del Norte	113	5.19	4.03
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	465	23.17	18.02
IX	Golfo Norte	91	2.91	2.31
X	Golfo Centro	127	5.35	3.14
XI	Frontera Sur	97	3.36	2.67
XII	Península de Yucatán	55	2.26	1.73
XIII	Aguas del Valle de México.	83	10.60	6.14
Total		1833	113.02	83.64

En la tierra, la cantidad de agua existente es tan solo 1,0% en muchas partes el mayor problema es sanitario y enfermedades asociadas al agua, también afecta muchas comunidades enteras: nos explica que un 80% de las

enfermedades que azotan los países en una vía de desarrollo, es ocasionado por un abastecimiento de agua deficiente. A pesar de las limitaciones que podamos obtenerla en una aceptable calidad, el agua es un elemento central de todos los procesos vitales, sociales y económicos que en van formando parte de un cielo cerrado (Sarria et al., 2005).

2.3. NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE DESCARGA

En 1997 y 1988 se promulgaron las leyes oficiales mexicanas (NOM) sobre descargas de aguas residuales, las cuales hoy continúan vigentes. Son decretos federales de obligado cumplimiento, que establece los límites de descarga (vertidos) a los diferentes cuerpos de agua y al suelo, así como a las redes de alcantarillado: (NOM-001-SEMARNAT-1996) Y (NOM-002-SEMARNAT-1996), respectivamente. Estas normas establecieron un marco regulador que ha unificado parámetros para regular esta actividad en todos los municipios y usuarios de las redes de alcantarillados. Los límites de descarga de aguas residuales municipales a cuerpos de receptores se establecieron en función de los cuerpos de agua, mientras que la descarga a alcantarillados se unificó y ya no dependió de la actividad de la industria: se derogaron normas anteriores que establecían la normatividad de descarga según el ramo industrial. Los límites establecidos por la NOM mencionadas son en general bastante permisivos. Sin embargo establecieron un marco normativo generalizado y un calendario escalonado de implantación de la norma, que debía favorecer la generalización del saneamiento integral de las aguas residuales en el país (Escalas, 2006).

2.4. DESCARGAS A SUELO Y CUERPOS DE AGUA

De acuerdo a (Chavez, 2009) la (NOM-001-SEMARNAT-1996) establece los límites máximos permisibles en la descarga a suelo y agua en función de los tipos de cuerpos receptores establecidos en la ley Federal de Derechos. En la descarga a rio con “protección de la vida acuática” se establecen límites moderadamente altos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y sólidos

suspendidos totales (SST) de 30 y 40 mg L⁻¹, respectivamente (promedios mensuales)

En cambio, para la descarga a ríos calificados para “uso en riego agrícola” se establecen límites de 150 mg L⁻¹, tanto para DBO5 como para SST. Y para la descarga al suelo para riego agrícola, no se establecen límites de DBO5 ni de SST. Esto implica en la práctica que para algunas aguas residuales diluidas no se requieren tratamiento alguno, o es suficiente con un tratamiento de sedimentación básico para cumplir con la normativa de descarga

Para estimular el cumplimiento de la normativa, sucesivos decretos federales ofrecieron a los municipios de la condonación de las deudas a cambio de que elaboraran y ejecutaran planes para establecer el saneamiento de sus aguas residuales. La condonación de la deuda que do condicionalmente al cumplimiento trimestral de los objetivos de un programa, de lo contrario el municipio debería pagar los derechos, que sería descontado de sus participaciones federales. Este proceso se instrumento a través del programa para el saneamiento (PAS) (Sanchez, 2004).

EL PAS se ofreció inicialmente a poblaciones de más de 20 000 habitantes (un total de 306 en todo el país). A finales de 2004, 288 poblaciones se habían adherido al programa, de las que 232 estaban desarrollados acciones de saneamiento (Conapo, 2004). En noviembre de 2004 se abrió el programa de las poblaciones de más de 2 500 habitantes. Aun no se han podido obtener todos los resultados esperados del PAS, puesto que muchas obras se encuentran en la fase del proyecto o en la ejecución.

2.5. REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO

En las regiones áridas y semiáridas de México se aplican durante décadas riegos agrícolas con aguas residuales crudas. Esta ha sido una respuesta a la escasez de agua, impulsada también por la fácil disponibilidad de las aguas residuales crudas frente al agua de pozo que debemos bombearse o conducirse.

Según(Garza, 2000.), a principios de los años noventa, el instituto Nacional de Ecología (INE) estimaba que el 44.3 de las aguas residuales municipales, normalmente no tratadas, se empleaban en el riego agrícola. Según el mismo autor, 350,000 ha se irrigaban por este procedimiento, según datos de la primera mitad de los años noventa.

En los riegos con las aguas residuales crudas o mal tratadas tienen implicaciones graves sobre el suelo y los mantos acuíferos y sobre la salud de la población, con especial incidencia en las enfermedades intestinales (Chavez, 2009).

La reutilización de las aguas residuales municipales por regantes agrícolas se encuentra a veces amparada por concesiones legales o los regantes. Otras veces, en cambio, se trata de situaciones de hechos difíciles de resolver. En todo caso, la preexistencia de reutilización de aguas residuales crudas tienen implicaciones sociales y legales de importancia, que se ponen de manifiesto al llevar a cabo proyectos de saneamiento de esos caudales. Entonces el agua tratada, es apta para su reutilización industrial, para su uso público urbano o para la recarga de acuíferos, no puede ser usada según las prioridades que establezca las autoridades que pagan su tratamiento, si no que estas deben pactar el futuro uso del agua tratada con los usuarios tradicionales, legítimos o ilegítimos (Chavez, 2009)

La reutilización del agua constituye una alternativa de gran relevancia en los estados áridos y semiáridos del país, donde unos de los principales problemas son los escasos de este recurso (Escalas, 2006).

El agua es uno de los recursos naturales más valiosos y también uno de los más sobre explotados. En México se generan 231 m³ de aguas residuales, de las cuales se depuran solamente 43 m³/s. La proyección de producción de aguas residuales en todo el país para el año 2010 será de 317 m³ s⁻¹ generando un mercado potencial de 6,850 millones de dólares, lo que representa una magnífica oportunidad de negocios (Maldonado, 2009).

El agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de cualquier país; es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Su disponibilidad es paulatinamente menor debido a su contaminación por diversos medios, incluyendo a los mantos acuíferos, lo cual representa un desequilibrio ambiental, económico y social. Se considera que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. (Romero-Aguilar et al., 2009).

Tratamiento de aguas residuales, es un proceso necesario para mantener y cuidar la integridad del ecosistema en el que vivimos los seres humanos, por eso tratamos de no contaminar el agua. En los contaminantes biodegradables, que encontramos en las aguas residuales son degradados en los sistemas, donde encontramos a los microorganismos que aceleran la descomposición de materia orgánica (chang, 2007)

2.6. CARACTERÍSTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

En la descarga de las aguas residuales domésticas e industriales en las corrientes y cuerpos superficiales del agua, conducen a un deterioro de la calidad de dichas aguas superficiales hasta un grado tal que se puede inutilizar como fuente de abastecimiento para una comunidad, además altera y perpetua el equilibrio ecológico del ecosistema, y del medio en general (Vega, 2004)

Según (Valencia, 2001) que mezclar las aguas residuales con las aguas superficiales, se produce un cambio considerable en las características y calidades físico-químicas y biológicas del agua, lo cual resulta en un deterioro de su calidad, y en la disminución de su potencial de uso como fuente de abastecimiento para la población, la agricultura y la industria.

2.6.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

2.6.1.1. Sólidos

.Los sólidos totales se definen analíticamente como la materia que se obtiene después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor(Vega, 2004). También Proceden del agua de abastecimiento industrial y doméstico, agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas (Lopez, 2003).

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un período de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades ml de sólidos sedimentables por litro de muestra. Los sólidos sedimentables, medidos en ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual (cuba, 2004).

Los sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación e entre 103 y 105 °C no se define como solida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor (Camara et al., 2006).

Compuestos por materia en suspensión, sedimentable, coloidal, y disuelta. Representa la mineralización de las aguas. Su variación es dependiente de la origen de las aguas (naturales geológica de la cuenca), meses del año (temperatura, precipitación y caudales) efluentes y escorrentias (Metcalf, 1985).

2.6.1.2. Olor

De acuerdo a (Valarezo, 2010), los olores son un aspecto importante de las aguas residuales ya que afectan directamente a la salud humana, por lo que deben ser controlados apropiadamente. Los olores son generados debido a los

gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual resistente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más agradable con el agua residual séptica (Camara et al., 2006).

Para la completa caracterización de un olor, se sugieren cuatro factores independientes: la intensidad, el carácter, la sensación de desagrado y la detectabilidad. No obstante, hasta hoy en día, el único factor que se ha tenido en cuenta en el desarrollo de normativas reguladoras de malos olores ha sido la detectabilidad (Cuba, 2004).

Resulta de los gases liberados durante la descomposición de la materia orgánica, entre más séptica este el agua residual más desagradable su olor. (sulfuro de hidrogeno) (Metcalf, 1985).

Los olores pueden medirse con métodos sensoriales, mientras que las concentraciones de olores específicos pueden determinarse con métodos instrumentales. Se ha podido constatar que, en condiciones estrictamente controladas, la medida sensorial (organoléptica) de los olores, empleando el olfato humano puede proporcionar resultados fiables y significativos. Es por ello que a menudo, se emplea el método sensorial para la medición de los olores que emanan de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales (Vega, 2004)

2.6.1.3. Temperatura

La temperatura del agua es un factor muy importante debido a que influye en el desarrollo de la vida acuática, las reacciones químicas y la velocidad de reacción, así como también en el consumo del agua. A altas temperaturas la solubilidad del oxígeno disminuye mientras que las velocidades de reacción química aumentan, lo cual resulta es una disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el agua y representa un problema para las formas de vida presentes (Valarezo, 2010).

El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. La temperatura se mide con un termómetro, donde el resultado de la medición en °C del agua residual ser semejante al del cuerpo receptor (Haydee, 2007).

La temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como microbiología (Marin, 2000).

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales, también a la descomposición bioquímica de las partículas orgánicas. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses calurosos del verano(cuba, 2004).

2.6.1.4. Densidad

La densidad es una característica física de una sustancia, aunque su masa y volumen varíen ampliamente. La masa y el volumen son ejemplo de propiedades extensivas, que dependen de la cantidad de sustancia presente. Por otra parte, la densidad es una propiedad intensiva; es decir, independiente de la cantidad de sustancia presente(Martin, 2002).

La densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m³. Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en lodos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento(cuba, 2004).En

ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual (Vega, 2004).

2.6.1.5. Color

El color representa otro factor de importancia para el agua residual, ya que a través del mismo se puede diferenciar de manera general el estado en el que se encuentra el agua (Valarezo, 2010). El agua residual reciente tiene un color gris, sin embargo, cuando los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro; en esta condición se dice que el agua residual es séptica (Lopez, 2003).

El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. El color en el agua doméstica puede manchar los accesorios sanitarios y opacar la ropa. Las pruebas se llevan a cabo por comparación con un conjunto estándar de concentraciones de una sustancia química que produce un color similar al que presenta el agua (Orellana, 2003)

El color de un agua se debe a sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella: materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como de diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas) (Marin, 2000).

Históricamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en

función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de ALC y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Turbidez es una medida de las propiedades de transmisión de luz de una muestra de agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia orgánica coloidal y residual en suspensión. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas (Cuba, 2004).

2.6.1.6. Turbiedad

La turbidez es una medida de las propiedades de transmisión de luz de una muestra de agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia orgánica coloidal y residual en suspensión (Valarezo, 2010).

Esta se determinó mediante un equipo Nefelómetro previamente calibrado con una suspensión de polímero de formalina (Campos et al., 2009). En aguas naturales, la turbidez evoluciona pareja a la del aporte de aguas de escorrentías al medio, a su vez provocada por las lluvias, especialmente, si éstas son torrenciales o se producen en terrenos susceptibles de fácil erosión. La turbidez se reduce con la sedimentación natural (Marín, 2000).

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz del agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual (Cuba, 2004).

Se utiliza en el método nefelométrico, su procedimiento se basa en comparar la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definitivas y la dispersada por una solución de referencia de idénticas condiciones, mediante el empleo de un turbidímetro (Metcalf, 1985).

La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la relación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones (Cuba, 2004).

2.6.2. Características químicas

2.6.2.1. Materia orgánica

Cerca del 75 % de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60 %), hidratos de carbono (25-50 %), y grasas y aceites (10 %)(Hierro, 2003).

Los principales grupos de sustancias orgánicas halladas en el agua residual

Son:

1. Proteínas
2. Carbohidratos
3. Grasas animales y aceites
4. Agentes tenso activos (causa espuma en la aireación)
5. Fenoles (concentración hasta 500 mg. / lt.)
6. Pesticidas y productos químicos agrícolas (Lopez, 2003).

Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes (Cuba, 2004).

Según (Metcalf, 1985) es un agua residual de concentración media, un 73% de los sólidos suspendidos y un 40 de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica. Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrogeno y oxigeno, junto con nitrógeno en algunos casos.

2.6.2.2. Materia inorgánica

Su procedencia en el agua es tanto de origen geológico por disolución de las rocas y los minerales con esta, como por el vertido de las aguas residuales (Metcalf, 1985).

Varios componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua. Las aguas residuales a excepción de algunos residuos industriales, son raramente tratadas para la eliminación de los constituyentes inorgánicos que se añaden en el ciclo de su utilización, puesto que las concentraciones de los distintos constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de aquellos, especialmente los añadidos al agua superficial por el ciclo de su utilización (Lopez, 2003).

Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto. Las aguas residuales, salvo el caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar los constituyentes inorgánicos que se incorporan durante el ciclo de uso. Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente, debido al

proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua. Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso (Cuba, 2004).

Por regla general, salvo en el caso de determinados residuos industriales, las aguas residuales no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar los componentes inorgánicos que se incorporan a su ciclo.

- Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua residual.
- Forma los componentes inorgánicos, la acidez (pH), cloruros, alcalinidad, nitrógeno, fósforo, azufre, tóxicos inorgánicos (cobre, plomo, plata, cromo, arsénico, boro) y los metales pesados.
- Los tóxicos inorgánicos son limitantes para los tratamientos biológicos, están considerados como contaminantes prioritarios, y algunos de ellos tienen relación directa con actividades industriales (cianuros, cromatos, fluoruros) (Hierro, 2003).

2.6.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

2.6.3.1. Microorganismos

Los grupos principales de organismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales se clasifican en protistas, plantas y animales. La categoría de los protistas incluyen las bacterias, hongos, protozoos y algas. Como plantas se clasifican las de semillas, helechos, musgos y hepáticas. Como animales se clasifican los vertebrados e Invertebrados (Lopez, 2003).

Los microorganismos acuáticos heterótrofos utilizan y mineralizan los nutrientes orgánicos. El amonio se nitrifica y junto con otros nutrientes inorgánicos

es utilizado e inmovilizado por las algas y plantas acuáticas superiores (Trinidad, 2006).

Debido a que en capítulos posteriores se estudia detalladamente cada uno de los grupos de microorganismos, los apartados que siguen pretenden servir únicamente como introducción general a los distintos grupos y su importancia en el campo del tratamiento de las aguas residuales y la gestión de la calidad del agua. Los virus, también presentes en el agua residual, se clasifican en función del sujeto infectado (Vega, 2004).

2.6.3.2. Bacterias

Las bacterias se pueden clasificar como eubacterias procariontes unicelulares. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: esferoidales, bastón, bastón curvado y filamentosas. Las bacterias esferoidales, que reciben el nombre de cocos, tienen un diámetro aproximado de entre 1 y 3 micras. Las bacterias de forma de bastón, conocidas como bacilos, tienen tamaños muy variables, entre 0,5 y 2 micras de ancho por entre 1 y 10 micras de largo. Los *Escherichia coli*, organismo común en heces humanas, miden del orden de 0,5 micras de ancho por 2 micras de largo. Las bacterias del tipo de bastón curvado tienen dimensiones que pueden variar entre 0,6 y 1,0 micras de ancho por entre 2 y 6 micras de longitud. Las bacterias con forma de espiral pueden alcanzar longitudes del orden de las 50 micras, mientras que las filamentosas pueden llegar a superar las 100 micras (Cuba, 2004).

Según (Metcalf, 1985) las bacterias son descomposición y estabilización de la materia orgánica. Las principales vías de transmisión de enfermedades a los seres humanos desde el agua residual son: el contacto directo con el agua residual, transporte de aerosoles, cadena alimenticia, e inadecuado trato de agua de bebidas (Lara, 1999).

Las bacterias son de los géneros *Sphaerotilus* y *Crenothrix*, relacionadas con el hierro y el manganeso del agua y del género *Beggiatoa* del grupo de las bacterias sulfurosas. Las bacterias que se pueden encontrar en el agua son de géneros muy numerosos, pero veremos aquí las que son patógenas para el hombre, las bacterias coliformes y los estreptococos que se utilizan como índice de contaminación fecal. Recordemos que según necesiten o no oxígeno libre para vivir se las llama aerobias o anaerobias, existe un tercer tipo que se desarrolla mejor en presencia de oxígeno pero pueden vivir en medios desprovistos del mismo y se las denomina anaerobias facultativas (Orellana, 2003).

Las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos, se ha buscado un grupo alternativo de indicadores que sean de más rápida y fácil detección (Cytel, 2006).

2.6.3.3. Hongos

Los hongos son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimio heterótrofos. Muchos de los hongos son saprófitos; basan su alimentación en materia orgánica muerta. Juntos con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera (Vega, 2004).

Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de

degradación de la materia orgánica el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.(cuba, 2004).

Entre los hongos superiores de las aguas, se detectan mayoritariamente Ascomicetos y Deuteromicetos, siendo minoritarios los Basidiomicetos. Sólo las levaduras y los hongos levaduriformes pueden medrar libremente en el agua requiriendo los demás fijarse a un sustrato (Marin, 2000).

2.6.3.4. Algas

Las algas aportan oxígeno, en exceso producen el fenómeno de eutrofización, aumento del crecimiento de ciertas especies de peces alterando el sistema acuático (Metcalf, 1985).

La presencia de algas afecta al valor del agua de abastecimiento, ya que puede originar problemas de olor y de sabor. En cuanto a los usos del agua relacionados con el ocio, las algas también pueden alterar el valor de las aguas superficiales debido al crecimiento de ciertas especies de peces y formas de vida acuáticas. La determinación de la concentración de algas en aguas superficiales se realiza tomando muestras por alguno de los métodos conocidos y haciendo un recuento al microscopio (cuba, 2004)

Las algas contienen fundamentalmente clorofila necesaria para las actividades fotosintéticas y por lo tanto necesitan la luz solar para vivir y reproducirse. La mayor concentración se da en los lagos, lagunas, embalses, remansos de agua y con menor abundancia en las corrientes de agua superficiales(Orellana, 2003).

Uno de los problemas más importantes al que se enfrenta la ingeniería sanitaria en el campo de la gestión de la calidad del agua es el de encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas residuales de diferentes

orígenes de modo que los efluentes no favorezcan el crecimiento de algas y demás plantas acuáticas. La solución puede implicar la eliminación del carbono, así como de las diferentes formas de nitrógeno y fósforo y alguno de los elementos que se hallan presentes a nivel de traza, como el hierro y el cobalto (Vega, 2004).

2.6.3.5. Protozoos

Los protozoos son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una sola célula abierta. La mayoría de los protozoos son aerobios o facultativamente quimio heterótrofos anaerobios, aunque se conocen algunos anaerobios. Los protozoos de importancia para el ingeniero sanitario son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. Tienen una importancia capital, tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de cursos de agua ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos (Cuba, 2004).

Los protozoos de todos los que pueden encontrarse en el agua, el más importante por su toxicidad es la *Endamoeba histolytica* que produce la disentería amibiana (Orellana, 2003)

Los protozoos ameboides se caracterizan por presentar movimiento ameboide con emisión de pseudópodos. Miembros del grupo son las amebas (organismos típicamente acuáticos) que pueden fagocitar pequeñas presas, bacterias y animáculos. Algunos Rhizopoda pueden desarrollar exoesqueleto o endoesqueleto. Son también frecuentes en las aguas (Marin, 2000).

Los protozoos es la purificación de los ríos de mantener un equilibrio natural entre los distintos grupos de microorganismos (amebas, los flagelos, ciliados libres y fijos (Metcalf, 1985).

2.6.3.6. Plantas y animales

El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, y a la hora de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos (Cuba, 2004).

Plantas acuáticas y animales para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Los humedales construidos son una alternativa natural a los métodos técnicos de tratamiento de aguas de desecho. Son sistemas pasivos de depuración, se caracterizan por su simplicidad de operación, un bajo o nulo consumo energético, una baja producción de residuos, un bajo impacto ambiental sonoro y una buena integración al medio ambiente rural (Trinidad, 2006). Permite valorar el estado de las corrientes y lagos, al determinar la toxicidad que tan las aguas y el desarrollo efectivo de la vida biológica (Metcalf, 1985).

Desde el punto de vista de la salud pública, existen ciertos gusanos que merecen especial atención y preocupación. Los platelmintos (comúnmente llamados gusanos planos) y los asquelmintos son importantes familias de gusanos. Platelmintos como la *Tutelaría* están presentes en lagos y cursos de agua de todo el mundo, y la *Trematoda* y la *Cestoda* son formas parasíticas de gran importancia para la salud pública (Vega, 2004).

2.6.3.7. Virus

Los virus en la mayoría de los sistemas de tratamientos son más resistentes a la inactivación que las bacterias (Lara, 1999). Los virus son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético Ácido Desoxirribonucleico (ADN) o Ácido Ribonucleico (RNA) con una capa de recubrimiento proteínico. No

tienen capacidad para sintetizar compuestos nuevos. En lugar de ello, invaden las células del cuerpo vivo que los acoge y reconducen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales a costa de las células originales. Cuando muere la célula original, se liberan gran cantidad de virus que infectarán células próximas (cuba, 2004).

Los virus se clasifican atendiendo al tipo de ácido nucléico que los conforma y a su morfología. Muchas especies de virus se transmiten vía aguas naturales, ríos, arroyos, lagos y embalses. En concreto, los virus acuáticos suelen ser parásitos de organismos superiores (cangrejos, peces) o de organismos o microorganismos típicamente encontradas en las aguas. Así, se los denomina bacteriófagos, si infectan bacterias, cianófagos si hacen lo propio con cianofíceas, etc (Marin, 2000).

Más de 140 virus patógenos pueden ser transmitidos al hombre a través del agua. Estos son los virus entéricos eliminados a través de las heces de personas infectadas. Los más comunes son los virus causantes de gastroenteritis y el virus de la hepatitis. Algunos de estos virus (rotavirus, virus Norwalk) no generan una protección inmunitaria a largo plazo por lo que la infección puede repetirse varias veces a lo largo de la vida (Cytel, 2006).

2.6.3.8. Organismos patógenos

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos (Vega, 2004).

Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y

paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera. Debido a la alta infecciosidad de estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales (Cuba, 2004).

2.6.3.9. Uso de organismos indicadores

Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar. El tracto intestinal humano contiene innumerables bacterias con forma de bastoncillos, conocidas como organismos coliforme (Cuba, 2004).

Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos (concentración y reacción frente a factores ambientales y barreras artificiales), pero son más rápidos, económicos y fáciles de identificar. Una vez se ha evidenciado la presencia de grupos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador (Cytel, 2006).

Los organismos indicadores de contaminación fecal en productos alimenticios procedentes de áreas agrícolas, irrigadas con aguas superficiales y aguas residuales crudas y tratadas, durante la época de cosecha y comercialización (Castro and Flores, 1990).

2.7. MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.7.1. MÉTODO DE TRATAMIENTO FÍSICO

2.7.1.1. Desbaste

Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran las aguas y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos. Suele ser un tratamiento previo a cualquier otro (Fernández-Alba et al., 2006).

De acuerdo a (Cerro, 2005) el desbaste retiene y separa los sólidos voluminosos (ya sean flotantes o en suspensión). Los elementos más usados son las rejillas (desbaste grueso) y los tamices (desbaste fino).

2.7.1.2. Sedimentación

Las sustancias de sedimentación que se acumulan dependiendo de las condiciones físicas e hidráulicas del río, adyacente del puesto del vertido, originan acumulaciones considerables en el fondo de materia orgánica, con facilidades de descomposición, generando una demanda de oxígeno del agua y llevando a condiciones anaerobias en el fondo y una degradación general del hábitat en dichas zonas (Metcalf, 1985).

Este proceso está planteado como complementario en el desarrollo total de la limpieza del agua. La función básica de la sedimentación es separar las partículas suspendidas del agua. Los sistemas de decantación pueden ser simples, es decir trabaja únicamente con la gravedad, eliminando las partículas grandes y pesadas, o bien, se pueden utilizar sistemas coagulantes, para atraer las partículas finas y retirarlas del agua (Edward and Hardenberg., 1987).

Operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal

parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también decantación(Fernández-Alba et al., 2006).

Realmente, este tipo de partículas (grandes y densas, como las arenas) se tienen en pocas ocasiones en aguas industriales. Lo más habitual es encontrar sólidos poco densos, por lo que es necesario, para hacer más eficaz la operación, llevar a cabo una coagulación-floculación previa, que como se explicará más adelante, consiste en la adición de ciertos reactivos químicos para favorecer el aumento del tamaño y densidad de las partículas(Fernández-Alba et al., 2006).

2.7.1.3. Filtración

La filtración es una operación que consiste en hacer pasar un líquido que contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante. De este modo, las partículas que no han sedimentado en el decantador son retenidas en los filtros(Haydee, 2007).

El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0.15 y 0.3 mm. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay más variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de Tierra de Diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa(Fernández-Alba et al., 2006).

De acuerdo a (Romero, 2002) Una vez que se ha decantado el agua para terminar el proceso de clarificación, se hace pasar por una etapa de filtración, la cual consiste en hacer pasar el agua que todavía contiene materias en suspensión

a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante.

2.7.1.4. Flotación

La flotación es una operación unitaria que se emplea para la separación de partículas sólidas o líquidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas gotas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto de partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido (ESPE, 2012).

Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmiscible, como en el caso de aceites y grasas. En este caso las burbujas de aire ayudan a “flotar” más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua (Fernández-Alba et al., 2006).

2.7.1.5. Coagulación-Floculación

La Coagulación consiste en la desestabilización de las partículas coloidales, empleando productos químicos (coagulantes) que neutralizan la carga eléctrica de los coloides; la Floculación consiste en la agrupación de las partículas coloidales desestabilizadas, formando agregados de mayor tamaño denominados “flóculos”, los cuales sedimentan por gravedad (Haydee, 2007).

Los coagulante y floculantes son usados por una eficiente separación de sólidos suspendidos. El lodo generado tiene un alto contenido de humedad, por el

cual requiere un tratamiento de deshidratación antes que su disposición final (Kurimexicana, 2011).

Las impurezas se encuentran en el agua superficial como Materia en suspensión y materia coloidal. Las especies coloidales incluyen arcilla, sílice, hierro, otros metales y sólidos orgánicos (Romero, 2002).

Como ya se ha mencionado en varias ocasiones, en muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño (10^{-6} – 10^{-9} m), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales (industria de la alimentación, pasta de papel, textiles, etc (Fernández-Alba et al., 2006).

2.7.2. METODO DE TRATAMIENTO QUIMICO

2.7.2.1. Precipitación

Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión. El término precipitación se utiliza mas para describir procesos como la formación de sales insolubles, o la transformación química de un ión en

otro con mayor o menor estado de oxidación que provoque la formación de un compuesto insoluble(Fernández-Alba et al., 2006).

Las operaciones de precipitación y sedimentación química, llevadas a cabo de manera independiente o en combinación con reacciones de oxidación-reducción, se utiliza ampliamente para la eliminación de metales. También se emplean carbonatos de sodio y calcio para metales cuando su solubilidad correspondiente (Trinidad, 2006).

2.7.2.2. Procesos Electroquímicos

En este proceso se mezcla el agua residual con agua de mar y se hace pasar célula simple que contiene electrodos de carbón. En razón de las densidades relativas del agua de mar y de la mezcla del agua de mar y residual, la primera se acumula en la superficie del ánodo en la parte inferior de la celular la ultima lo hace en la superficie del cátodo cerca de la parte superior de la célula. La corriente eleva el pH en el cátodo, precipitando con ello Fósforo y Amoniaco. Las burbujas de hidrogeno generadas en el cátodo elevan el fango a la superficie, donde es arrastrado y eliminado por métodos convencionales. El cloro desarrollado en el anodo de la celda desinfecta el efluente y la mezcla sobrante de agua residual-de mar es seguidamente vertida al mar (Miranda, 2004).

Algunos procesos electroquímicos a gran escala han sido (y son en algunos casos) causantes de importante impacto ambiental fundamentalmente relacionado con la emisión de contaminantes al aire y/o cursos de agua. Dentro de las industrias electroquímicas potenciales generadoras de contaminantes, se encuentran la producción de cloro (proceso cloro-soda) y las plantas de electro depósitos. Compensando este panorama negativo, la electroquímica también aporta herramientas para estudiar, controlar, mitigar, o tratar residuos industriales. El estudio y control está relacionado con las posibilidades que brinda el electroanálisis(Edward and Hardenberg., 1987).

Una de las principales aplicaciones industriales de la tecnología electroquímica es el tratamiento efectivo de aguas residuales con una elevada concentración de compuestos orgánicos (PCBs, cianuros, fenoles, etc.).

La degradación electroquímica (oxidación electroquímica directa o indirecta) y la electrocatálisis de aguas residuales peligrosas tienen varias ventajas comparada con la incineración y el tratamiento biológico:

- El tratamiento electroquímico se puede utilizar en el tratamiento de residuos altamente tóxicos.
- El proceso puede funcionar a temperatura ambiente y presión ambiental.
- Es una tecnología respetuosa con el medioambiente porque solamente usa electricidad.
- El consumo energético depende de la DQO.
- El tratamiento electroquímico se puede parar simplemente apagando la fuente de energía.
- Bajo coste.
- Tecnología segura y eficiente (Trinidad, 2006).

Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo. Por tanto se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación ambiental, siendo su coste uno de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de fangos y la selectividad, pues controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada (Fernández-Alba et al., 2006).

2.7.2.3. Intercambio Iónico

El intercambio iónico es un proceso en que los iones que se mantiene unidos a grupos funcionales en la superficie del sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por especies diferentes en disolución. Ya que la desmineralización se puede llevar a cabo mediante intercambio iónico, es posible utilizar procesos de tratamientos de corriente continua , en los que el parte del agua residual del efluente se desmineraliza y se combina después con parte del efluente que ha sido desviado del tratamiento para producir un efluente de calidad específica (Miranda, 2004).

El intercambio iónico empleando minerales porosos naturales, como las zeolitas, permite la separación de cationes metálicos en solución que se difunden a través de intersticios del material, ocupando el sitio de iones fácilmente permutables hacia la solución, como el Na^+ y el K^+ , entre otros (Miel et al., 2005)

Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución (Fernández-Alba et al., 2006).

2.7.2.4. Adsorción

La absorción puede ser física o química, según el gas que se disuelva en el líquido absorbente o reaccione con él dando un nuevo compuesto químico (según exista o no interacción química entre el soluto y el absorbente)(ESPE, 2012).

La adsorción corresponde a la transferencia de una molécula de la fase líquida hacia la fase sólida. Este fenómeno obedece a las leyes de equilibrio entre la concentración en fase líquida y la concentración en fase sólida, sobre la superficie del material adsorbente (CYted., 2006).

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. La necesidad de una mayor calidad de las aguas está haciendo que este tratamiento esté en auge. Es considerado como un tratamiento de refino, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico(Fernández-Alba et al., 2006).

2.7.2.5. Desinfección

La desinfección pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que puedan causarnos enfermedades, dado que el agua es uno de los principales medios por el que se transmiten. Los organismos causantes de enfermedades pueden ser bacterias, virus, protozoos y algunos otros. La desinfección se hace imprescindible para la protección de la salud pública, si el agua a tratar tiene como finalidad el consumo humano. En el caso de aguas residuales industriales, el objetivo puede ser no solo desactivar patógenos, sino cualquier otro organismo vivo, si lo que se pretende es reutilizar el agua(Fernández-Alba et al., 2006).

La utilización de desinfectantes persigue tres finalidades: producir agua libre de patógenos u organismos vivos, evitar la producción de subproductos indeseables de la desinfección y mantener la calidad bacteriológica en la red conducción posterior. Los reactivos más utilizados son los siguientes(Fernández-Alba et al., 2006)

La etapa final del proceso de tratamiento de aguas siempre es la desinfección. En algunos casos en las plantas muy sencillas, ésta es la única etapa del proceso. Hay tres tipos básicos de desinfección: Tratamientos físicos, tratamientos químicos y radiación (Romero, 2002).

2.7.3. MÉTODO DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

En los sistemas biológicos, el tratamiento anaerobio solo o combinado con otros procesos es una tecnología consolidada para el tratamiento de ARD, principalmente en países con condiciones climáticas favorables que permiten una elevada biodegradabilidad—lo que representa una ventaja técnica y económica —, ya que en estos procesos hay una verdadera reducción de la materia orgánica, menor producción de lodos digeridos en el mismo reactor anaerobio, menores requerimientos de área comparados con otros métodos y generación de un subproducto altamente energético, como es el metano contenido en el biogás; adicionalmente, presentan un bajo o nulo requerimiento de insumos químicos, dadas las condiciones adecuadas de pH, alcalinidad y nutrientes (Torres, 2010)

Los procesos biológicos son ampliamente usados para el tratamiento de aguas residuales, debido a que una parte importante de la materia orgánica presente en las aguas residuales es biodegradable; la presencia de microorganismos en el proceso degrada esta forma de contaminación principal. La fracción afectada es estimada por la determinación de la DBO₅, principio con el que se reproduce este fenómeno. En contraste con el proceso fisicoquímico, el objetivo de los procesos biológicos es eliminar la parte biodegradable soluble de la materia orgánica, generalmente por aireación, siendo las ventajas la mineralización de la materia y la producción de lodo. Este último punto es muy importante porque productos solubles son convertidos en sólidos fácilmente removidos por precipitación en un sedimentado (Diaz, 2010).

Son los tratamientos que tienen en común la utilización de microorganismos (entre los más destacados son las bacterias) que llevan a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre los componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P).

Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales (Edith et al., 2010).

2.7.3.1. Método de tratamiento biológico aeróbico

El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto. En este proceso participan bacterias aerobias o facultativas y origina compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno y permiten la actividad de las bacterias aerobias. Existe pues una simbiosis entre bacterias y algas que facilita la estabilización aerobia de la materia orgánica. El desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo con intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales (Leon, 2004).

La digestión aeróbica genera dióxido de carbono, amoníaco, y algunos gases adicionales en pequeñas cantidades, calor en grandes cantidades, y un producto de lodo final (Arthurson, 2008).

En la degradación de las aguas residuales que son utilizadas mediante curtidumbres, se activan mediante un proceso de lodo. Los procesos de lodo activado, se ven afectado por muchos factores en cuanto al rendimiento. En diversos parámetros de una importancia relativa es la utilización del sustrato, para el crecimiento d los microorganismos que baja el funcionamiento del reactor incluyendo el medio tiempo de resistencia celular (Durai and Rajasimman, 2011). Sin embargo los procesos aerobios no son considerados como una opción adecuada de tratamiento debido a los altos requerimientos de energía para aireación, limitaciones en rangos de transferencia de oxígeno en la fase líquida, y grandes cantidades de producción de lodo (Maldonado, 2009).

2.7.3.2. Tratamiento biológico anaeróbico

Podemos considerar que en los procesos anaerobios que consiste en una serie de procesos microbiológicos que ocurren dentro de un recipiente hermético, que realizan la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos, pero es desarrollado principalmente por bacterias. Ejemplos de tratamientos anaeróbicos son los tanques sépticos y los reactores anaerobios que tratan el agua en un sistema sin luz, oxígeno ni movimiento (Rossi, 2010).

La digestión anaeróbica o descomposición produce metano, dióxido de carbono, y un número de otros gases en cantidades pequeñas, cantidades menores de calor, y un producto final de estabilizados lodos con contenido de nitrógeno superior a la producida por digestión aerobia (Arthurson, 2008).

Las ventajas principales sería que generalmente requiere de instalaciones menos costosas, y no hay necesidad de suministrar oxígeno, por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Produce una menor cantidad de lodos (el 20% en comparación con un sistema de lodos activos) (Rossi, 2010).

De acuerdo a (Lorenzo and Obaya, 2006) es una de las ventajas que La producción de lodos estabilizados en exceso es mínima y fácilmente drenable hasta de 30 a 40 % y, por tanto, los costos de tratamiento del lodo y su transportación posterior son relativamente bajos.

- Se pueden aplicar altas cargas hidráulicas y orgánicas con eficiencias aceptables.
- El reactor necesita poco espacio.

- Los lodos anaerobios adaptados pueden mantenerse sin alimentación por largos períodos de tiempo, por lo que el proceso resulta muy adecuado para las industrias que trabajan de forma cíclica.
- Su construcción no es compleja y los costos de operación y mantenimiento son relativamente bajos.

Una ventaja importante de anaeróbico durante la digestión aeróbica es que el dióxido de carbono y metano (biogás) se generan como fin productos, así suplir las necesidades energéticas del tratamiento facilidad. Biogás normalmente contiene aproximadamente 60 a 70% de metano, 30 a 40% de dióxido de carbono, y pequeñas cantidades de otras gases, incluyendo amoníaco, sulfuro de hidrógeno y mercaptano, por lo que es un gas extremadamente valioso que es rica en fácilmente energía extraíble. Además, la digestión anaeróbica no requieren la entrada de aire o de oxígeno en el sistema, que es extremadamente costo-efectiva en relación con los sistemas de tratamiento de lodos que requiere oxígeno (Arthurson, 2008).

Por otro lado, sus desventajas sería que es más lento que el tratamiento aeróbico, es decir, requiere un mayor tiempo de contacto o retención hidráulica, así como más tiempo de aclimatación, lo que impide el tratamiento de grandes volúmenes de aguas servidas (Rossi, 2010).

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando éstas tienen una alta carga orgánica, se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno(Fernández-Alba et al., 2006).

El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogás”, formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (40-20%) y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada (5-10%) se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al 50-70% de un proceso aerobio. Sin

embargo, la lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos(Fernández-Alba et al., 2006).

Durante el arranque y operación de los reactores anaerobios se recomienda el seguimiento de algunos parámetros fisicoquímicos y el uso de algunas herramientas que permitan evaluar su desempeño(Torres and Perez, 2010).

Según (Arango and Sanches, 2009)Algunas ventajas del proceso anaerobio son :

- Producción de metano, gas combustible utilizado como fuente de energía
- Menor consumo de energía comparado con los tratamientos aeróbicos, resultando en costos operacionales más reducidos.
- La fracción de materia orgánica convertida en células bacterianas es relativamente baja (cerca de 10%) en relación al tratamiento aerobio (cerca de 50%). Esto significa que la cantidad de fango biológico formado es menor, resultando en menores problemas de disposición de los mismos.
- Las unidades de tratamiento son cerradas evitando la generación de olores
- Tolerancia a elevadas cargas orgánicas

El agua residual doméstica puede ser tratada de una forma eficiente a través de procesos biológicos como los anaerobios, principalmente en países de clima tropical donde las condiciones de temperatura (mayor a 20 °C) son favorables para el adecuado desarrollo de los procesos anaerobios(Edith et al., 2010). Recientes desarrollos en los procesos de tratamiento anaerobios, han demostrado que los reactores con biopelículas anaerobias desarrolladas en soportes de origen natural o sintético han sido usados con éxito para el tratamiento de agua residual de rastro obteniendo altas eficiencias de remoción de la DQO empleando altas velocidades de carga orgánica, con un tiempo de arranque rápido (Maldonado, 2009).

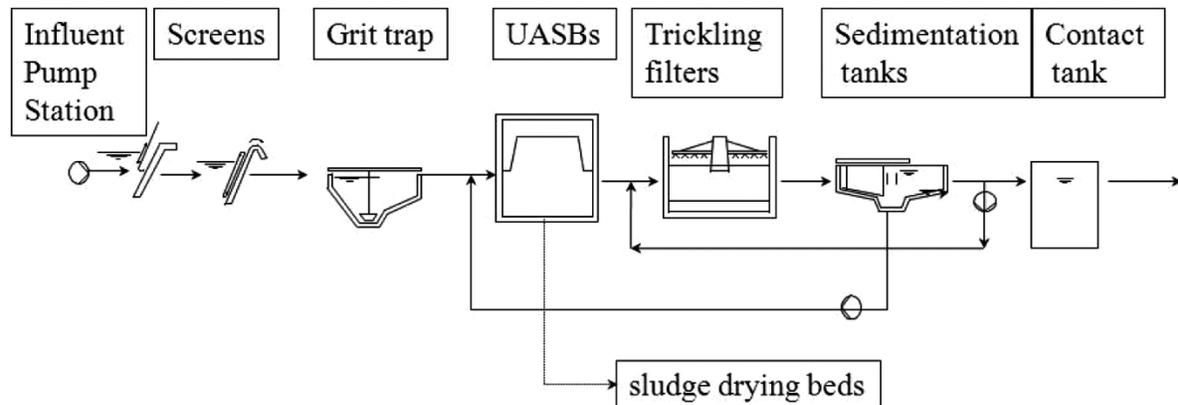
Estudios experimentales se evalúan como un método de tratamiento para los influentes industriales en los tratamientos biológicos de las aguas residuales. Los

tratamientos son desechos de bacterias que implican una estabilización de residuos por descomposición en ellos son inofensivos sólidos orgánicos, ya sean por procesos aeróbicos y anaeróbicos. (Durai and Rajasimman, 2011).

En el proceso aeróbicos de la tasa de descomposición es más rápido que el proceso anaeróbico y no está acompañada por olores desagradables, mientras que en el proceso anaeróbico se requiere una detención de un periodo y da olores muy desagradables (Durai and Rajasimman, 2011).

Estudios experimentales indicaron que en el flujo ascendente anaerobio que consto de una operación y el mantenimiento es de un 30 a 60% más bajo el costo de operación que otros sistemas que podamos encontrar, pero principalmente debido a los requisitos de baja energía (Nada et al., 2011).

Nada T. et al. / Desalinización y Tratamiento de Agua



La calidad del efluente del proceso anaerobio es en general peor que la del proceso aerobio. Sin embargo, es posible combinar el proceso anaerobio con un pos tratamiento aerobio, o con lagunas de estabilización o humedales artificiales, para conseguir una mejor calidad del efluente(Escalas, 2006).

El concepto UASB (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente y Manto de Lodos) aparece entonces como una opción viable para el tratamiento de efluentes orgánicos líquidos. El mismo fue desarrollado en los años 70 por Lettinga y

colaboradores y es ahora aplicado mundialmente para el tratamiento de efluentes cloacales en países de clima tropical (Lorenzo and Obaya, 2006).

Reactor anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente (Upflow anaerobic sludge blanket, UASB, por sus siglas en Inglés) exhibió un mejor rendimiento para el tratamiento de la alta resistencia de las aguas residuales, eficazmente en una comparación con el reactor convencional. Por lo tanto el proceso aeróbico y anaeróbico se emplean para el tratamiento de aguas residuales (Durai and Rajasimman, 2011).

Este reactor permite tratar aguas residuales a temperatura ambiente, para temperaturas del agua residual de 15°C o más. Esto incluye durante todo el año las regiones de clima tropical y subtropical, como el sureste mexicano o la mayor parte de Colombia. Según la misma referencia, para temperaturas del afluente de 12-15°C, también es factible el tratamiento anaerobio de aguas residuales municipales, sin calentamiento, aunque se requiere más investigación para optimizar el proceso (Escalas, 2006).

De acuerdo al estudio comparativo, que los resultados de toxicidad han demostrado una relación directa con los de metanización, que cuando el microtoxicity aumento a un 73%, el promedio de germinación. Cuando el índice de eficiencia de mecanización que se expresa como el porcentaje de metano promedio en el biogás que se produce se reduce a 0% y el 14,5% respectivamente. (Saddoud et al., 2010)

El tratamiento anaerobio de las aguas residuales son con altas concentraciones de materia orgánica soluble es interesante debido a los altos rendimientos de producción de metano y el potencial de producción de energía neta. Sin embargo también, los procesos anaerobios convencionales se limitan por bajos rangos de remoción de materia orgánica, largos Tiempos de Retención Hidráulica (TRH), acumulación excesiva de materia orgánica residual y productos intermedios y requerimiento de un volumen grande de reactor (Maldonado, 2009).

La digestión anaerobia es un proceso bioquímico en el cual un grupo de diferentes tipos de microorganismos, en ausencia de oxígeno molecular, promueve la transformación de compuestos orgánicos complejos (carbohidratos, proteínas y lípidos) en productos más simples, como metano, gas carbónico, gas sulfhídrico y amonio. Los microorganismos que participan en la digestión anaerobia actúan por medio de reacciones específicas secuenciales, las cuales cuentan con bacterias especializadas en cada una de ellas (Torres and Perez, 2010)

2.7.3.3. Biorreactores de membrana

Biorreactor de Membrana (MBR) se puede definir como la combinación de dos procesos; degradación biológica y separación por membrana, en uno único en el que los sólidos en suspensión y microorganismos responsables de la biodegradación son separados del agua tratada mediante una unidad de filtración por membrana. Por lo tanto, se distinguen dos partes principales:

- Unidad biológica responsable de la degradación de los compuestos orgánicos
- Módulo de filtración encargado de llevar a cabo la separación física del licor mezcla (Yacutec).

Los diseños con membranas sumergidas, al no tener que recircular grandes volúmenes de agua, consumen menos energía que los diseños con recirculación, sin embargo estos son menos complejos de funcionamiento y pueden presentar ventajas en el tratamiento de aguas residuales a alta temperatura, altos valores de pH, alta carga orgánica y alta toxicidad (Fernández-Alba et al., 2006).

El agua residual es tratada biológicamente aeróbica anóxica, tanques y permeados que se extraen a través de las membranas y se descarga a la filtración con el carbón y su desinfección del sistema mediante la luz ultravioleta (UV). Para

la reducción de la demanda de energía, la aireación es aplicada de manera intermitente en las zonas aeróbicas (Hastuti et al., 2011).

En el proceso de MBR nos indica que se reduce un 82-92% de la materia orgánica utilizando la Demanda Química de Oxígeno (DBO) y un 95% de los sólidos es una suspensión total de (TSS), mientras que en el proceso de fangos activados nos reduce un 54-70 de la materia orgánica (DQO) y un 32-43 de (SST) (Gámez et al., 2009). En la evolución de un arranque de un filtro anaerobio, el acondicionamiento químico índice de tapón (IB) entro a un rango adecuado (0.20-0.30) el reactor alcanzo una eficiencia de reducción de DQO y SST superiores a 77 y 76 % respectivamente(Pérez et al., 2009)

Los MBR se utilizan en el tratamiento de aguas residuales industriales, urbanas y municipales con características especiales. Estos reactores pueden proporcionar un agua de calidad suficiente para cumplir los límites de vertido o bien ser apta para un tratamiento posterior que permita su reutilización(Fernández-Alba et al., 2006)

2.8. COMBINACIÓN DE MÉTODO DE TRATAMIENTO

Método de tratamiento físico-químico

En el tratamiento físico-químico se basa en la coagulación y floculación, para eliminar sólidos suspendidos y coloides, tanto orgánicos como inorgánicos de las aguas residuales. La desestabilización de coloides por la adición de coagulantes (como cloruro férrico) conduce a la aglomeración de la materia particulada. La floculación puede mejorarse por adición de polímeros orgánicos o minerales. La separación del lodo químico producido por la coagulación floculación del agua tratada es tratada por sedimentación. Dicho tratamiento conduce a una

producción del 80 al 90 % de SST y del 70 al 80 % de la DQO y DBO5, además del fósforo, aunque la materia soluble no es removida (Diaz, 2010).

Los procesos fisicoquímicos del tipo coagulación – floculación se utilizan para la remoción de partículas suspendidas y coloidales y uno sus parámetros operacionales más importante es la turbiedad o la absorbancia, que mide de manera indirecta la concentración de partículas (Morales et al., 2009).

Los tratamientos secundarios físico-químicos, el proceso más extendido es la floculación-decantación. Es una operación por la que se intenta provocar la sedimentación de los sólidos en suspensión más difícilmente decantables, y la precipitación de partículas coloidales. Para ello se realiza un proceso de coagulación floculación mediante la adición de coagulantes químicos (cal, sales de hierro y aluminio o polielectrolitos diversos). Tras este tratamiento los sólidos en suspensión y los coloides (hasta 1 μ m) se aglomeran en partículas, llamadas flocúlos, que sedimentan en decantadores (Picazo, 1995).

En el tratamiento físico-químico para la descontaminación de las aguas residuales es muy eficaz desde el punto de vista industrial, dado que: a) el efluente del líquido a tratar contiene material contaminante, como material soluble o insoluble químicamente, en forma dispersa o coloidal, por lo que puede ser coagulado y floculado, b) no reaccionan con los reactivos (usados en la coagulación/floculación), solubilizando a estos (efectos quelante o complejante sobre los coagulantes usados para el tratamiento de aguas), c) se dispone un sistema de separación sólido-líquido adecuado y efectivo a nivel industrial como la flotación por aire disuelto, d) se eliminan los contaminantes en forma de sólidos orgánicos e inorgánicos disueltos, usando tecnologías de membrana u osmosis inversa (Salas, 2003).

En lo general se ve el tratamiento de combinación físico-químico:

- Los rendimientos obtenidos son de 70% en la disminución de DQO y DBOS.
- El rendimiento de remoción de tinte es de 90%.
- La reacción de coagulación-floculación muestra poca dependencia de la temperatura en el rango estudiado de 20 a 50 °C, que cubren el intervalo en las descargas de plantas.
- Las condiciones de reacción fijadas a favorecen la flotación de sólido líquido.

2.9. REMOCIÓN DE METALES PESADOS

Los metales pesados son contaminantes medio ambientales comunes que se producen como resultados de actividad industrial, comercial y domésticas (Lara, 1999). Se considera que los contaminantes del agua con metales pesados que se han ido incrementando en los últimos 50 años, principalmente como consecuencias de las actividades industriales, afectando a los ecosistemas en general. Entre los metales y metaloides reglamentados por las legislaciones internacionales debido a su grado de toxicidad se encuentran: Arsénico, Cadmio, Plomo, Cromo, Níquel, entre otros (Magdalena, 2008).

La presencia de metales pesados en las aguas residuales industriales y municipales exigen un tratamiento efectivo de las mismas para su uso posterior o bien para un confiable desecho a corrientes y cuerpos de agua. Los metales pesados en las aguas de los desechos (Proal et al., 1997).

En algunos metales como son el arsénico, cobalto, germanio, níquel, rubidio y uranio juegan un papel muy importante en la vida de muchos organismos, no obstante que algunos metales son esenciales para la vida, pero con un exceso de esto puede ser de gran amenaza para la salud humana y para el medio ambiente (Soto et al., 2004).

La remoción de contaminantes de las aguas residuales producidas por actividades agrícolas e industriales, con el fin de estimular al sector industrial a

invertir en tecnologías de tratamiento, que permitan no sólo cumplir con la norma y el ahorro en el pago de multas a la autoridad ambiental, sino también hacer un ciclo de reciclaje de agua de proceso, lo que trae consigo una disminución en los costos de servicios industriales. Toda esta problemática se ha generado a la concepción de una legislación cada vez más estricta en materia (Restrepo et al., 2008).

Lo que ha conducido a la implementación de diversos métodos para la remoción de contaminantes presentes en sus aguas residuales, sin que se logre, en la mayoría de los casos, una solución adecuada al problema debido a que los contaminantes suelen ser recalcitrantes y no biodegradables, a los altos consumos de reactivos químicos y/o energía necesarios, a la formación de subproductos peligrosos, al cambio de fase del contaminante sin su destrucción completa y la selectividad por algunos contaminantes, dejando intacta la estructura química de algunos de ellos; en consecuencia, se hace necesaria la búsqueda de métodos de remoción de compuestos químicos que no presenten estos inconvenientes y que permitan que las aguas contaminadas pueden restaurarse a una condición de reuso, para lo cual es necesario identificar cuál ha sido el daño y que posibilite dar al agua el tratamiento adecuado para la eliminación de cada una de las características no deseadas según el destino que se pretenda darle (Restrepo et al., 2008).

El problema en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos –de hecho ocurre lo contrario- sino a que de los tres es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo. Valdría la pena estar conscientes de este hecho y no tener la impresión que es el plomo el único contaminante que nos preocupa (Valdez, 1999).

2.9.1. El Plomo (Pb)

El plomo está ampliamente distribuido en el entorno, en forma natural y como consecuencia de su empleo industrial. Con el menor uso de gasolina con plomo en los últimos 20 años, ha disminuido las concentraciones de ese metal en la sangre de los seres humanos. Las fuentes principales de exposición ambiental al plomo y al agua potable; casi todos los casos de intoxicación franca por este metal son consecuencias de exposición ambiental o industrias (Klaassen, 2004).

También se utiliza en la fabricación de baterías, pinturas, como aislante de radiaciones ionizantes y en formulaciones de pesticidas. El Pb^{2+} forma complejos con nitratos, cloruros, cianuros, y con ácidos como el acético, los orgánicos hidroxilados y el tiosulfúrico. Además, forma sales moderadamente solubles con cloruro, bromuro, yoduro, fluoruro, sulfato y carbonato (Marin, 2000).

Prácticamente no existe en las aguas naturales superficiales, pudiendo detectarse su presencia en aguas subterráneas que proceden de suelos que contengan el mineral galeno. Su presencia en aguas superficiales generalmente proviene es consecuencia de vertidos industriales. El aumento de sales de plomo en el agua puede producir envenenamiento crónico o agudo (Orellana, 2003).

El plomo es un metal gris-azulado que se encuentra naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre, por lo que está ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte de este metal proviene de actividades como la minería, la manufactura industrial y la quema de combustibles fósiles (Román, 2007).

El plomo existe naturalmente en la corteza terrestre, de donde es extraído y 2 procesado para usos diversos. Cuando el plomo es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular. Se sospecha que es tóxico para los sistemas endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, y gastrointestinal además de poder afectar la piel y los riñones. El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua y en los hogares (Valdez, 1999).

La exposición al plomo tienen como origen las pilas y baterías, cemento Portland, el polvo de algunas industrias, tuberías o soldaduras de estas, equipamiento para granjas elementos de joyería y cosméticos, etc. Las principales fuentes industriales de plomo incluyen las plantas de fundición, de reciclaje de baterías y de pinturas para barcos y puentes. La contaminación antropogenica de plomo es mucho más significativa que la natural (Tenorio, 2006).

Según (Valdez, 1999) nos explica que la exposición al plomo, aún a niveles bajos, afecta a niños y a adultos. En cantidades muy pequeñas, el plomo interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos. En casos extremos causa convulsiones, colapsos e incluso la muerte.

TABLA 1. Efectos del plomo en la sangre en la salud de los niños.

Síntomas	Nivel de plomo en la sangre
Parto prematuro, bajo peso al nacer, problemas de desarrollo y aprendizaje	10 a 15 µg/dL
Cocientes intelectuales (IQ) reducidos	25 µg/dL
Reflejos más lentos	30 µg/dL
Menos glóbulos rojos en la sangre	40 µg/dL
Problemas nerviosos, anemia, cólicos	70 µg/dL
Problemas estomacales y renales	90 µg/dL
Problemas cerebrales	100 µg/dL
Estos efectos sobre la salud empiezan a los niveles indicados pero no todos los niños los sufren (Valdez, 1999).	

2.9.2. El Arsénico (As)

El arsénico está presente en la tierra, agua y aire, como un toxico frecuentemente en el entorno. El agua de pozos en algunas regiones de

Argentina, Chile y Taiwán poseen concentraciones especialmente altas de arsénico, lo cual contribuye a la frecuencia de las intoxicaciones. También está en concentraciones altas en el agua en diversas regiones de las zonas occidentales de Estados Unidos (Klaassen, 2004).

El arsénico es un elemento natural ampliamente distribuido en la corteza terrestre. En el ambiente, se combina con oxígeno, cloro y azufre para formar compuestos inorgánicos de arsénico. El arsénico en animales y en plantas se combina con carbono e hidrógeno para formar compuestos orgánicos de arsénico (Román, 2007).

Impureza en muchos minerales (cobre, plomo, zinc y cobalto) accede a las aguas por disolución de sus sales y de sus complejos orgánicos procedentes de emisiones volcánicas o de vertidos industriales metalúrgicos, de insecticidas o de refinado de metales. La concentración de As en aguas naturales suelen ser <10 µg/L, pero en aguas subterráneas contaminadas pueden llegar hasta algunos mg/L (Marin, 2000).

El arsénico es un metaloide que se encuentra en forma natural en el planeta tierra y es usado comercial e industrialmente en la elaboración de diferentes productos, tales como aditivo para preservar madera y alimentos. A mayores concentraciones también es utilizado para la elaboración de plaguicidas. Las concentraciones de As en aguas naturales usualmente son menores de 10 µg/L. Sin embargo, en zonas mineras pueden encontrarse concentraciones entre 0,2 y 1 g/L. o también suele encontrarse en pequeñas cantidades salvo alguna excepción y se aumenta cuando existen vertidos de residuos industriales o por arrastre con aguas de lluvia del arseniato de plomo que se usa en desinfección de árboles frutales(Orellana, 2003).

Las tecnologías para la remoción de arsénico se basan en uno proceso fisicoquímico o en la combinación de varios. Los métodos más conocidos de tratamiento de agua para remover arsénico se clasifican en a)Procesos de

coagulación y precipitación, b) Intercambio iónico, c) Adsorción en lechos granulares de materiales que retienen arsénico, y d) Otros procesos.

El arsénico es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel. La intoxicación crónica por arsénico puede manifestarse por la aparición de llagas y un aspecto leproso. Inhalar arsénico aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65 miligramos suele provocar una muerte violenta. Los síntomas de la intoxicación por arsénico incluyen la fatiga, los dolores musculares, la pérdida del cabello, el zumbido de los oídos, la cicatrización difícil, la depresión, la laxitud, las alucinaciones visuales y la disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos. La intoxicación crónica puede causar la muerte (Valdez, 1999).

2.9.3. El Cadmio (Cd)

El cadmio ocupa un sitio muy cercano al del plomo y el mercurio como metal de gran interés toxicológico. En el medio natural se le encuentra junto con el zinc y el plomo y, de este modo, la extracción y procesamiento de estos dos metales ocasionando una contaminación ambiental por cadmio (Klaassen, 2004).

El cadmio es una sustancia natural en la corteza terrestre, generalmente se encuentra como mineral combinado con otras sustancias tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio), o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). Todo tipo de terrenos y rocas, incluso minerales de carbón y abonos minerales, contienen algo de cadmio; éste no se oxida fácilmente y tiene muchos usos incluyendo baterías, pigmentos, revestimientos para metales y plásticos (Román, 2007).

El Cd es un metal que experimenta fenómenos de bio-acumulación en el organismo de manera similar a la que se comentará en su momento para el mercurio. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. En concreto, el Cd es fácilmente adsorbido por las raíces de los vegetales (especialmente arroz

y trigo) regados con aguas contaminadas por el elemento, ingresando subsiguientemente en el ser humano mediante ingesta de estos vegetales o de alimentos contaminados, o bien directamente mediante el consumo de agua de bebida rica en Cd (Marin, 2000).

El cuerpo humano no necesita cadmio en ninguna forma. El cadmio es dañino en dosis muy pequeñas. El envenenamiento por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías y retraso en la habilidad verbal de los niños (Valdez, 1999).

El cadmio es persistente en el ambiente y si es absorbido por el organismo humano puede provocar defunción renal, enfermedades pulmonares incluido el cáncer, osteoporosis, proteinuria, glucosuria, aminoaciduria, anemia, enfisema, piedra renal etc (Tenorio, 2006).

El cadmio está presente en suelos contaminados, en algunas tuberías antiguas, en algunas pinturas (sobre todo de color rojo, amarillo y naranja) y en algunos plásticos. El cadmio puede ser adquirido por comer polvo contaminado, por el uso de utensilios de plástico en la alimentación, por inhalar humo de tabaco y por ingerir agua contaminada (Valdez, 1999).

Según (Soto et al., 2004) el problema de la escasez de aguas en cantidad y calidad es una preocupación mundial. Alrededor de 1,200 millones de personas todavía no tienen acceso al agua potable y 2,400 millones no tienen servicios de sanitarios adecuados. Cada año mueren cerca de 2 millones de niños a causa de enfermedades ocasionadas por el agua. En los países más pobres, cada uno de cinco niños de edad, principalmente por enfermedades infecciosas relacionadas con el agua, producidas como consecuencia de la insuficiencia de esta, tanto en cantidad como en calidad.

2.10. EL AGROECOSISTEMA FORRAJERO. EL CASO DE MAÍZ.

2.10.1. El uso del maíz

En los años 80's del siglo pasado, el maíz ocupó el tercer lugar mundial alimentario, con una producción anual superior a 500 millones de toneladas. A principios de este siglo el maíz ocupó el primer lugar en la producción mundial (wong et al., 2007).

En todas las parte el uso del maíz se utilizan como : el grano en la alimentación humana que son (tortillas, tostadas, atole, tamales, ponteduro, totopos, pinole, pozole, arepas, bollos, chicha, mote, confite, kcancha), los tallos para el jugo azucarado, tallos secos para cercas y como combustible, los olotes y las raíces, los hongos de la mazorca del maíz en alimentación (*Ustilago maydis*), las hojas del tallo y de la mazorca para envolver tamales, entre los usos más comunes. Es importante destacar que el maíz en la actualidad se consume en todo el mundo de diversas formas, como verdura, como elote, el grano seco en diferentes modalidades; sin embargo, en los países desarrollados el maíz es un componente importante de muchos alimentos, bebidas y productos industriales. Se ha calculado que en los supermercados modernos, cerca de 2,500 productos contienen maíz en alguna forma (Perales and Hugo, 2009).

En el maíz se utiliza en muchos productos alimenticios y en muchas regiones del mundo forman parte muy importante en la dieta alimenticia de sus poblaciones y en unas de las más importantes fuentes de alimento para el ganado. En adición a esto, el maíz está involucrado en muchos usos industriales, desde la producción de polímeros, almidón, combustible y lubricantes (Lopez, 2006).

2.10.2. Rentabilidad.

La reducción de costos de de inversión por compra de semillas, es una estrategia sustentable que impactaría a la producción del maíz (grano, forraje) y de manera definitiva incrementaría los emergentes de ganancia para el productor (Gutierrez et al., 2004).

2.10.3. El uso del agua en el maíz forrajero.

El uso de agua de baja calidad para el riego de los cultivos de alimentos es una opción importante para garantizar la productividad de los cultivos en regiones secas, aliviar la escasez de agua y reciclar los nutrientes, sino que requiere de la evaluación de los efectos adversos en la salud y el medio ambiente (Styczen et al., 2012).

El uso de las aguas residuales domésticas con fertilizantes ha demostrado la mejora de las propiedades fisicoquímicas de los el suelo, rendimiento de los cultivos y también en el estado de nutrientes en comparación con la del resultado de la aplicación de las aguas subterráneas con fertilizantes. El riego con aguas residuales domésticas solicitado una temporada no tenía significativo aparte de los efectos, ligeros cambios en la solubilidad de la sal y la alcalinidad en un suelo de arcilla con aguas de riego servida (Singh et al., 2012).

El uso de las aguas residuales, en comparación con el tratamiento de aguas subterráneas. La acumulación de Pb, Mn, Ni, Co, Cu y Zn disminuye con la profundidad del suelo. Las aguas residuales tratadas no mostró ningún efecto sobre el aumento de Fe, Cd, Ni, Cu y Zn durante la estación de crecimiento (Abedi-Koupai et al., 2008) .

El uso de aguas grises para la irrigación de cultivos de alimentos representa un posible uso beneficioso de las aguas grises que pueden contribuir a suministro de alimentos de los hogares y la generación de ingresos informal. Por lo tanto, siempre se toman precauciones con respecto a la acumulación de sales y metales, aguas grises ofrece una fuente potencial de agua para el riego de cultivos domésticos que, además, se muestran algunas propiedades de fertilizantes (Rodda et al., 2011).

De acuerdo a (Haering et al., 2009) la EPA de los EE.UU. (2004) ha establecido directrices para alentar a los estados a desarrollar sus propios reglamentos. El propósito principal de las directrices federales y las regulaciones

del estado es proteger la salud humana y calidad del agua. Para reducir los riesgos de enfermedades a niveles aceptables, el agua reciclada debe cumplir con ciertas normas de desinfección, ya sea reduciendo las concentraciones de los constituyentes que pueden afectar a la salud pública y / o limitar el contacto humano con el agua regenerada.

La EPA de los EE.UU. (2004) recomienda que las aguas destinadas para su reutilización debieran:

- Ser tratado de alcanzar la demanda bioquímica de oxígeno y el total de los niveles de sólidos suspendidos de <30 mg / L, durante tratamiento secundario o terciario.
- Recibir desinfección adicional mediante tales como desinfección con cloro u otros desinfectantes químicos, UV radiación, ozonización, y la membrana de procesamiento.

La cultivos son maíz (*Zea mays* L. subsp. *Mays*), la soja [*Glycine max* (L.) Merr], bermuda [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.], y el centeno (*Secale cereale* L.). En años recientes, sin embargo, niveles elevados de nitratos tienen han encontrado en las aguas de Wakulla Springs State Parque al sur de Tallahassee, que es uno de los más grandes y más profundos manantiales de agua dulce en el mundo. Esto tiene aparentemente resultó en un crecimiento excesivo de algas y exóticas especies de plantas acuáticas, provocando la claridad reducida y cambios en el ecosistema de la primavera. Estudios de tienen confirmó que al menos una porción de la nitrato viene desde los campos de regadío de la granja del Sureste, aunque los estudios están en curso. Como resultado de ello, en junio de 2006, en la ciudad de Tallahassee eliminado todo el ganado del sudeste Agrícola, el uso regular de eliminar fertilizante nitrogenado en la finca, e implementó un nutriente completo Plan de gestión para la explotación (Haering et al., 2009).

CONSIDERACIONES

De acuerdo a los artículos científicos me di cuenta que el sistema anaerobio, es una opción más viable para su utilización en los predios ganaderos para la reutilización de las aguas además de los costos de construcción son relativamente bajos para establecer este tipo de tratamiento. Es necesario aplicar este tipo de proceso, que permita ir estableciendo sistemas de tratamiento de aguas residuales que van adecuados a las condiciones, métodos y tecnologías, de acuerdo al tipo de función, tipos de corriente presentes y tipos de residuos que se tengan.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de la información revisada sobre tratamiento de aguas residuales para su uso en el agroecosistema Maíz, se concluye lo siguiente:

1.- De los tres métodos de tratamiento de aguas residuales: Físico, Químico y Biológico, el más eficiente es el biológico

2.- Los estudios reportados por la literatura afirman que el proceso de tratamiento anaerobio de las aguas residuales es el más económico y de menor costo energético.

3.- Dentro de los parámetros de normatividad nacional e internacional, se encuentran los contaminantes químicos, destacándose los metales pesado.

4.- Existe una demanda significativa por cultivos forrajeros en los cuáles, se podrían aplicar las aguas tratadas y reducir el abatimiento de los mantos acuíferos.

5.- El consumo de agua para la producción lechera en México fue de $2,382 \text{ m}^3 \text{ Ton}^{-1}$

6.- El consumo de agua en la producción de maíz forrajero resultó ser de $1,744 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$

LITERATURA CITADA

- Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M., Bagheri, M.R., 2008, Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, 1-10.
- Arango, B.O., Sanches, S.L., 2009, Tratamiento de aguas residuales de la industria lactea en sistemas anaerobios tipo uasb. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 7, 1-9.
- Arthurson, V., 2008, Proper Sanitization of Sewage Sludge: a Critical Issue for a Sustainable Society. . American Society for Microbiology., 5267-5275.
- Blazquez, P., Montero, M.C., 2010, Reutilizacion de agua en bahia blanca plata 3era cuenca. fecha de consulta: 23 de junio del 2012. disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/agua_reutilizacion.pdf
- Camara, L.D., Hernandez, M., Paz, L., 2006. Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias.
- Campos, M.E., Gomez, H., Marcel, A., 2009, Tratamiento de aguas residuales mediante irradiacion gamma. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal 11.
- Castro, E.M.L., Flores, M.A., 1990, Evaluación de riesgos para la salud por el uso de las aguas residuales en agricultura. fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/repind53/rem/rem.html>.
- Cerro, C.M., 2005, Tratamiento estandares de aguas residuales.fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en: <http://www.olivacordobesa.es/TRATAMIENTO%20ESTANDAR%20AGUAS%20RESIDUALES.pdf>.
- CNA, 2011, Agua en el mundo In: CONAGUA (Ed.) Estadísticas del agua en México.México, D.F., pp. 169-180.
- Conagua, 2008, Plantas de tratamiento de aguas residuales 2008. fecha de consulta:29 de noviembre del 2012. disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=2&mapa=3>.
- Conagua, 2010, Atlas digital del agua méxico 2010. fecha de consulta. 30 de noviembre del 2012. disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=4&mapa=0>
- Conapo, 2004, secretaria de medio ambiente y recursos naturales. fecha de consulta: 22 de myo del 2012. disponible en: <http://www.conapo.gob.mx/micros/infavance/2005/N05.pdf>.
- cuba, T.f., 2004, Tratamiento de aguas residuales. Asociacion nacional de empresa de servicio de agua potable y alcanarillado. 17, 1-155.
- Cyted, 2006, Indicadores de contaminantes fecal en agua. consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en: http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf
- CYted., 2006, La adsorcion de micropoluentes organicos sobre el carbon activo en el tratamiento del agua potable. fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012.

- disponible
en:http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_06.pdf.
- chang, J., 2007, Evaluación de impactos ambientales del sistema de tratamiento de aguas residuales de la urbanización “valle alto ii”, aplicando modelo de simulación para las descargas del efluente. fecha de consulta. 15 de julio del 2011. disponible en:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/208/1/330.pdf>.
- Chavez, R.J.A., 2009. Evaluacion de la eficacia de un reactor anaerobio de flujo ascendente en el tratamiento de agua residual. Universidad autonoma de chapingo, Bermejillo, durango.
- Diaz, R.P., 2010. Estimación de la fracción fácilmente biodegradable de la demanda química de oxígeno en aguas residuales municipales por el método de desconvolución de espectros. Universidad autonoma de san luis potosi., san luis potosi.
- Durai, G., Rajasimman, M., 2011, Biological treatment of tannery wastewater-a review. journal of environmental science and technology. 4, 1-17.
- Edith, B.L., Torres, P., Rodriguez, V.J.A., Fernando, M.L., Alexander, P.C., 2010, Influencia de la incorporación de lixiviados sobre la biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales domésticas. Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. 30, 75-79.
- Edward, R.B., Hardenberg., 1987, Tratamiento de aguas residuales capitulo IV. fecha de cosulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en:http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/oropeza_b_vm/capitulo4.pdf.
- Escalas, C.A., 2006, Tecnologías y usos de las aguas residuales en México. fecha de cosulta:29 de mayo del 2012. disponible en:
<http://www.docstoc.com/docs/37877175/Tecnologas-y-usos-de-las-aguas-residuales-en-M%C3%A9xico>.
- ESPE, 2012, Flotacion. fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en:<http://procesosbio.wikispaces.com/Flotaci%C3%B3n>.
- Fernández-Alba, A.R., Letón, G., P., Rosal, G.R., Dorado, V.M., Villar, F.S., Sanz, G.J.M., 2006, Tratamientos avanzados de agusa residuales industriales. vigilancia tecnologica. 1, 1-137.
- Gámez, S.L., Martí, C.R., Salazar, R., 2009, Tratamiento de aguas residuales textiles mediante un biorreactor de membrana. Revistas científicas de américa latina. 26, 83-99.
- Garza, A.V., 2000., Reuso agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, (Chih., México). En el Valle de Juárez y su impacto en la salud publica. fecha de consulta: 21 de mayo del 2012. disponible en:http://www.respyn.uanl.mx/i/3/ensayos/aguas_residuales.html.
- Gutierrez, R.E., Espinoza, B.A., Palomo, G.A., Lozano, G.J.J., Antuna, G.O., 2004, Aptitud combinatoria de hibridos de maiz para la comarca lagunera. revista fitotecnica mexicana. 27, 1-7.
- Haering, K.C., Evanylo, G.K., Benham, B., Goatley, M., 2009, Water Reuse: Using Reclaimed Water for Irrigation. fecha de cosulta: 26 de enero del 2013. disponible en:<http://www.dropbox.com/s/3wp8d3zku1bileu/mono%20agua3.pdf>.

- Hastuti, E., Medawaty, I., Pamekas, R., 2011, Application of domestic wastewater treatment using fixed bed biofilm and membran bioreactor for water reuse in urban housing area. journal of applied sciences in environmental sanitation. 6.
- Haydee, S.V.M., 2007. diseño del proceso e implementacion de una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel labotratorio, proveniente de la linea de produccion quimico para la lavanderia de una planta industrial. Universidad de san carlos de Guatemala., Guatemala.
- Hierro, G.J., 2003, Los lodos de depuración de aguas residuales urbanas. fecha de consulta:4 de diciembre del 2012. disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Blogues_Tematicos/Educacion_Y_Participacion_Ambiental/Educacion_Ambiental/Educam/Educam_IV/MAU_RU_y_A/rua17.pdf.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., 2006, Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resour Manage 1, 1-14.
- Kelly, R.A., 2002, Tratamiento de aguas residuales en latinoamérica. Agua latinoamericana. 1, 1-4.
- Klaassen, C.D., 2004, Metales pesados y sus antagonistas. fecha de cosulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en:<http://biblioms.dyndns.org/Libros/Medicina/Goodman%20&%20Gilman/Capitulo%2066.pdf>.
- Kurimexicana, 2011, Tratamiento de efluentes industriales parte III. fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en:http://www.kurimexicana.com/pdf/aqualog_oct11.pdf. .
- Lara, B.J.A., 1999. Depuracion de aguas residuales municipales con humedales artificiales. . Universidad politecnica de cataluña., Barcelona.
- Leon, S.G., 2004, Tratamiento de aguas residuales; objetivos y seleccion de tecnologias en funcion al tipo de reuso.fecha de consulta:30 de noviembre del 2012. disponible en:<http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon3.pdf>
- Lincoln, R.J., Boxhall, G.A., Clark, P.F., 1995, Diccionario de ecología, evolución y taonomía. Fomdo de Cultura Económico. México.
- Lopez, L.M., 2006. Comportamiento de generaciones avanzadas F1,F2 Y F3 de hibridos no convencionales de maíz. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro "Unidad Laguna", Torreon, coahuila, México.
- Lopez, M.H.M., 2003. Evaluacion de las condiciones fisicas y de operación en las lagunas de estabilización de la colonia militar de jutiapa. . Universidad de san carlos de Guatemala.. Guatemala.
- Lorenzo, Y., Obaya, M.C., 2006, La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generealidades ICIDCA. Sobre derivados de la caña de azucar. . Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. XL, 13-21.
- Magdalena, A.D., 2008. Remocion de metales pesados, cadmio y niquel, en modelos de soluciones acuosas, por la tecnica de aglomeracion esfericas. Instituto Politecnico Nacional., Victoria de Durango.

- Maldonado, C.A., 2009. Tratamiento de agua residual del rastro, mediante biopelículas anaerobias desarrolladas en *Opuntia imbricata* Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, coahuila
- Marin, G.R., 2000, características físicas, químicas y biológicas de las aguas. fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en:http://api.eoi.es/api_v_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf
- Martin, S.S., 2002, densidad. fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en:<http://es.scribd.com/doc/7571666/2-Densidad>. Mc Graw Hill 1era edición, México.
- Metcalf, E., 1985, Caracterización de las aguas residuales urbanas de uso doméstico. fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en:<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/spa/doc9629/doc9629-c.pdf>
- Miel, M.V., Chapa, L.M., Carrera, M.S., Mendieta, M.M., Cisneros, B.J., 2005, Tratamiento terciario de aguas residuales por filtración e intercambio iónico. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- Miranda, J., 2004, Tratamiento analítico de las aguas servidas. fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en:<http://cabierta.uchile.cl/revista/6/aguas.htm>.
- Morales-Hernandez, J., 2011, Agricultura sustentable y agroecológica. En : la agroecología. en la construcción de alternativas hacia la sustentabilidad rural 79-108, Ed. Morales Hernandez, J. ITESO-siglo XXI. Mexico. .
- Morales, A.F.D., Mendez, N.R., Tamayo, D.M., 2009, tratamientos de aguas residuales de rastro mediante semillas de *Moringa oleifera* lam como coagulante. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal 10, 523-529.
- Muños, H.I., 2009. Respuesta agronomica y calidad bromatologica de 18 híbridos de maíz, (*zea mays* L.) del ciclo intermedio para producción de forraje en la comarca lagunera. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro "Unidad Laguna", Torreon, coahuila.
- Nada, T., Moawad, A., El-Gohary, F.A., Farid, M.N., 2011, Full-scale municipal wastewater treatment by up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) in Egypt. *Desalination and Water Treatment*. 1, 134-145.
- NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales. fecha de consulta: 22 de mayo del 2012. disponible en:<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd38/Mexico/NOM001ECOL.pdf>
- NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. fecha de consulta: 22 de mayo del 2012. disponible en :<http://www.aquascalientes.gob.mx/ima/Leyes/pdfs/NOM-002.pdf>.
- Orellana, J.A., 2003, Características del agua potable. fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en:http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf.

- Perales, R., Hugo, R., 2009, Maíz, riqueza de México. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal 1, 46-55.
- Pérez, V.A., Torres, L.P., Silva, L.J., 2009, tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. optimización de variables ambientales y operacionales. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. 76, 139-148.
- Picazo, J., 1995, Aguas residuales en la industria agro alimentaria: caracterización y sistemas de tratamiento y depuración. fecha de consulta: 23 de junio del 2012. disponible en: <http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-03.pdf>.
- Proal, N.J.B., Martinez, T.L., Muller, M., 1997, Estudio sobre el tratamiento de aguas residuales industriales altamente concentradas en metales pesados bajo aglomeracion esferica. journal of the mexican chemical society. 41, 51-56.
- Restrepo, G.M., Rios, L.A., Marin, J.M., Montoya, J.F., Velasquez, J.A., 2008, Evaluacion del tratamiento fotocatalitico de aguas residuales industriales empleando energia solar. Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal 75, 145-153.
- Rodda, N., Salukazana, L., Jackson, S.A.F., Smith, M.T., 2011, Use of domestic greywater for small-scale irrigation of food crops: Effects on plants and soil. Physics and Chemistry of the Earth, 1051-1062.
- Rodriguez, R.E., 2009, Microbiologia de las aguas residuales, aplicacion de biosolidos en suelo. fecha de consulta: 21 de junio del 2012. disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/sem_fi_qui_micrb_09/biosolidos_en_suelo.pdf.
- Román, M.G.J., 2007, Diagnostico sobre la generacion de residuos electronicos en mexico. Instituto nacional de ecologia, 1-121.
- Romero-Aguilar, M., Colin-Cruz, A., Sánchez- Salinas, E., Ortiz-Hernández, M.L., 2009, Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Rev. Int. Contam. Ambient. 25, 157-167.
- Romero, M., 2002, Tratamiento utilizados en potabilizacion de agua. fecha de consulta: 4 de diciembre del 2012. disponible en: http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_08_ING02.pdf. Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar.
- Rossi, G.M.G., 2010, Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el peru. fonam 1, 1-37.
- Saddoud, A., Abdelkafi, S., Alovi, F., Sayadi, S., 2010, A comparative study of the industrial discharges effect on the anaerobic treatment of domestic wastewater in both experimental and pilot-plant scales. Environmental Technology 31, 1325-1333.
- Salas, C.G., 2003, Tratamiento físico-Químico de aguas residuales de la industria textil. Rev. per. quim. 5.
- Sánchez, G.J.J., 2011, Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México. 1 1, 1-98.

- Sanchez, L.E., 2004, programa de acciones de saneamiento en curso de tratamiento de aguas residuales municipales. Instituto mexicano del agua potable.
- Sarria, V.M., Parra, S., Rincón, A.G., Torres, R.A., Pulgarín, C., 2005, Nuevos sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales y de bebida. *rev. colombiana*. 34, 161-173.
- Serrano, E.L., 1997, Las aguas residuales y su tratamiento., Vol 1000 México, 1-247 pp.
- Singh, P.K., Deshbhratar, P.B., Ramteke, D.S., 2012, Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Physics and Chemistry of the Earth* 36, 1-12.
- Soto, R.J., Lozano, R.T., Barbarin, C.J.M., Alcalá, R.M., 2004, Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos. *ingeniería* 7, 46-51.
- Styczen, M., Poulsen, R.N., Falk, A.K., Jorgensen, G.H., 2012, Management model for decision support when applying low quality water in irrigation. *Agricultural Water Management* 98, 372-481.
- Tenorio, R.G., 2006. Caracterización de la absorción de cromo con hueso de aceituna. Universidad de Granada.,
- Torres, L.P., 2010, Impacto de la incorporación de lixiviados en el arranque de reactores anaerobios al tratar aguas residuales domésticas. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* 14, 113-326.
- Torres, L.P., Perez, A., 2010, Actividad metanogénica específica: una herramienta de control y optimización de sistema de tratamiento anaerobio de aguas residuales. . *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* 9, 5-14.
- Trinidad, G.E., 2006. cuantificación de bacterias nitrificantes, fijadoras de nitrógeno y heterótrofas de humedales artificiales sub-superficiales para tratamiento de aguas residuales. Universidad de Pamplona., Pamplona.
- Valarezo, G.N.A., 2010, efecto de la concentración de la biomasa y la presencia de aceites vegetales, aceites vegetales quemados, sales e hidrocarburos en los lodos activados. fecha de consulta: 4 de diciembre del 2012. disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1115/1/95221.pdf>.
- Valdez, P.F., 1999, La contaminación de metales pesados en Torreón Coahuila. Fecha de consulta: 2 de junio del 2012. Disponible en: <http://www.texascenter.org/publications/torreon.pdf>.
- Valencia, M.G., 2001, Características de las aguas residuales y lodos. fecha de consulta: 16 de mayo del 2012. disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>.
- Vega, M.R., 2004, tratamiento de aguas residuales. fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en: <http://es.scribd.com/doc/47025289/25/Uso-de-organismos-indicadores->.
- wong, R.R., Gutierrez, d.R.E., Palomo, G.A., Rodrigues, H.S., Cordova, O.H., Espinoza, B.A., Lozana, G.J.J., 2007, Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. . *Rev. Fitotec. Mex.* 30, 181 – 189.

Yacutec, Biorreactor de membranas (MBR). fecha de consulta: 5 de diciembre del 2012. disponible en:http://www.yacutec.com/tecnologias-depuracion/tecnologias-depuracion_biorreactor-de-membrana.asp.