

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS



“COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA TRATADORA GÓMEZ PALACIO, DURANGO”

TESIS QUE PRESENTA:

María Guadalupe Rodríguez Herrera

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA MÉXICO

JUNIO 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS



TESIS

"COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA TRATADORA GÓMEZ PALACIO, DURANGO"

POR:

MARÍA GUADALUPE RODRÍGUEZ HERRERA

ASESOR PRINCIPAL

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser "JL Reyes Carrillo", escrita sobre una línea horizontal.

DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DEL 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

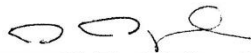
TEMA:

“COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA TRATADORA GÓMEZ PALACIO, DURANGO”

TESIS DEL C. **MARÍA GUADALUPE RODRÍGUEZ HERRERA** QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

PRESIDENTE:




DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

VOCAL:



ING. RUBÉN MUÑOZ SOTO

VOCAL:



M.C. CINTHYA DINORAH RUEDAS ALBA

VOCAL SUPLENTE:



DR. MARIO GARCÍA CARRILLO



DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMOS

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
Coordinación de la División de Agronómicas



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DEL 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TEMA:

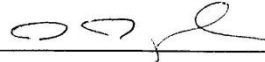
“COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA TRATADORA GÓMEZ PALACIO, DURANGO”

TESIS DEL C. **MARÍA GUADALUPE RODRÍGUEZ HERRERA** QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:



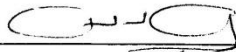
DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

ASESOR:



ING. RUBI MUÑOZ SOTO

ASESOR:



M.C. CINTHYA DINORAH RUEDAS ALBA

ASESOR SUPLENTE:



DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMOS



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICA

Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DEL 2012

AGRADECIMIENTOS:

A MI ALMA TERRA MATER: Por haberme brindado la oportunidad de ejercer mis estudios y convertirme en una persona capaz y profesional.

A MIS PROFESORES: al Dr. José Luis Reyes Carrillo, Ing. Rubí Muñoz Soto, Ing. Elba Margarita, Ing. Cinthya Dinorah Ruedas Alba por tener el don de la paciencia para transmitirnos su sabiduría, por la motivación que nos dieron durante la carrera para demostrarnos que todo nuestras metas las podemos alcanzar y sobre todo el apoyo para la realización y elaboración de este proyecto de tesis.

A la empresa operadora que realiza el proceso de tratamiento de tecnología en Sistemas Ambientales S.A. de C.V., la cual me proporciono la información y recopilación de datos para poder llevar a cabo con éxito y fundamento mi tesis.

DEDICATORIA

A DIOS: Por darme la sabiduría, la perseverancia y fortaleza para alcanzar mis objetivos en la vida. Por siempre estar a mi lado, guiarme en las decisiones y direcciones correctas para elegir un buen camino.

A MI FAMILIA: A mis hermanos, Rubén, More, Tili y Ale y a mis padres; Ma.Isabel y Rubén Marino por haberme brindado el apoyo económico, pero sobre todo moral e incondicional durante toda mi carrera y mi vida.

Al Ing. Axel Arturo Romero Mendoza: Por estar conmigo en todo momento, motivándome a cumplir mis sueños.

A Mis amigos: Ing. Gerardo Alberto López Leija e Ing. Yazmin Araceli Muñoz Rivera, por hacerme sonreír en los malos momentos y disfrutar junto a ellos los buenos, por su apoyo incondicional.

A Juan Francisco Gámez Aguilar por haberme brindado tantos momentos de alegría, y aunque ya estés en el cielo siempre vas a estar en mi corazón.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS:	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
1. OBJETIVO GENERAL.....	3
2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
HIPOTESIS	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
1. FORMACIÓN DEL AGUA.....	5
1.1. Estructura molecular	5
2. EL AGUA	5
3. PARAMETROS FÍSICOS DEL AGUA	6
3.1. COLOR	6
3.2. OLOR Y SABOR	7
3.3. TURBIDEZ.....	7
3.4. CONDUCTIVIDAD Y RESISTIVIDAD	7
4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	8
4.1. PH.....	8
4.2. DUREZA	8
4.3. ALCALINIDAD Y ACIDEZ.....	9
4.4. SÓLIDOS DISUELTOS	9
4.4.1. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	10
4.4.2. METALES	10
4.4.2.1. METALES NO TÓXICOS.....	10
4.4.2.2. METALES TÓXICOS.....	10
5. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	11
6. IMPORTANCIA DEL AGUA.....	11
7. EL AGUA EN EL MUNDO.....	12

7.1.	EL AGUA EN MÉXICO.....	12
8.	USOS DEL AGUA.....	13
8.1.	AGUA PARA USO DOMESTICO.....	13
8.2.	AGUA PARA USO INDUSTRIAL.....	13
8.3.	AGUA PARA USO AGRÍCOLA.....	14
9.	DEMANDAS DE AGUA.....	14
9.1.	USOS CONSUNTIVOS.....	14
9.2.	USOS NO CONSUNTIVOS.....	15
9.3.	PÉRDIDAS.....	15
10.	ESCACES DEL AGUA.....	15
11.	CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	16
12.	NORMATIVIDAD AMBIENTAL EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES.....	17
12.1.	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996.....	17
12.2.	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996.....	17
12.3.	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997.....	18
12.4.	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002.....	18
13.	AGUA RESIDUAL.....	18
14.	AGENTES FISICOS.....	19
14.1.	OLOR.....	19
14.2.	COLOR.....	19
14.3.	TURBIDEZ.....	20
14.4.	TEMPERATURA.....	20
14.5.	SOLIDOS SUSPENDIDOS.....	20
14.6.	CALOR.....	21
14.7.	RADIOACTIVIDAD.....	21
15.	AGENTES QUÍMICOS.....	22
15.1.	MATERIA ORGANICA.....	22
15.2.	pH.....	22
15.3.	OXÍGENO DISUELTO.....	23
15.4.	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅).....	23
15.5.	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO).....	23

15.6.	SUSTANCIAS TÓXICAS.....	24
15.7.	METALES PESADOS.....	24
15.8.	NUTRIENTES	25
16.	GRASAS Y ACEITES.....	25
17.	AGENTES MICROBIOLÓGICOS	26
17.1.	BACTERIAS	26
17.2.	HONGOS, MOHOS Y LEVADURAS.....	28
17.3.	ALGAS	29
17.4.	VIRUS	29
18.	REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	30
19.	PLANTAS TRATADORAS DE AGUAS RESIDUALES	31
19.1.	TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES.....	32
19.1.1.	LAGUNAS ANAEROBIAS.....	33
19.1.2.	LAGUNAS FACULTATIVAS.....	34
19.1.3.	LAGUNAS DE MADURACIÓN.....	34
19.2.	METABOLISMO DE LOS MICROORGANISMOS	35
20.	FACTORES DETERMINANTES EN EL PROCESO	37
20.1.	INTENSIDAD DE LA LUZ SOLAR.....	37
20.2.	VIENTO.....	38
20.3.	NUBOSIDAD	38
20.4.	PRECIPITACIÓN PLUVIAL	38
20.5.	INFILTRACIÓN Y EVAPORACIÓN.....	39
20.6.	TEMPERATURA.....	39
20.7.	MATERIAL DISUELTO SUSPENDIDO	40
	MATERIALES Y MÉTODOS	41
	LOCALIZACIÓN	41
	SUPERFICIE.....	41
	CONSTITUYENTES DE LA PLANTA	42
	SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	42
	AGUA TRATADA.....	43
	PROCEDIMIENTO DE LA PLANTA.....	44
	SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	44

1. Rejilla de cribado.....	44
2. Canales Desarenadores.....	44
3. Cárcamo de Bombeo.....	45
4. Caja de distribución.....	45
5. Laguna Anaerobia.....	45
6. Lagunas Facultativas.....	46
7. Lagunas de Maduración.....	47
8. Caja de salida.....	48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
CONCLUSIÓN.....	65
LITERATURA CITADA.....	66

RESUMEN

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en la planta tratadora de aguas residuales en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio Durango, México. El objetivo de este trabajo fué de determinar el buen funcionamiento de la planta, se utilizaron las variables proporcionadas de influente y efluente del 2010 de pH, conductividad eléctrica (CE), grasas y aceites, nitrógeno total, Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sulfatos (S). Se utilizó el programa computacional IBM SPSS V19 para determinar como medidas de dispersión de datos, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. De igual forma, se determinó el valor máximo, el valor mínimo y el rango de variación. Con la información procesada de la forma anterior, se procedió a construir figuras de cada variable que mostrasen las diferencias en cada estación, y en los diversos tiempos establecidos (Mensualmente), Finalmente con los resultados obtenidos se determinó que la planta de Lagunas de oxidación cumple con los parámetros estipulados en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996.

Palabras Clave: Coeficiente de Varianza, Tratamiento de Aguas Residuales, Lagunas de oxidación, DBO₅, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996.

INTRODUCCIÓN

Globalmente, más de 1 mil millones personas carecen el acceso a un abastecimiento de agua seguro, y más de 2.4 mil millones personas carecen el acceso al tratamiento de aguas residuales apropiado. Esta situación lleva a los brotes repetidos de enfermedades evitables. En 2005 en México, solamente 28.2% de aguas residuales municipales recibieron cualquier clase de tratamiento(Anda, 2008). Es por ello que en los últimos años se ha despertado la conciencia respecto al control y corrección de la contaminación (Bautisa, 2003), el cual es un problema que se ha venido agravando con el tiempo y que debe ser atendido de manera eficaz. El tratamiento de las aguas residuales, es decir, aquellas cuyas características han sido modificadas por diversos usos, es una manera de controlar la contaminación de los cuerpos de agua donde estas son descargadas, con la finalidad de remover de estas la mayor cantidad de residuos que pueden causar contaminación; así como también eliminar los microorganismos que pueden causar problemas de salud pública y producir un agua que pueda ser dispuesta o reutilizada según la normativa ambiental vigente(Cárdenas *et al.*, 2005). La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (SEMARNAT, 2011c).

Un método para el tratamiento de las aguas residuales, sencillo, eficiente y que permite manejar grandes volúmenes de agua es el de las lagunas de estabilización. (Cárdenas *et al.*, 2005) las cuales son una alternativa de bajo costo para el tratamiento de corrientes de residuos, pero requieren vastas extensiones de terreno. Las aguas de alcantarillado también pueden ser aplicadas al terreno y utilizadas como una fuente de agua para los cultivos agrícolas (Reynolds, 2002).

Debido a la vasta extensión de terreno puesta en práctica de las depuradoras de aguas residuales ha sido hasta ahora un desafío para la mayoría de los ciudades,

los recursos económicos, la voluntad política, la fuerza institucional y cultural son elementos importantes que definen la trayectoria del control de la contaminación en muchas ciudades (Sperling y C., 2005) y la solución a la crisis no puede limitarse a la explotación creciente del acuífero y a la importancia de agua de cuencas cada vez más lejanas, sino que requiere un uso más eficiente y un manejo más racional del recurso (Haydea, 2001).

OBJETIVO

1. OBJETIVO GENERAL

Determinar y Evaluar la eficiencia y comportamiento de la planta tratadora de aguas residuales por el método de lagunas de oxidación de Gómez Palacio Durango, comparando los resultados de flujo de entrada y de salida, cerciorando que cumplan con los límites máximos permisibles establecidos en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 (riego agrícola directo).

2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Evaluar el sistema de lagunas de oxidación para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Gómez Palacio, Durango, teniendo en cuenta: parámetros de afluente del agua residual y efluente del agua tratada, durante el año 2010.

Realizar análisis estadísticos del historial de parámetros durante el año 2010: pH, Conductividad Eléctrica, Grasas y Aceites, Nitrógeno Total, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Sulfatos.

Comprobar la eficiencia del método de lagunas de oxidación y el cumplimiento normativo por parte de la Tratadora de Aguas Residuales de Gómez Palacio, Dgo, para el tratamiento de aguas residuales para riego agrícola verificando los parámetros de flujo de salida con respecto a la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Riego agrícola directo).

HIPOTESIS

La planta tratadora de aguas residuales de lagunas de oxidación de Gómez Palacio Durango es eficiente, la cual cumple con la normatividad estipulada en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. FORMACIÓN DEL AGUA

La aparición del agua en el planeta tanto por causas volcánicas como por causas estelares fue el requisito esencial para que se originara la vida (Fotúrbel y C.Molina., 2004). Hoy sabemos que los elementos que forman la molécula de agua, H₂O, surgieron en distintas épocas de esa historia. El hidrógeno se formó bastante al comienzo, después del big bang (15. 000 millones de años atrás), con el helio y el tritio, pero el oxígeno no requirió mucho tiempo. Después de la formación del carbono mediante la unión, también improbable, de otro núcleo de helio, se formó el elemento oxígeno y posteriormente otros elementos más pesados(Pontón, 2008).

1.1. Estructura molecular

Está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). En la molécula de agua, ambos átomos de hidrógeno se localizan en el mismo lado del átomo de oxígeno, formando un ángulo de 105. Los átomos de hidrogeno tienen carga positiva mientras que el átomo de oxígeno tiene carga negativa. Dada la distribución de las cargas, la molécula de agua es una molécula fuertemente dipolar que atrae a otras moléculas de agua y forma agregados a través de uniones conocidas como puentes de hidrógeno. Los puentes de hidrogeno son los responsables de las propiedades que posee esta sustancia y que la hacen única (CNA, 1996b).

2. EL AGUA

El agua pura es un líquido incoloro, inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A una presión atmosférica de 760 mm de mercurio, el punto de congelación del agua es de 0°C y su punto de ebullición es de 100° C (CIDECALLI, 2006).

Además el agua es prácticamente la única sustancia que, dependiendo de la temperatura ambiente, se encuentra sobre el planeta en tres estados de la materia:

-Sólido (hielo): Las moléculas se encuentran a una distancia entre si mayor que en el líquido, conformando una estructura cristalina poco compacta pero regida que hace que las moléculas se mantengan en su sitio, así el hielo es menos denso que el agua y flota.

-Líquido: Las moléculas se encuentran comprimidas, y tienen la menor separación cuando la temperatura es de 4 ° C.

-Gaseoso: Presenta la mayor separación entre las moléculas y a medida que aumenta la temperatura se van rompiendo los enlaces puente-hidrógeno (PLANETAQUA, 2010).

Los parámetros del agua son características físicas, químicas, biológicas y radiológicas que permiten detectar cual es el grado de contaminación que presenta el agua (CIDECALLI, 2006).

3. PARAMETROS FISÍCOS DEL AGUA

3.1. COLOR

Respecto al color, el agua puede llevar en su seno diversas sustancias que lo pueden alterar. Por ejemplo, un agua natural puede llevar disueltos compuestos orgánicos, como ácidos húmicos y fúlvicos que le imparten una coloración que va desde amarillo a negro. Normalmente, el color verde de algunos reservorios se debe a presencia de sales de calcio o cobre disueltas, aparte de la presencia de ciertos microorganismos; mientras que los compuestos de hierro imparten una coloración al agua, desde amarilla a rojiza, dependiendo de la forma química del compuesto de hierro. El color de una muestra se mide por comparación con disoluciones estándar coloreadas de cloroplatinato de potasio y de cloruro de cobalto. Las medidas se realizan mediante espectrofotometría, y los resultados se expresan en mg de Pt por litro(unidades Hazen) (Doménech y J.Peral., 2006).

3.2. OLOR Y SABOR

Son lo que se denomina propiedades organolépticas o determinables por los sentidos. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es un indicio de que la depuración del efluente no está siendo correcta. Tiene gran importancia en aguas potabilizables, por el rechazo que puede darse en el consumidor al detectar colores, olores o sabores que no asocie con agua pura (Jiménez y A.Barba., 2000).

3.3. TURBIDEZ

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finalmente dividida, organismos planctónicos y microorganismos.

Actualmente la turbidez se mide con un nefelómetro expresando los resultados como; Unidad de Turbidez Nefelométrica (UTN). Las aguas subterráneas suelen tener valores inferiores a 1ppm de sílice, pero las superficiales pueden alcanzar varias decenas. Las aguas con 1 ppm son muy transparentes hasta profundidades de 4 a 5 m. Con 10 ppm, que sería el máximo deseable para una buena operación de los filtros, la transparencia se acerca al metro de profundidad. Por encima de 100 ppm las transparencias están por debajo de los 10 cm y los filtros se obstruyen rápidamente (CIDECALLI, 2006).

3.4. CONDUCTIVIDAD Y RESISTIVIDAD

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad. Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, y en su casi totalidad es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas presentes. La resistividad es la medida recíproca de la conductividad. El aparato utilizado es el

conductivímetro cuyo fundamento es la medida eléctrica de la resistencia de paso de la electricidad entre las dos cargas opuestas de un prisma rectangular comparada con la solución de ClK a la misma temperatura y referida a 20°C (Lapeña, 1990).

La medida de la conductividad es una buena forma de control de calidad de un agua, siempre que:

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
- Las mediciones se realicen a la misma temperatura.
- La composición del agua se mantenga relativamente constante

La unidad estándar de resistencia eléctrica es el ohm y la resistividad de las aguas se expresa convenientemente en megaohm-centímetro. La conductividad se expresa en el valor recíproco, normalmente como microsiemens por centímetro. Para el agua ultrapura los valores respectivos son de 18,24 Mohms y 0,05483 μ/cm a 25 ° C (Lapeña, 1990).

4. CARACTERISTICAS QUIMICAS

4.1. PH

El Ph es el nivel de iones de hidrógeno disueltos en el agua, si el Ph es igual a 7 entonces el agua es neutra, si el Ph es de <7 el agua es ácida y si el Ph es >7 el agua es básica o alcalina (Obregón, 2005).

4.2. DUREZA

Se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales, en particular sales de magnesio y calcio. Son éstas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas (Morán.M. *et al.*, 2008).

Todas las sales incrustantes contienen CALCIO y Magnesio y el contenido total de los mismos constituye la denominada DUREZA TOTAL.

DUREZA TOTAL=DUREZA TEMPORAL+DUREZA PERMANENTE

Según las sales a las que están ligados el calcio y el magnesio, se distinguen dos tipos de dureza:

DUREZA TEMPORAL, o dureza carbónica, llamada así porque desaparece de las aguas por ebullición y está constituida por los bicarbonatos de calcio y magnesio

DUREZA PERMANENTE, la cual persiste aún después de ebullición y está constituida por sulfatos y cloruros de calcio y magnesio (Mayo, 1994).

4.3. ALCALINIDAD Y ACIDEZ

La alcalinidad de un agua es una medida para neutralizar ácidos. En concreto se define la alcalinidad como la cantidad de iones H^+ que hay que añadir a un determinado volumen de agua para que alcance un valor determinado de pH. La alcalinidad se suele expresar en mg/l de $CaCO_3$ y es una medida de la capacidad de un agua para neutralizar ácidos (Roca *et al.*, 1998).

En cuanto al concepto de acidez es el contrario al de alcalinidad. Se trata de la cantidad de iones OH^- que hay que añadir a un determinado volumen de agua para alcanzar un valor determinado de pH. También se distingue en este caso entre acidez pH 4,3 y pH 8,2 (Roca *et al.*, 1998).

4.4. SÓLIDOS DISUELTOS

.Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Corresponde al residuo seco con filtración previa. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico e inorgánico, tanto en aguas subterráneas como en superficiales (Lapeña, 1990).

4.4.1. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Los sólidos en suspensión, SS, es una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser retenidos en un filtro. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, pero en las superficiales varía mucho en función del origen y las circunstancias de la captación (Lapeña, 1990).

Los sólidos totales son la suma de los sólidos disueltos y de los sólidos en suspensión (Lapeña, 1990).

4.4.2. METALES

Los metales son elementos que se encuentran en el agua, los cuales se clasifican, según su efecto sobre el ser humano, en tóxicos y no tóxicos (Gómez, 2000).

4.4.2.1. METALES NO TÓXICOS

Los metales no tóxicos son el sodio, el hierro, el manganeso. Sin embargo, cualquiera de ellos en cantidades excesivas se puede convertir en un elemento tóxico. Por ejemplo, el sodio en exceso causa un sabor amargo en el agua, así como problemas en los riñones y corazón; es corrosivo para superficies metálicas y es tóxico para las plantas. Por otra parte, el hierro y manganeso pueden causar problemas de olor y sabor en el agua (Gómez, 2000).

4.4.2.2. METALES TÓXICOS

Los metales tóxicos más conocidos son el plomo, mercurio, cadmio, arsénico y zinc; que causan problemas a la salud humana aún en cantidades pequeñas. Los metales se concentran en la cadena alimenticia y se biomagnifican al pasar de un nivel trófico a otro (Gómez, 2000).

5. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces. El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también pueden provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia. La calidad y cantidad de microorganismos va acompañado las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica (CNA, 1996b).

6. IMPORTANCIA DEL AGUA

La vida empieza en el agua, la cual es depósito de calor y fuente de frío, transporte de alimentos a cada célula del cuerpo, asciende en las plantas por ósmosis y capilaridad, es un gran conductor de la electricidad y materia prima para la formación de las plantas. Mediante la fotosíntesis la planta utiliza la energía de la luz para formar los azúcares, celulosa y almidones por medio del agua y del anhídrido carbónico. El agua es parte esencial de los seres vivos: hombre, animal y vegetal, cuyos cuerpos se componen de aproximadamente un 72% de agua. La vida ha utilizado el agua como medio de disolución y transporte interno de los elementos y sus combinaciones, necesarias para el desarrollo vital de los organismos. El agua abunda en la tierra, es fundamental en la producción de alimentos, en el crecimiento y vida de las plantas, en el buen vivir del hombre, en la cría de animales, en la industria, en la construcción, en el movimiento y mantenimiento de máquinas, en industria, en la construcción, en el movimiento y mantenimiento de máquinas, en la extinción de incendios, en el control de heladas, y en el aseo en general (Bolívar, 2004).

7. EL AGUA EN EL MUNDO

El agua es el elemento más frecuente en la Tierra (UNESCO, 2003). El 70% de la superficie del mundo está cubierta por agua, sólo el 2.5% del volumen total es agua dulce la cual es un recurso natural único y escaso, esencial para la vida y las actividades productivas, y por tanto directamente relacionado con el crecimiento económico (Brantes *et al.*, 2008)

Mientras que el 97,5% es agua salada, casi el 77% de esa agua dulce está congelada en los casquetes polares y glaciares. Del 23 % restante, la mayor parte (el 22,5%) se presenta como humedad del suelo o se encuentra en profundos acuíferos subterráneos inaccesibles. Menos del 1% de los recursos del agua dulce del mundo está al alcance del consumo humano en ríos y lagos (Pontón, 2008).

7.1. EL AGUA EN MÉXICO

El agua representa para México un elemento indispensable, pero también escaso, cuya falta puede a mediano plazo comprometer de forma muy seria sus posibilidades de desarrollo integral. México es un país árido con una distribución de sus recursos hidráulicos que no corresponde a la localización de los asentamientos humanos dentro del territorio nacional. Debido al crecimiento industrial y demográfico del país, México enfrenta una disminución de la disposición de agua en las zonas más pobladas y una creciente contaminación de los cuerpos hídricos susceptibles de servir como fuente de abastecimiento.

Las principales fuentes de abastecimiento de agua para la industria en México son los ríos, manantiales y el subsuelo. Los sitios con mayor desarrollo también demandan cantidades cada vez mayores de agua; y son los que aportan más contaminantes al descargar sus aguas residuales (municipales e industriales) en los cuerpos receptores, y en muchas ocasiones sin tratamiento alguno.

No hay duda de que las características naturales del territorio se han visto afectadas por el proceso de urbanización que ha vivido el país (Raudel y R.Marqués., 2003) es por ello que la disponibilidad promedio se estimó en 4 547

m³ para el año 2004, cifra que coloca en el noveno lugar de disponibilidad en el contexto internacional, aunque de acuerdo con las categorías establecidas por los organismos internacionales está considerada como un país con baja disponibilidad natural de agua (Guerrero *et al.*, 2009).

8. USOS DEL AGUA

El uso del agua se ha intensificado con el crecimiento de la población y con el incremento de la industrialización. Mientras que en el siglo XX la población mundial se triplicó, el uso del agua se multiplicó por seis (Parra, 2005).

La navegación, la agricultura, la industria, la generación de energía y los usos domésticos han sido en esta fase de la historia humana, las principales actividades económicas que dependen directamente del agua (Toledo, 2002).

8.1. AGUA PARA USO DOMESTICO

El 8% de agua se utiliza para uso doméstico (UNESCO, 2003), esta es la necesaria para satisfacer las necesidades primarias de la población, incluyendo usos residenciales, comercios, instituciones y espacios recreacionales (Raudel y R.Marqués., 2003), la cual contiene materia orgánica, nutrientes, grasas, aceites, detergentes y sólidos suspendidos, debe estar libre de coliformes totales y fecales, con máximo 20 unidades de color en la escala platino cobalto, con olor y sabor agradable, pH de 6.5 a 8.5 y el contenido de metales y otras sustancias no deben exceder los límites marcados en la norma NOM-SSA 1-1994 (CNA, 1996b).

8.2. AGUA PARA USO INDUSTRIAL

La industria consume 22% (UNESCO,2003). El agua residual para industria alimentaria contienen grandes concentraciones de materia orgánica, grasas, aceites, sólidos suspendidos y sustancias alcalinas, al igual que el agua para consumo doméstico, debe estar libre de coliformes totales y fecales, con máximo

20 unidades de color en la escala platino cobalto, con olor y sabor agradable, pH de 6.5 a 8.5 y el contenido de metales y otras sustancias no deben exceder los límites marcados en la norma NOM-127.SSA1-1994. Así mismo, y dependiendo del tipo de industria alimentaria puede requerir condiciones muy especiales como niveles de dureza inferiores a 50mg/L como carbonato de calcio (CaCO_3) (CNA, 1996b).

Del total del consumo industrial, el 50 % se utiliza para enfriamiento, el 35% en procesos; el 5% en calderas y en servicios el 10%. Casi el 80% del consumo de agua de este sector lo realizan solo seis ramas industriales, a saber: azucarera, química, petróleo, celulosa y papel, textil y bebidas (Sancén, 2005).

8.3. AGUA PARA USO AGRÍCOLA

A escala mundial, en la actualidad, 70% del consumo de agua tiene como destino la agricultura no solo porque la superficie irrigada en el mundo se ha quintuplicado, sino porque no se cuenta con sistemas de riego eficientes (UNESCO, 2003).

La agricultura tiene la desventaja relativa de que es un uso consuntivo o final, pero la ventaja de que podría ahorrar hasta la mitad si se utilizara sistemas de riego de bajo consumo (goteo y aspersión localizada) y esto significaría que ni si quiera se extrae el agua de la fuente (Medellín, 2002).

9. DEMANDAS DE AGUA

9.1. USOS CONSUNTIVOS

Es el agua empleada en diversas operaciones pero que no es descargada a los sistemas de drenaje o alcantarillado. Equivale al agua que se pierde por evaporación, por ejemplo, en sistemas de enfriamiento; la que se infiltra al subsuelo, como por riego de jardines; y la que se incorpora a un producto

manufacturado, en el caso de elaboración de comida, hielo, etcétera (Ortiz *et al.*, 2003).

9.2. USOS NO CONSUNTIVOS

Es el agua empleada en operaciones rutinarias, como son: servicios sanitarios, llaves de lavabos y fregaderos, y procesos de lavado, la cual, ya utilizada, se descarga a la red de alcantarillado sanitario o se entrega para ser utilizada en otros procesos (Ortiz *et al.*, 2003).

9.3. PÉRDIDAS

Es el agua que no es aprovechada para algún servicio; por ejemplo; fugas en tuberías y válvulas de la red de distribución y en estructuras tales como cisternas y tanques de almacenamiento; también, las fugas y goteos en muebles sanitarios, medidores, grifos y otros elementos. En esta categoría se puede incluir el desperdicio, caso del agua empleada en exceso(Ortiz *et al.*, 2003)

10. ESCASES DEL AGUA

El agua se ha convertido en un factor limitante del desarrollo y afecta y determina la calidad de vida. Hoy día, 31 países, en su mayoría en África y el Cercano Oriente-enfrentan una situación de tensión hídrica o escasez de agua.

Se estima que el crecimiento demográfico por si solo llevará a que 17 países más, con una población proyectada de 2.100 millones, pasen dentro de los próximos 25 años a la categoría países con escases de agua. Hacia el año 2025, 48 países con más de 2.800 millones de habitantes, 35 % de la población mundial proyectada para 2025-se verá afectada por el estrés hídrico o la escasez de agua. Para 2050, 66 países con dos tercios de la población mundial afrontarán escasez de agua. Porque, aunque el 71 % de la superficie del planeta esté cubierta por el agua, sólo el 0,022 % está disponible para el ser humano. El 97,3 por ciento es

agua salada, de origen marino. Del 2,7 por ciento restante, el 2,08 está atrapado en casquetes polares y glaciares, por lo que sólo el 6,62 por ciento es agua dulce en estado líquido, de la cual el 0,6 por ciento es subterránea y únicamente el 0,022 por ciento restante es fácilmente accesible al consumo humano en los lagos, ríos, lagunas, etc. En proporción, es como si un litro de agua solo pudiéramos disponer una gota. Más allá del impacto del crecimiento mismo de la población, la demanda de agua dulce ha ido aumentando en respuesta al desarrollo industrial, la dependencia creciente en la agricultura de regadío, la urbanización masiva y los niveles de la vida más altos (Zapata, 2002).

11. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Los contaminantes son aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones pueden producir efectos negativos; en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Fuente es cualquier actividad o facilidad (estructura, edificio, embarcación) que pueda generar o esté generando descargas de contaminantes vertidos directa o indirectamente al medio ambiente. Las mismas se dividen en puntuales y no puntuales (Frith y F.Ubiera., 2001).

Las fuentes puntuales son lugares específicos, (Baird, 2001) tales como, desagües de aguas residuales de industrias, plantas de tratamiento de efluentes cloacales, otras cañerías y medios de transporte líquidos, o estructuras de drenaje exteriores, como por ejemplo de efluentes domésticos (Kimball, 2003).

Las fuentes no puntuales, son entidades, (Baird, 2001), difusas, se considera la aplicación de plaguicidas en zonas agrícolas, los canales de drenaje, los sistemas de tuberías para el transporte de hidrocarburos, entre otros. En general se estima que la mayoría de los contaminantes se encuentran en forma líquida y que migran

en fase acuosa interactuando a su paso con las partículas del suelo. Es necesario considerar que parte de algunos compuestos volátiles la migración en forma de vapor es igual o más importante que el desplazamiento en forma líquida. Además existen una gran cantidad de desechos en estado sólido, que al descomponerse e infiltrarse el agua de lluvia a través de ellos, produce lixiviados (Garfias y Weber, 1995).

12. NORMATIVIDAD AMBIENTAL EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la dependencia de gobierno que tiene como propósito fundamental “fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales, y bienes y servicios ambientales con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable (SEMARNAT, 2010).

12.1. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Esta norma tiene el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales (SEMARNAT, 2011a).

12.2. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Esta norma tiene el objeto de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado (SEMARNAT, 2011b).

12.3. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Esta norma tiene el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso. En el caso que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma (SEMARNAT, 2011c).

12.4. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002

Establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en Lodos y Biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y a la salud humana (SEMARNAT, 2011d).

13. AGUA RESIDUAL

Son las aguas de composición variada provenientes de descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios (Unión, 2002), a las que en temporada de lluvia, se agregan las pluviales (Cirelli, 2000), que por su naturaleza no puede utilizarse nuevamente en el proceso que la generó y, al ser

vertida en cuerpos receptores, puede implicar una alteración a los ecosistemas acuáticos o afectar la salud humana (CNA, 1996b).

Las aguas residuales, principalmente las domésticas se pueden subdividir en aguas negras (procedentes de los inodoros, con materia fecal) y aguas grises (procedentes de lavados en general como: cocinas, lavamanos, duchas, contenido de detergentes, restos de alimentos, materia orgánica y otros contaminantes (Rojas, 2004).

14. AGENTES FISICOS

14.1. OLOR

El olor es desagradable ya que este material contiene altos contenidos de productos pútridos. De igual forma durante el proceso de biodegradación se producen gas sulfhídrico, amonio, aminas y diaminas; dichos compuestos son los principales responsables de los olores desagradables.

Generalmente resulta de la presencia de materia orgánica en descomposición o de la reducción de sulfatos por bacterias a gas sulfhídrico. Las aguas residuales recientes tienen un olor característico ligeramente desagradable. La detección de olores y su cuantificación es muy difícil. Las personas tienen diferentes grados de sensibilidad para los olores; además, la exposición continua a un olor tiende a que la sensibilidad disminuya (INDUSTRIAL, 1982).

14.2. COLOR

El color se debe a la presencia de materiales de naturaleza orgánica e inorgánica que contiene el agua. Hay que distinguir entre color verdadero (se debe a los materiales disueltos) y color aparente (se debe a los materiales en suspensión) (Roca *et al.*, 1998).

14.3. TURBIDEZ

Un agua se considera turbia cuando contiene materia coloidal o en suspensión, para el análisis de la turbidez se dispone de dos métodos:

- a) Turbidimetría. En este caso se compara la transmisión de la luz blanca a través de la suspensión respecto a la transmitida en una disolución estándar.
- b) Nefelometría. En este caso se compara la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad dispersada en una disolución de referencia. Este método es el que actualmente se utiliza, se puede realizar en continuo y la medida proporcionada está relacionada con los sólidos en suspensión (Roca *et al.*, 1998).

14.4. TEMPERATURA

La temperatura se mide fácilmente y es muy importante a la hora de evaluar la velocidad de las reacciones bioquímicas de descomposición de la materia orgánica, la solubilidad de los gases o la amplificación de sabores y olores (Roca *et al.*, 1998).

14.5. SÓLIDOS SUSPENDIDOS

La materia en suspensión está compuesta por diversos tipos de sólidos flotantes, sedimentables y coloidales. Además por su composición pueden ser inorgánicos, radioactivos o contribuir al aumento de una sustancia en solución por ejemplo un metal (CNA, 1996b).

El origen de los sólidos suspendidos es muy amplio y diverso, casi todos los usos del agua aportan sólidos suspendidos al agua residual, es decir, las fuentes de sólidos suspendidos pueden ser domésticas, pecuarias, agrícolas e industriales, además de ocurrir en forma natural (CNA, 1996b).

Los efectos de los sólidos suspendidos están asociados al tamaño y a la naturaleza del sólido, pero desde un punto de vista puramente físico, los más notables son el interferir con la penetración de la luz solar (turbiedad) y el azolve de los cuerpos de agua (CNA, 1996b).

14.6. CALOR

El agua tiene una gran capacidad calorífica, es decir, requiere mucho mayor cantidad de energía calorífica para elevar 1°C su temperatura que la requieren otras sustancias. Por esta propiedad es que el agua se utiliza para enfriamiento en muchos procesos industriales y de generación de energía. Una vez que el agua ha enfriado el proceso, y por lo mismo absorbido calor, y es desechada en un cuerpo receptor, le transfiere la energía calorífica a dicho cuerpo aumentando su temperatura. Las industrias termoeléctricas y nucleoelectricas son las principales aportadoras

Un aumento de 10 grados C aumenta a actividad microbiana es decir el oxígeno disuelto se consume dos veces más rápido. Por otra parte, la solubilidad del oxígeno, como la de todos los gases, disminuye en la medida que aumenta y la oferta disminuye, esto lleva a un déficit de oxígeno en el agua y dependiendo de la cantidad de materia orgánica presente se puede llegar a condiciones de septicidad, Con la consecuente generación de metano y ácido sulfhídrico(CNA, 1996b).

14.7. RADIOACTIVIDAD

La radioactividad es la capacidad de ciertos elementos de transmutarse espontáneamente en otros elementos y propagar energía electromagnética y calorífica. El agua en forma natural puede contener niveles bajos de radioactividad, especialmente aguas subterráneas que estén en contacto con

yacimientos de materiales radioactivos. Por otra parte las actividades humanas como la producción de energía eléctrica, el uso de isotopos radioactivos en la medicina y en la industria pueden aportar elementos radioactivos al agua residual.

Los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales pueden remover estos elementos y concentrados en los lodos de desechos, los cuales deben disponerse en confinamientos especiales. Los efectos de la radioactividad en la vida acuática y en la salud humana puede manifestarse como una alteración de la tasa normal de mutación genética y también puede ser una causal de cáncer (CNA, 1996b).

15. AGENTES QUÍMICOS

15.1. MATERIA ORGANICA

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 residuos orgánicos pero puesto que la concentración de los distintos constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho los usos de las aguas, conviene examinar la naturaleza de algunos de aquellos, especialmente agregados al agua superficial (Talarico *et al.*, 2007)

15.2. pH

La concentración del ion hidrogeno es un importante parámetro de la calidad del agua residual, esta con una concentración adversa de iones hidrogeno es difícil de tratar por medios biológicos. El pH es un sistema acuoso puede medirse convenientemente con un pH metro. Del mismo se utilizan distintas soluciones indicadoras que cambian de color con distintos valores de pH (Talarico *et al.*, 2007).

15.3. OXÍGENO DISUELTO

Es la cantidad de oxígeno gaseoso, en forma de O_2 , disuelto en una solución acuosa. Su concentración es inversamente proporcional a la temperatura del agua. Puede expresarse en miligramos por litro de oxígeno disuelto, o porcentualmente en función de la concentración de saturación del agua a la temperatura medida (Frith y F.Ubiera., 2001).

15.4. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

Es una medida indirecta del contenido de materia orgánica (M.O) biodegradable, expresada mediante la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica en una muestra de agua (NATURALES, 2001), para determinar la DBO se diluye la muestra del agua residual y se mezcla con una población mixta de microorganismos. Se mide la concentración de oxígeno disuelto, posteriormente se incuba la muestra a una temperatura ya determinada a un cierto tiempo y nuevamente se calcula la concentración del oxígeno disuelto. Las condiciones de incubación es a 5 días a 20°C (Campos y A.Gómez., 2009).

15.5. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

Ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse en un curso o una masa de agua, captan parte del oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Estas necesidades de O_2 , al margen de todo proceso biológico, se denominan Demanda Química de Oxígeno o DQO. La demanda puede ser muy rápida, como es el caso de los sulfitos en presencia de un catalizador, y entonces recibe el nombre de DIO, demanda inmediata de oxígeno, o más lenta, llamándosele demanda de oxígeno por autooxidación DAO.

La medida de la DQO es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral (hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros) (Calvo, 2002).

15.6. SUSTANCIAS TÓXICAS

Una sustancia tóxica es aquella que al introducirse en un ser vivo le ocasiona la muerte o trastornos graves (CNA, 1996b).

La exposición a sustancias tóxicas presentes en el medio ambiente, en el aire que se respira o en el agua y alimentos ingeridos, pueden causar un riesgo para la salud de los seres humanos. Los efectos negativos de una exposición de este tipo dependerán de la toxicidad de la sustancia, de la dosis, y del tiempo y frecuencia de la exposición (Yarto *et al.*, 2003).

15.7. METALES PESADOS

Los metales pesados, tales como cadmio(Cd), cobre (Cu), cromo(Cr), mercurio([Hg]), níquel([Ni]), plomo(Pb), y zinc (Zn), junto con el arsénico(metaloide), son sustancias bioacumulables y por ello sus efectos se pueden reflejar en el mediano o largo plazo. Su forma tóxica es, generalmente, cuando están ionizados; sin embargo, en ocasiones, al formar complejos se potencia la toxicidad (CNA, 1996a).

Las aguas naturales no contienen cianuro, por lo que su presencia indica contaminación por fuentes industriales, tales como la automotriz, de acabado de metales, química, petrolera, de síntesis de plásticos y del acero (CNA, 1996a).

15.8. NUTRIENTES

Tanto el nitrógeno como el fósforo junto con el carbono, son los nutrientes esenciales para el crecimiento (Talarico *et al.*, 2007).

El nitrógeno se encuentra tanto en los cuerpos de agua como en las descargas, las formas de nitrógeno de mayor interés son, en orden creciente de estado de oxidación: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos.

El nitrógeno amoniacal está presente en forma natural en aguas de desecho. Se produce por la desaminación de compuestos que contienen nitrógeno orgánico y por la hidrólisis de la urea. Los nitritos están presentes en el agua como compuestos intermedios en los procesos de oxidación o reducción. En abastecimientos de agua superficiales, la presencia de trazas de nitritos puede indicar una contaminación ya que es producido por acción bacteriana. El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de los seres vivos ya que es un producto que interviene en la generación de energía a nivel celular. Un exceso de fosforo en cuerpos de agua puede estimular el crecimiento de marco y microorganismos fotosintéticos y provocar eutroficación del cuerpo de agua.

Las diversas formas de fosfatos provienen de diversas fuentes, como son: aguas de retorno agrícola, escurrimientos superficiales, aguas residuales domesticas. De procesos industriales para el control de la corrosión y de incrustaciones, de la fabricación de detergentes y fertilizantes y del procesamiento de alimentos (CNA, 1996a).

16. GRASAS Y ACEITES

La grasa animal y los aceites son ésteres compuestos de alcohol o glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Los ésteres de ácidos grasos, que son líquidos en las temperaturas ordinarias, se llaman aceites, y los que son sólidos se llaman grasas. Ambos químicamente muy semejantes, ya que se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno, en diversas proporciones. Las grasas son de los compuestos

orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por la acción de las bacterias.

Sin embargo, los ácidos minerales y el hidróxido de sodio las atacan, dando como resultado la formación de glicerina y ácido graso o sus sales alcalinas. La técnica analítica de grasas y aceites es el tipo global, ya que detecta todas las sustancias solubles en clorotrifluoretano, que es un solvente no polar. Las principales interferencias se deben a compuestos sulfurados y algunos pigmentos como la clorofila. Este método se aplica, también, para la medición indirecta de hidrocarburos con temperaturas de ebullición superiores a 70 grados C.

Si la grasa no se elimina antes de la descarga del agua residual, puede interferir con la vida biológica acuática y crear películas y materiales en flotación imperceptibles. Los límites de 15 a 20 mg/L de contenido de grasa y la usencia de capas de aceite indiscentes son dos ejemplos de normas establecidas. Las grasas pueden inhibir el tratamiento biológico del agua (Cisneros, 2001).

17. AGENTES MICROBIOLÓGICOS

17.1. BACTERIAS

Son organismos unicelulares móviles o inmóviles de formas diversas (cocos, bacilos, espirilos, filamentosas) y de tamaño y modo de vida diferentes según la especie y el medio.

Se multiplican por división celular y su velocidad de reproducción puede estar condicionada por varias causas, como por ejemplo:

- Naturaleza de la bacteria
- Temperatura ($0^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$).
- Medio
- Disminución de alimentos y del oxígeno disuelto.
- Acumulación de productos metabólicos tóxicos.
- Variaciones del pH al aparecer ácidos, productos amoniacales, etc.

-Competencia vital.

Se pueden clasificar las bacterias de las aguas residuales urbanas según su nutrición, en dos grandes grupos:

- a) Bacterias parásitas. Son las que han tenido como huésped al hombre o a los animales; suelen ser patógenas y producir graves enfermedades (tifus, cólera, disentería, etc.) y en el tratamiento de las aguas residuales son uno de los factores más importantes a tener en cuenta.
- b) Bacterias saprófitas. Son las que se nutren de los sólidos orgánicos residuales y provocan descomposiciones fundamentales en los procesos de depuración.

Según el medio, las bacterias de las aguas residuales urbanas se pueden clasificar en: Aerobias, anaerobias, facultativas y autótrofas.

- a) Bacterias aerobias. Son aquellas que necesitan oxígeno procedente del agua para su alimento y respiración.

El oxígeno disuelto que les sirve de sustento es el oxígeno libre (molecular) del agua, y las descomposiciones y degradaciones que provocan sobre la materia orgánica serán procesos aerobios; estos procesos se caracterizan por falta de malos olores.

- b) Bacterias anaerobias. Son las que consumen oxígeno procedente de los sólidos orgánicos e inorgánicos y la presencia de oxígeno disuelto no les permite subsistir. Los procesos que provocan son anaerobios y se caracterizan por la presencia de malos olores.
- c) Bacterias facultativas. Algunas bacterias aerobias y anaerobias pueden llegar a adaptarse al medio opuesto, es decir, las aerobias a medio sin oxígeno disuelto y las anaerobias a aguas con oxígeno disuelto.
- d) Bacterias autótrofas. Son aquellas que pueden sustentar su protoplasma a partir de sustancias minerales como anhídrido carbónico, sulfatos, fosfatos, carbonatos, etc. Tomando la energía necesaria para su biosíntesis a partir de la luz (bacterias fotosintéticas) o partir de ciertas reacciones químicas (bacterias quimio sintéticas).

A continuación se citan las más importantes dentro de las aguas residuales urbanas según los procesos que en ellas se efectúan:

- a) Bacterias nitrificantes. Son las Nitrobacter y Nitrosomonas, que necesitan como fuente de energía reacciones químicas determinadas, son aerobias. Las primeras oxidan el ácido nitroso y las segundas el amoníaco.
- b) Bacterias ferruginosas y manganosas. Son las que extraen su energía de procesos de oxidación de sales ferrosas o manganosas, y pertenecen a ella los géneros Clonothrix, Leptothrix, etc.
- c) Tiobacterias. Las Thiobacterias, Beggiatoas y otras oxidan el SH_2 , y al agotar el gas oxidan el azufre producido a ácido sulfúrico.
- d) Bacterias oxidantes del hidrógeno. Las Hydrogenomonas oxidan el hidrógeno producido por las bacterias heterótrofas en las fermentaciones de los glúcidos, produciendo agua (Calvo, 2004).

17.2. HONGOS, MOHOS Y LEVADURAS

Pertenecen al grupo de bacterias pero no contienen clorofila y en general son incoloras. Todos estos organismos son heterótrofos y en consecuencia dependen de la materia orgánica para su nutrición.

Del reino animal nos encontramos los siguientes, que tienen importancia significativa:

Protozoarios: de todos los que pueden encontrarse en el agua, el más importante por su toxicidad es la Endamoeba histolytica que produce la disentería amibiana.

Moluscos: son importantes el género de caracoles ya que son huéspedes intermedios de los gusanos de clase Trematoda del grupo Platelmitos.

Antrópodos: los que son importantes son las clases Crustácea, Insecta y Arácnida y desde el punto de vista sanitario del crustáceo del agua Cyclops que es vector del huanzo Nematelmito.

Platelmitos: el más importante es el Equinococcus granulosus que produce la enfermedad llamada hidatidosis.

Helmintos: Se incluyen los anélidos y los traquelmitos que comprenden los rotíferos y los Nematelmintos entre los cuales hay varias especies patógenas para el hombre. *Dracanculus mendinensis*, *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Enterovius vermicularias*, *Necator americanus* y *Ancylostoma duodenale*.

Un gran número de animales o vegetales microscópicos que flotan libremente en el agua y reciben el nombre genérico de plancton, el cual tiene importancia para jugar la calidad sanitaria del agua (Orellana, 2005).

17.3. ALGAS

Las algas es otro grupo fundamental de seres vivos que presentan en las aguas residuales y, por supuesto, en los sistemas de depuración.

Suelen ser plantas microscópicas de los siguientes tipos:

- Planctónicas (dispersas)
- Epifitas (fijas en el fondo de estanques, lagunas, humedales)
- Bénticas (sobre la superficie de los sedimentos)

En las aguas crudas se encuentran las siguientes algas:

- Cianofíceas (algas azules)
- Clorofíceas (algas verdes)
- Crisofíceas (algas marrones)
- Euglenas

Al realizar la fotosíntesis utilizan el sol como fuente de energía, y se desarrollan tomando CO₂ y sales minerales del agua y emitiendo oxígeno.

En los sistemas que se tratan en esta obra son fundamentales, pues constituyen una de las principales fuentes de oxígeno (Calvo, 2004).

17.4. VIRUS

El interés que tiene el conocer la gran variedad de virus que pueden aparecer en las aguas residuales es por su acción nociva como agentes productores de enfermedades (Calvo, 2004).

Los más comunes son los llamados enterovirus, que se desarrollan en el aparato digestivo y son liberados en la materia fecal del huésped. Algunas enfermedades que causa este virus son infecciones en los ojos, gastroenteritis, meningitis, Entre los más importantes figuran el virus de la Polio, virus de Eco y Cox-sackie, adenovirus, reocirus y virus de la hepatitis. Diarrea, fiebre entre otras (Guerrero, 2007).

18. REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

El reuso de aguas residuales está definido como aprovechamiento en actividades diferentes a las cuales fueron originadas y por ende brinda la posibilidad de liberar agua para otros usos o usuarios

Los tipos y aplicaciones se clasifican de acuerdo con el sector o infraestructura que recibe el beneficio, siendo los principales: el urbano, que incluye irrigación de parques públicos, campos de atletismo, áreas residenciales y campos de golf; el industrial, en el que ha sido muy empleado durante los últimos años, especialmente los sistemas de refrigeración de las industrias, y el agrícola, en la irrigación de cultivos (Silva *et al.*, 2008).

	Usos
Municipio	Limpieza de vías y andenes Riego de parques y jardines Refrigeración Fuentes decorativas Sistemas contraincendios Suministros alternativos Agua potable
Agricultura	Riego
Ganadería	Consumo Refrigeración

Paisaje y medio natural	Recuperación de marismas Riego Aguas libres Recuperación de zonas baldías Sistemas contraincendios
Acuicultura	Crecimiento de peces Crecimiento de algas
Caudal ecológico	Ríos y lagos Mantenimiento de marismas
Minería	Arrastres Limpiezas
Recargas de aguas subterráneas	Recarga/almacenamiento

(Manga y N.Logreira, 2001)

El reusó de efluentes tratados se ha incrementado en la agricultura ya que como metas promover la agricultura sostenible, preservar las escasas fuentes de agua y mantener la calidad ambiental. Para el caso de México, este tipo de alternativa parece ser atractiva debido a la unión de dos factores: las regiones áridas donde la producción agrícola depende del riego (Bernal *et al.*, 2002).

19. PLANTAS TRATADORAS DE AGUAS RESIDUALES

En todo proceso productivo se genera un desecho después de obtenido el producto deseado, desecho que debe tratarse de manera tal que su disposición final no afecte al medio ambiente (Yabroudi *et al.*, 2009).

El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública (Reynolds, 2002).

Los municipios tienen la responsabilidad de sanear y tratar las aguas residuales, según se asiente en el artículo 115 de la Constitución mexicana. Como promedio solamente el 10 % de las aguas de alcantarillado recolectadas en Latinoamérica

son sujetas a cualquier tipo de tratamiento. Una evaluación de las plantas de tratamiento de aguas de alcantarillado en México calcula que solamente 5 % de las plantas existentes están siendo operadas de manera satisfactoria (Vega, 2007).

19.1. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

Uno de los factores indispensables para tener una adecuada protección de las fuentes de suministro de agua es contar con tecnologías que provean un tratamiento efectivo y adecuado al agua residual.

Las lagunas se han empleado para tratar aguas residuales desde hace 3,000 años. El primer tanque de estabilización artificial que se construyó fue en Sail Antonio, Texas, en 1901. Para 1975 se encontraban operando 7,000 lagunas en los Estados Unidos y 868 en Canadá durante 1981 (Thirumurthi, 1991). En general, las lagunas son depósitos construidos mediante la excavación y capacitación de la tierra que almacenan agua de cualquier calidad por un período determinado. Las lagunas constituyen un tratamiento alterno interesante ya que permiten un manejo sencillo del agua residual, la recirculación de nutrientes y la producción primaria de alimento en la cadena alimenticia (Oswald, 1995).

De acuerdo con los datos del inventario nacional de plantas, de tratamiento municipales de CNA 1995, existe un total de 1,191 plantas, de las cuales 357 (28%) son lagunas (330 municipales y 27 industriales). Así, éste proceso de tratamiento más utilizado en el país, seguido del de lodos activados, donde se tienen registradas 268 plantas (Agua, 2007).

Las lagunas de estabilización son de estructura sencilla de tierra, abiertos al sol y al aire para que puedan cumplir su misión depuradora.

Se clasifican en:

-Anaerobias

-Facultativas

-Maduración (Villa *et al.*, 2005).

19.1.1. LAGUNAS ANAEROBIAS

Las lagunas anaerobias son profundas y mantienen condiciones anóxicas y anaerobias en todo el espesor de la, misma. Esto es parcialmente cierto ya que en un pequeño estrato superficial se encuentra oxígeno disuelto (menos de 50 cm) dependiendo de la acción del viento, la temperatura y la carga orgánica. En general, la zona superior tiene una influencia insignificante en la dinámica microbiana del medio acuático. Con el tiempo se forman natas por arriba del agua residual lo cual evita la presencia de las algas debido a la ausencia de luz solar e impide la difusión de oxígeno del aire.

Normalmente, el efluente de estas lagunas es descargado a otra unidad para complementar el proceso de tratamiento y oxigenar el efluente. La estabilización de la materia orgánica se realiza mediante un proceso combinado de sedimentación y de conversión biológica de los desechos orgánicos en gases (CH_4 , CO_2 y H_2S), kidos orgánicos y nuevas células.

En las lagunas anaerobias, la degradación se realiza a través de las bacterias formadoras de ácidos orgánicos y de bacterias metanogénicas. Las primeras, convierten los compuestos orgánicos complejos en moléculas sencillas. Estos productos de degradación ácida son sustrato para las bacterias metanogénicas, que convierten el material a metano y dióxido de carbono. En las lagunas anaerobias, por su dimensión no es común recuperar el metano como fuente energética (Agua, 2007).

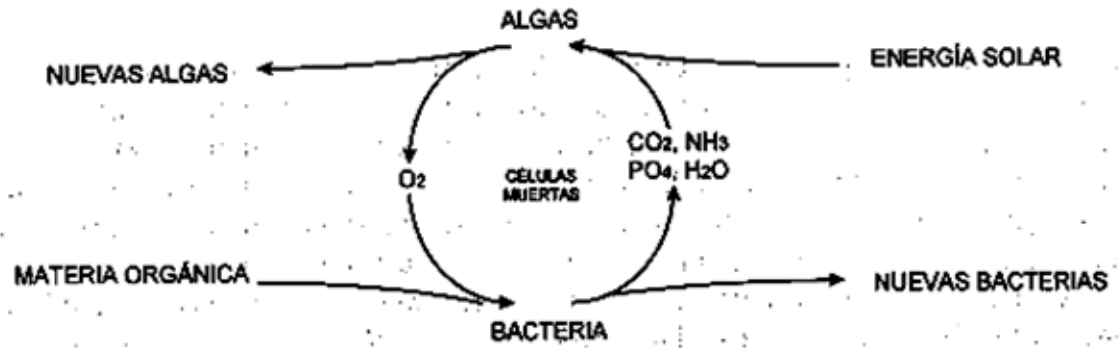
19.1.2. LAGUNAS FACULTATIVAS

En estas lagunas la estabilización se lleva a cabo mediante una combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias. En dichas lagunas existen tres zonas; una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica; una zona, intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas, y una zona, inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por la acción de las bacterias anaerobias. Estas lagunas se alimentan con agua residual procedente de un proceso previo de desbaste o con el efluente de un tratamiento primario (Becerra, 2000).

19.1.3. LAGUNAS DE MADURACIÓN

Las lagunas aerobias o de maduración contienen el agua a depurar en condiciones aerobias en toda la masa. Son de poca profundidad (menos de 1m) y provocan altos rendimientos en la producción de algas (Galvín, 2003).

Los microorganismos se encuentran en suspensión y prevalecen condiciones aerobias. El oxígeno es suministrado en forma natural por la aeración de la superficie artificial o por la fotosíntesis de las algas. La población biológica comprende bacterias y algas principalmente protozoarios y rotíferos, en menor medida. Las bacterias que realizan la conversión de la materia orgánica en las lagunas pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Achromobacter*, *Flavobacteria*, *Nocardia*, *Mycobacteria*, *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. Las algas constituyen la mejor fuente de oxígeno, para mantener las condiciones aerobias y los protozoarios y rotíferos ayudan a mejorar la calidad del efluente al alimentarse de las bacterias. El oxígeno liberado por las algas es utilizado por las bacterias en la degradación de la materia orgánica. El dióxido de carbono y los nutrientes liberados por las bacterias es a su vez, utilizado por las algas para la fotosíntesis (Agua, 2007).



Representación esquemática de la relación simbiótica entre algas y bacterias(Agua, 2007).

19.2. METABOLISMO DE LOS MICROORGANISMOS

El objetivo del tratamiento biológico de las aguas residuales es estabilizar la materia orgánica principalmente soluble coloidal, las bacterias que utilizan las aguas residuales para convertir la materia orgánica coloidal o disuelta contenida en ellas en energía, nuevas Mulas y productos de desecho que puede incluir gases y lodos (Agua, 2007).

Cualquiera que sea su nivel, implican un intercambio continuo de sustancia y de energía.

Los elementos más importantes que intervienen en el intercambio son el hidrogeno, oxígeno, carbono, nitrógeno, fósforo y azufre

La energía para estos procesos puede obtenerse de tres fuentes que a su vez sirven de criterio para clasificar los organismos que participan en cada caso:

- Radiación solar
- Compuestos orgánicos
- Compuestos inorgánicos

En la biosfera la fuente fundamental de energía es la radiación solar. Los organismos foto autótrofos fijan una fracción pequeña de la energía solar mediante la formación de compuestos orgánicos de alto contenido energético (CHO) y produciendo oxígeno. El hidrógeno lo obtienen del agua, el carbono del CO₂ y el fósforo, nitrógeno y azufre de las sales disueltas. La disponibilidad de P y N generalmente es limitada, las restricciones en la disponibilidad de estos dos elementos, constituyen usualmente un factor limitante para la vida de los organismos autótrofos.

Los compuestos de alto contenido de energía sintetizados por los organismos autótrofos para a su vez sintetizar la fuente básica de energía de los heterótrofos para a su vez sintetizar moléculas más complejas, constituyentes de la masa celular, incluyendo las proteínas, la biomasa a su vez como fuente de nutriente y energía (presa) a otros organismos que se alimentan de ella (depredador), y esta última es presa de otro depredador.

Los microorganismos requieren de una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células así como de nutrientes inorgánicos para sus diferentes funciones.

El metabolismo es la combinación de un conjunto de transformaciones bioquímicas necesarias para la síntesis celular (anabolismo) y la producción de energía (catabolismo) que ocurren a través de procesos enzimáticos.

En este tratamiento biológico la energía está presente inicialmente en los compuestos orgánicos carbonosos y nitrosos. Esta se convierte en otras formas con las consecuentes pérdidas de energía. La energía carbonosa es asimilada por los organismos heterótrofos, quienes descomponen los compuestos proteicos en sus constituyentes carbonosos y nitrosos. El amonio obtenido es utilizado a su vez como fuente de energía por las bacterias nitrificantes (Gutiérrez y J.Olmo., 2007).

20. FACTORES DETERMINANTES EN EL PROCESO

20.1. INTENSIDAD DE LA LUZ SOLAR

La luz solar constituye una fuente de energía para algunos de los procesos biológicos de la laguna y determina su estructura térmica. La cantidad de luz se mide como la cantidad de energía que incide en el área donde se lleva a cabo la fotosíntesis. La iluminación que requiere para la actividad biológica de las algas varía de 5 000 a 7 500 luxes. La luz que llega a la laguna es función de la latitud, estación del año, hora del día, condiciones ambientales y tipo de cuerpo de agua.

Aunque toda la luz incide en la superficie solo una parte de ella penetra y otra es reflejada a la atmosfera. La parte que no es reflejada se dispersa en el agua y puede salir nuevamente fuera del agua o ser absorbida, por algún material. Las longitudes de onda grandes (rojo y naranja) son absorbidas después de pasar a través de una pequeña distancia, calentando el agua superficial, mientras que las ondas cortas (verde y azul) penetran hasta las zonas profundas. La penetración de la luz depende de la composición del agua y la cantidad de material suspendido o disuelto en ella.

La luz reduce al 1% de la cantidad total que incide sobre la superficie y alcanzan una profundidad menor a 1m en cuerpos productivos o turbios.

Un cuerpo de agua no debe estar completamente estratificado ya que una alta eficiencia fotosintética sólo ocurre con movimiento del agua y alternando las condiciones de luz y oscuridad. De hecho, se ha comprobado que intervalos cortos de radiación solar son mejores que una exposición prolongada a la misma. En cambio, la luminosidad excesiva conduce a un crecimiento y envejecimiento rápido de algas, disminuyendo la depuración esperada del agua residual.

La fotosíntesis y por tanto, la luz solar son relevantes para las lagunas aerobias y facultativas ya que, la oxigenación suministrada por las algas es mayor que la

aeración natural. La temperatura, no es un factor tan importante como la radiación solar para controlar la productividad de algas (Agua, 2007).

20.2. VIENTO

El viento interviene en el proceso de autodepuración en las lagunas al provocar una mezcla y generar corrientes verticales del agua. Así, el oxígeno disuelto presente en la superficie es llevado a las capas más profundas. También, la dispersión del agua residual y de los microorganismos en toda la laguna ocurre, por el mismo efecto. El viento ayuda al movimiento de las algas, principalmente de aquellas que son consideradas como grandes productoras de oxígeno como son algas verdes del género *Chlorella* (Agua, 2007).

20.3. NUBOSIDAD

Las nubes son un agente importante para la dispersión y reflexión de la energía solar, capaces de reducir la radiación directa en un 80 % a 90%. Esta reducción varía en función de la distribución, tipos de nubes, la cantidad de absorción, la dispersión atmosférica y la distancia efectiva (espesor y contenido atmosférico) (Agua, 2007).

20.4. PRECIPITACIÓN PLUVIAL

Las precipitaciones pluviales tienen una influencia importante en el funcionamiento del proceso. Lluvias aisladas o escasas no provocan efectos significativos en las lagunas. Con lluvia continua el tiempo de retención hidráulica se reduce mientras que lluvias intensas diluyen el contenido de materia orgánica a la laguna y acarrear material orgánico y mineral por medio del escurrimiento (Agua, 2007).

20.5. INFILTRACIÓN Y EVAPORACIÓN

La infiltración y evaporación disminuyen el volumen de agua contenida en una laguna. Ambos factores están íntimamente ligados con las condiciones climáticas y geológicas locales, en especial con la temperatura, el viento, la humedad del aire y el tipo de suelo.

Uno de los factores por cuidar durante la operación es el mantener un nivel constante del líquido y que el espesor del agua sea casi el mismo en cualquier sitio de la laguna. La pérdida de agua provocada por la evaporación, trae como consecuencia la concentración de sustancias contaminantes y aumenta, la salinidad del medio. Ambos efectos resultan perjudiciales para algunos microorganismos y, en consecuencia, para el equilibrio biológico de la laguna (Agua, 2007).

20.6. TEMPERATURA

La temperatura del líquido en la laguna es probablemente uno de los parámetros más importantes en la operación de esta y, por lo general, se encuentra dos o tres grados arriba, la temperatura ambiente.

Como es sabido, la mayoría de las bacterias trabajan en el intervalo de temperatura mesófilo por lo que las altas, temperaturas no son problema. El incremento por arriba de 25°C acelera los procesos de biodegradación. Por el contrario las bajas temperaturas abaten la eficiencia del tratamiento. Cuando la temperatura disminuye presenta una reducción de la población de algas y del metabolismo bacteriano implicando una disminución de la eliminación de la contaminación orgánica y bacteriológica.

La producción óptima de oxígeno se obtiene a los 20°C, los valores límites son 4° y 35°C. en efecto a partir de 3°C la actividad fotosintética de las algas decrece y las algas se toman más sensibles a choques hidráulicos o a rápidos aumentos

en la carga orgánica, lo cual trae como consecuencia una menor eficiencia de la remoción de la DBO. En cuanto a la fermentación anaerobia, esta se origina, después de los 22°C y decrece a casi nada por debajo de los 15°C.

Finalmente la actividad microbiana más intensa a mayores temperaturas ocasiona un incremento en los requerimientos de do oxígeno disuelto y, si no se abastece la cantidad requerida, se pueden propiciar condiciones anaerobias que se caracterizan por la presencia de malos olores y un efluente turbio (Agua, 2007).

20.7. MATERIAL DISUELTO SUSPENDIDO

Los compuestos se pueden encontrar en forma disuelta o suspendida. Las bacterias incorporan las sustancias orgánicas disueltas en sus cuerpos que posteriormente liberan al morir. El material suspendido tiende a sedimentar generando una acumulación en el fondo,, el cual con los movimientos del agua pueden resuspenderse y descomponerse biológicamente al mezclarse (Agua, 2007).

MATERIALES Y METODOS

Se efectuó una visita de reconocimiento a la zona de estudio, para identificar el proceso de tratamiento de aguas residuales por el método de lagunas de oxidación, luego se realizó la revisión de los diferentes procesos del tratamiento a fin de compararlo con lo citado en la literatura.

LOCALIZACIÓN

La Planta Tratadora de Aguas Residuales Norte (PTAR) está ubicada en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio, Dgo. está a 1125 metros de altitud.

SUPERFICIE

La superficie que ocupa la PTAR es de 80 hectáreas.

Capacidad total de la planta es de etapa 1; 500 lps (litros por segundo)

Etapas 2; 650 lps.

PRIMERA ETAPA

Capacidad 500 lps.

Capacidad por modulo 250 lps.



CONSTITUYENTES DE LA PLANTA

La primera etapa tiene una capacidad de 500 lps (litros por segundo), tiene dos módulos de 350 lps, cada uno con:

- 1 laguna anaerobia
- laguna facultativa
- lagunas de maduración
- El gasto medio del diseño es de 500 lps
- Gasto de operación actual es de 450 lps

En la segunda etapa cuenta con una capacidad de 150 lps, con un modulo de 150 lps con:

- 1 laguna anaerobia
- 1 laguna facultativa
- 2 lagunas de maduración
- Tiene un gasto total en la primera y segunda etapa de 650 lps

SISTEMA DE TRATAMIENTO

Tipo de proceso usado es el de procesos lagunares.

Para su operación la planta cuenta con tres elementos básicos:

Un emisor, un sistema de pre tratamiento y un sistema de lagunas.

El emisor es un conducto de concreto de 1.52 mts. De diámetro que transporta todas las aguas residuales de la ciudad hasta la entrada de la planta, tiene 7.00 kms de longitud y corre a un promedio de 4.00 mts. De profundidad. El sistema de pretratamiento esta compuesto por una serie de estructuras que tienen

por finalidad retirar todo tipo de material sólido presente en el agua a la entrada de la planta.

El sistema de lagunas comprende una laguna anaeróbica en la que las bacterias se desarrollan en ausencia de oxígeno, una laguna facultativa, en la que estas adquieren la facultad de desarrollarse en presencia de oxígeno y una de maduración en la que como su nombre lo indica se lleva a cabo la fase final del proceso de tratamiento, la planta esta diseñada para tratar 500 lts/seg, en los dos módulos que actualmente se construyen, pero en el propio diseño está considerada la incorporación de un tercero que aumentara su capacidad hasta 750 lts/seg. Cuando la ciudad así lo requiera. La planta tendrá la capacidad de eliminar el 92 % de los contaminantes del agua residual.

AGUA TRATADA

El agua tratada es usada en riego agrícola de 500 has. Y el precio de venta del agua tratada es de 0.27 \$ m³. Esto en al año 2009.

Uso del agua tratada es para uso de riego agrícola restringido.

Población servida es de 400, 000 habitantes.

La operadora que realiza el proceso de tratamiento es la empresa tecnología en sistemas ambientales S.A. de C.V.

El desarrollo es una modalidad de inversión privada recuperable con financiamiento de BANOBRAS y participación del fondo de inversiones en infraestructura (FINFRA) y CONAGUA (CNA).

PROCEDIMIENTO DE LA PLANTA

SISTEMA DE TRATAMIENTO

1. Rejilla de cribado

La planta cuenta con una rejilla de cribado donde se retienen los sólidos mayores a 1", estas rejillas son manuales.

La limpieza de las rejillas se realiza de manera manual por los operadores cada 12 horas y todos los residuos que se acumulan en esta son colocados en un contenedor para su posterior transporte al relleno sanitario.



2. Canales Desarenadores

Se cuenta con cuatro canales desarenadores, en estos canales se busca bajarle la velocidad al agua por medio de un vertedor tipo sutro, lo cual permite que las arenas se sedimenten, acumulándose en el fondo de los canales. La limpieza de estos canales se realiza de forma manual.



3. Cárcamo de Bombeo

El agua se lleva a la planta por gravedad, pasa por las rejillas y por los canales desarenadores de esta misma forma. Después de pasar por los canales desarenadores el agua llega a un cárcamo de bombeo donde se tiene instaladas 3 bombas sumergibles de 80 HP las cuales pueden mover hasta 300 lps cada una de ellas. Dado que el flujo promedio que se recibe en la planta es de 500 lps máximo se opera con dos bombas y se tiene un stand by.

4. Caja de distribución

Las bombas del cárcamo de bombeo se encargan de llevar el agua hasta la caja de distribución, en esta estructura de concreto dividimos el flujo en dos partes iguales y por medio de dos tubos de 24" llevamos el agua hasta las lagunas de tratamientos.



5. Laguna Anaerobia

Al llegar el agua a la primer laguna de tratamiento se inicia con el tratamiento biológico del agua, esta primer laguna recibe el nombre de Laguna Anaeróbica debido a que los microorganismos que viven en ella y que se encargan de

degradar (oxidar) la materia orgánica no necesitan oxígeno para vivir. Debido a esto esta laguna tiene una profundidad de 3.8 metros siendo la más profunda de la planta, en la parte del fondo de laguna se desarrollan las bacterias anaeróbicas. Esta laguna tiene un color gris oscuro y un olor característico a huevo podrido.

En esta laguna se sedimentará la mayor parte de los sólidos suspendidos sedimentables y se acumularán en el fondo del estanque. Estos sólidos formarán lodos que estarán sujetos a digestión anaeróbica. Además se formará en la superficie del estanque una capa de natas que reducirá la entrada del aire y así del gas oxígeno de la atmósfera, que perjudicaría el proceso anaeróbico.

El agua sedimentada, con algo de los sólidos suspendidos pasa de cada una de estas celdas anaeróbicas, a las correspondientes celdas o estanques facultativos.



6. Lagunas Facultativas

La segunda laguna de tratamiento con la que se cuenta en la planta es la laguna Facultativa, en esta laguna se cuenta con 3 tipos diferentes de microorganismos que siguen degradando la materia orgánica. Es una laguna de 2 metros de profundidad y es la más extensa de la planta tiene 855 metros de largo, en la parte

del fondo de la laguna se encuentran trabajando bacterias Aeróbicas, es decir sin oxígeno para vivir y su función es la misma que las anteriores degradar la materia orgánica y por ultimo en la parte media encontramos bacterias facultativas las cuales como su nombre lo indica tienen la facultad de poder sobre vivir en ambientes sin oxígeno(Anaeróbicos) y ambientes con oxígeno(Aerobios).

En esta misma laguna encontramos también una población muy grande de micro algas las cuales se encuentran suspendidas en la parte superior del agua, estas algas podríamos decir que trabajan de manera coordinada con las bacterias aeróbicas ya que las algas como cualquier planta para desarrollarse necesitan nutrientes, los cuales obtiene de la materia orgánica que las bacterias degradan y además transforma el bióxido de carbono que generan las bacterias Anaeróbicas en oxígeno, todo este oxígeno que producen lo inyectan directamente en el agua y las bacterias Aeróbicas lo aprovechan para poder vivir.



7. Lagunas de Maduración

La planta cuenta con dos lagunas de maduración para cada tren de tratamiento, el objetivo de estas lagunas es trabajar la desinfección del agua, son las lagunas menos profundas de la planta tiene 1.5 metros de profundidad. El objetivo de estas lagunas es bajar la población de coliformes fecales es decir desinfectar el agua.



8. Caja de salida

Es un cárcamo a donde llegan las aguas de la planta después de su tratamiento y en este lugar se cuenta con equipos de bombeo conectados a líneas de conducción para llevar el agua a los lugares donde será usada.



Se recolectó la información primaria como son los datos de los parámetros de afluente y efluente del agua residual a través de la bitácora e historial de parámetros de entrada y salida de aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas.

1. DISEÑO EXPERIMENTAL

En esta investigación, se formularon hipótesis estadísticas, teniendo en cuenta el Parámetros recolectados de afluentes y efluentes.

Caso 1:

H0: El método de lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas residuales para uso de riego Agrícola no favorecen la remoción de contaminantes y parámetros estudiados.

H1: El método de lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas residuales para uso de riego Agrícola si favorecen la remoción de contaminantes y parámetros estudiados.

.

Caso 2:

H0: El tratamiento de aguas residuales por lagunas de oxidación para uso de riego agrícola cumple con la normatividad vigente.

H1: El tratamiento de aguas residuales por lagunas de oxidación para uso de riego agrícola no cumple con la normatividad vigente.

2. VARIABLES

Variable dependiente: La variable respuesta fue la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

VARIABLES INDEPENDIENTES: pH, Conductividad Eléctrica, Grasas y Aceites, Nitrógeno Total, Sólidos Suspendidos Totales y Sulfatos.

3. DISEÑO DEL MUESTREO

3.1 Caracterización fisicoquímica.

De acuerdo a la visita de reconocimiento a la zona de estudio, se determinó tomar los promedios mensuales de parámetros generales muestreados durante el año 2010 generales, en los cuales se ubicaron 2 estaciones: Entrada (Afluente), salida (Efluente).

4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se aplicaron estimadores estadísticos de tendencia central y dispersión, para las variables fisicoquímicas (Parámetros Generales). Para el cálculo de concentraciones promedias mensuales y anual del año 2010, se utilizó la media aritmética ponderada y en algunos casos se aplicó la media geométrica.

Para cada variable se determinó como medidas de dispersión de datos, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. De igual forma, se determinó el valor máximo, el valor mínimo y el rango de variación.

Con la información procesada de la forma anterior, se procedió a construir figuras de cada variable que mostrasen las diferencias en cada estación, y en los diversos tiempos establecidos (Mensualmente), con el fin de interpretar el funcionamiento actual de las lagunas de oxidación durante el año 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH de acuerdo con el histórico presentado los meses con menor cantidad fueron: julio y septiembre obteniéndose un promedio por año de 7.1.

La conductividad eléctrica de acuerdo con el histórico presentado los meses con menor cantidad fueron: julio y enero obteniéndose un promedio por año de 1729.72.

Las grasas y aceites de acuerdo con el histórico presentado los meses con menor cantidad fueron: julio y septiembre obteniéndose un promedio por año de 36.33.

El Nitrógeno total de acuerdo con el histórico presentado los meses con menor cantidad fueron: octubre y febrero obteniéndose un promedio por año de 53.37.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno de acuerdo con el histórico presentado los meses con menor cantidad fueron: noviembre y septiembre obteniéndose un promedio por año de 259.63.

Los Sólidos Suspendidos Totales total de acuerdo con el histórico presentado los meses con menor cantidad fueron: octubre y enero obteniéndose un promedio por año de 36.48.

Los sulfatos totales de acuerdo con el histórico presentado los meses con menor cantidad fueron: noviembre y mayo obteniéndose un promedio por año de 176.38.

TABLA 1. PARAMETROS REGISTRADOS DE INFLUENTE DURANTE EL AÑO 2010 PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE USO DE RIEGO AGRICOLA.

MES	pH	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	GRASAS Y ACEITES	NITROGENO TOTAL	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SULFATOS
ENERO	7.10	1,676	42.20	47.90	338.50	104.00	336.80

FEBRERO	7.15	1,752	44.70	46.80	238.10	195.00	315.70
MARZO	7.07	1,755	36.80	53.80	292.40	190.00	337.30
ABRIL	7.02	1,845	43.50	51.90	510.60	260.00	472.00
MAYO	6.92	1,627	32.50	81.70	245.20	185.00	282.50
JUNIO	6.99	1,855	37.00	51.10	194.90	184.00	364.30
JULIO	6.89	1,542	26.70	50.60	225.30	275.00	318.00
AGOSTO	7.08	1,712	46.80	49.90	228.50	228.00	299.00
SEPTIEMBRE	6.92	1,735	30.60	59.50	188.60	148.00	300.00
OCTUBRE	7.54	1,702	24.60	41.70	224.00	76.00	298.30
NOVIEMBRE	7.48	1,826	34.30	52.20	169.90	185.00	262.00

TABLA 2. PARAMETROS REGISTRADOS DE EFLUENTE DURANTE EL AÑO 2010 PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE USO DE RIEGO AGRICOLA.

EFLUENTE							
MES	pH	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	GRASAS Y ACEITES	NITROGENO TOTAL	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SULFATOS
ENERO	7.04	1,441	8.44	29.05	67.69	20.65	198.17
FEBRERO	6.88	1,688	8.92	28.09	47.59	38.95	149.11
MARZO	7.18	1,493	7.34	33.06	58.41	37.87	202.19
ABRIL	6.05	1,813	8.4	32.05	101.99	51.75	231.1
MAYO	6.71	1,572	6.2	37.01	49.01	36.64	148.16
JUNIO	7.02	1,597	7.1	31.08	38.95	36.10	248.13
JULIO	7.01	1,503	5.30	30.01	45.02	54.81	158.28
AGOSTO	6.7	1,656	9.33	31.02	45.4	45.02	159.21
SEPTIEMBRE	6.98	1,200	6.09	34.05	37.69	28.08	141.18
OCTUBRE	6.7	1,638	4.89	25.03	44.77	14.65	157.41
NOVIEMBRE	6.91	1,681	6.84	33.09	33.92	36.86	147.31

En las tablas siguientes se presentan los resultados estadísticos de las variables medidas tanto afluentes como efluentes definidos. Se determinó la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación; los valores máximo y mínimo y el rango de variación. En dichas tablas, n representa el número de muestras analizadas promedio mensual (11) para cada parámetro.

Tabla 3. RESULTADOS ESTADÍGRAFOS PARA VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN AFLUENTES Y EFLUENTES.

Estadísticos

Estadígrafo		pH (Influyente)	pH (Efluente)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (Influyente)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (efluente)
N	Válidos	11	11	11	11
	Perdidos	0	0	0	0
Media		7.1055	6.8345	1729.7273	1571.0909
Error típ. de la media		.06529	.09160	28.47266	48.80321
Mediana		7.0700	6.9100	1735.0000	1597.0000
Moda		6.92	6.70	1542.00 ^a	1200.00 ^a
Desv. típ.		.21653	.30379	94.43314	161.86195
Varianza		.047	.092	8917.618	26199.291
Rango		.65	1.13	313.00	613.00
Mínimo		6.89	6.05	1542.00	1200.00
Máximo		7.54	7.18	1855.00	1813.00

Tabla 4. CONTINUACION RESULTADOS ESTADÍGRAFOS PARA VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN AFLUENTES Y EFLUENTES.

Estadísticos

Estadígrafo		GRASAS Y ACEITES (Influyente)	GRASAS Y ACEITES (Efluyente)	NITROGENO TOTAL (Influyente)	NITROGENO TOTAL (Efluyente)
N	Válidos	11	11	11	11
	Perdidos	0	0	0	0
	Media	36.3364	7.1682	53.3727	31.2309
	Error típ. de la media	2.23234	.44517	3.13053	.96976
	Mediana	36.8000	7.1000	51.1000	31.0800
	Moda	24.60 ^a	4.89 ^a	41.70 ^a	25.03 ^a
	Desv. típ.	7.40382	1.47645	10.38278	3.21634
	Varianza	54.817	2.180	107.802	10.345
	Rango	22.20	4.44	40.00	11.98
	Mínimo	24.60	4.89	41.70	25.03
	Máximo	46.80	9.33	81.70	37.01

Tabla 5. CONTINUACION RESULTADOS ESTADÍGRAFOS PARA VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS EN AFLUENTES Y EFLUENTES.

Estadísticos

Estadígrafo		DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (Influyente)	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (Efluyente)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (Influyente)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (Efluyente)
N	Válidos	11	11	11	11
	Perdidos	0	0	0	0
	Media	259.6364	51.8582	184.5455	36.4891
	Error típ. de la media	28.86582	5.76900	17.96682	3.62835

Mediana	228.5000	45.4000	185.0000	36.8600
Moda	169.90 ^a	33.92 ^a	185.00	14.65 ^a
Desv. típ.	95.73708	19.13361	59.58920	12.03386
Varianza	9165.589	366.095	3550.873	144.814
Rango	340.70	68.07	199.00	40.16
Mínimo	169.90	33.92	76.00	14.65
Máximo	510.60	101.99	275.00	54.81

Tabla 6. CONTINUACION RESULTADOS ESTADÍGRAFOS PARA VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS EN AFLUENTES Y EFLUENTES.

Estadísticos

Estadígrafo		SULFATOS (Influente)	SULFATOS (Efluente)
N	Válidos	11	11
	Perdidos	0	0
Media		325.9909	176.3864
Error típ. de la media		16.88406	11.23700
Mediana		315.7000	158.2800
Moda		262.00 ^a	141.18 ^a
Desv. típ.		55.99808	37.26890
Varianza		3135.785	1388.971
Rango		210.00	106.95
Mínimo		262.00	141.18
Máximo		472.00	248.13

Estadísticos

Estadígrafo		SULFATOS (Influyente)	SULFATOS (Efluyente)
N	Válidos	11	11
	Perdidos	0	0
Media		325.9909	176.3864
Error típ. de la media		16.88406	11.23700
Mediana		315.7000	158.2800
Moda		262.00 ^a	141.18 ^a
Desv. típ.		55.99808	37.26890
Varianza		3135.785	1388.971
Rango		210.00	106.95
Mínimo		262.00	141.18

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

Se hizo el análisis de componentes de varianza para determinar su variación por factor para los parámetros de los muestreos mensuales registrados en la bitácora

En la tabla 7. Se muestran los porcentajes de la varianza para cada variable en el conjunto de datos, los factores de variación son: los periodos mensuales en que se tomaron las muestras y se definió un promedio mensual.

Tabla 7. PORCENTAJE DE VARIANZA PARA CADA VARIABLE DE INFLUENTES

Parámetro	COEFICIENTE DE VARIANZA (%)
pH	3%
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	5%
GRASAS Y ACEITES	20%
NITROGENO TOTAL	20%
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	4%
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	3%
SULFATOS	1%

Tabla 8. PORCENTAJE DE VARIANZA PARA CADA VARIABLE DE EFLUENTES

Parámetro	COEFICIENTE DE VARIANZA (%)
pH	4%
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	10%
GRASAS Y ACEITES	20%
NITROGENO TOTAL	10%
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	4%
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	3%
SULFATOS	2%

Los valores por debajo del 20% no se consideran significativos, por lo tanto para el factor muestreo la que presentó mayor variación fue grasas y aceites y nitrógeno total.

En la tabla 8. Se muestran los porcentajes de la varianza para cada variable en el muestreo de efluentes, los factores de variación son los mismos que para influentes. De acuerdo a la tabla 8. Para el factor muestreo las que presentaron mayor variación fueron grasas y aceites, aunque esta sin mayor consideración.

Las siguientes figuras 1-7, representan el comportamiento de disminución de los parámetros y contaminantes por el tratamiento de aguas residuales.

FIGURA 1. COMPORTAMIENTO DEL POTENCIAL DE HIDROGENO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR EL MÉTODO DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

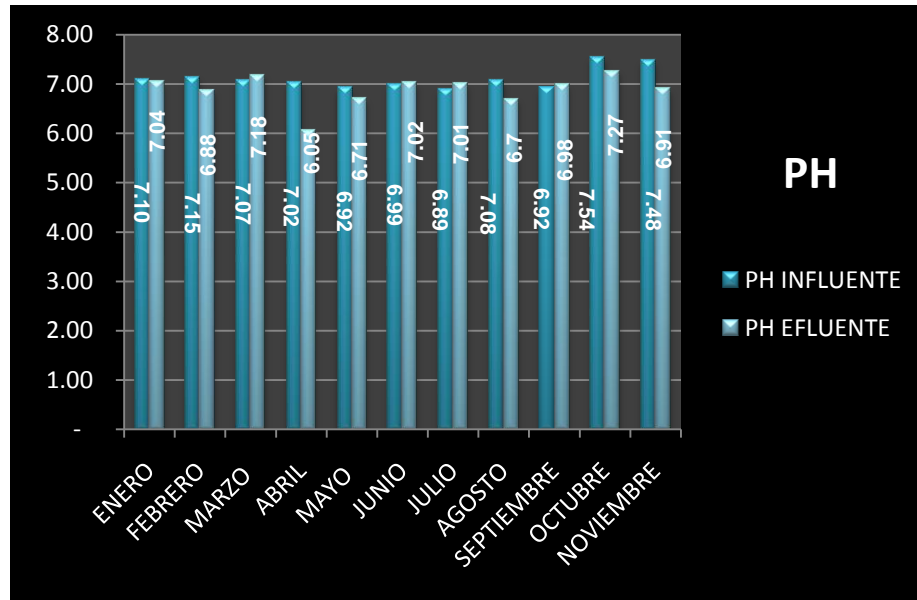


FIGURA 2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR EL MÉTODO DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

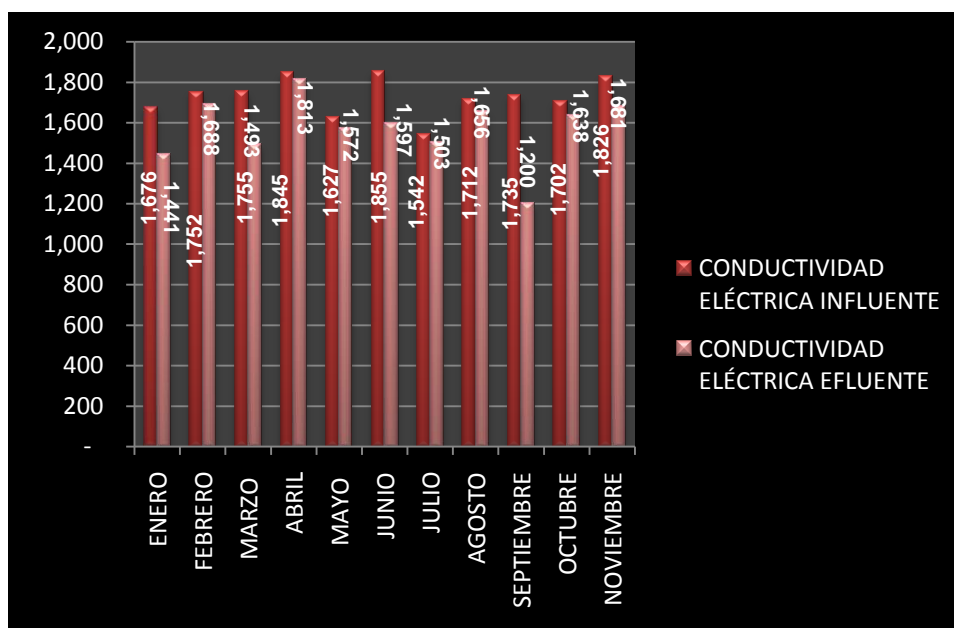


FIGURA 3. GRASAS Y ACEITES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR EL MÉTODO DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

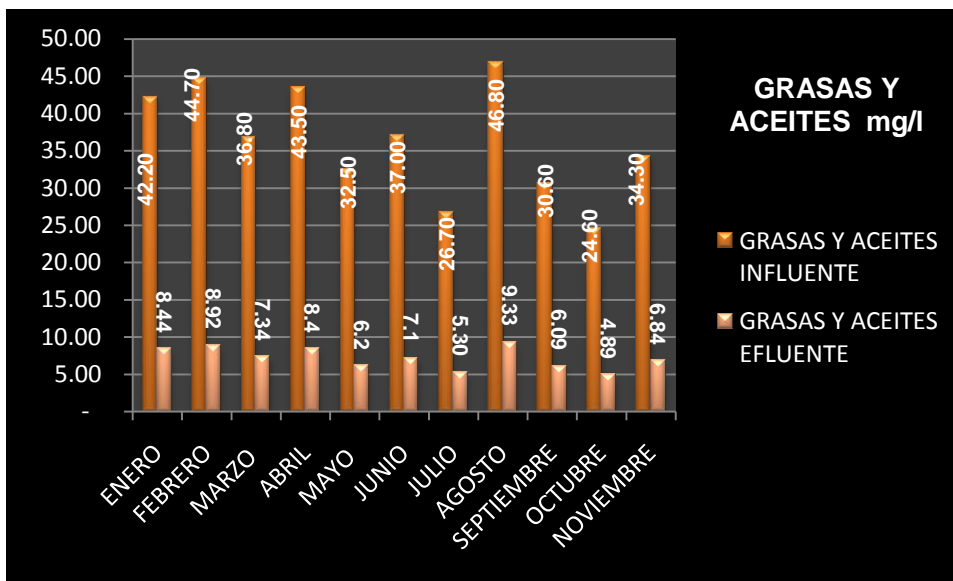


FIGURA 4. NITROGENO TOTAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR EL MÉTODO DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

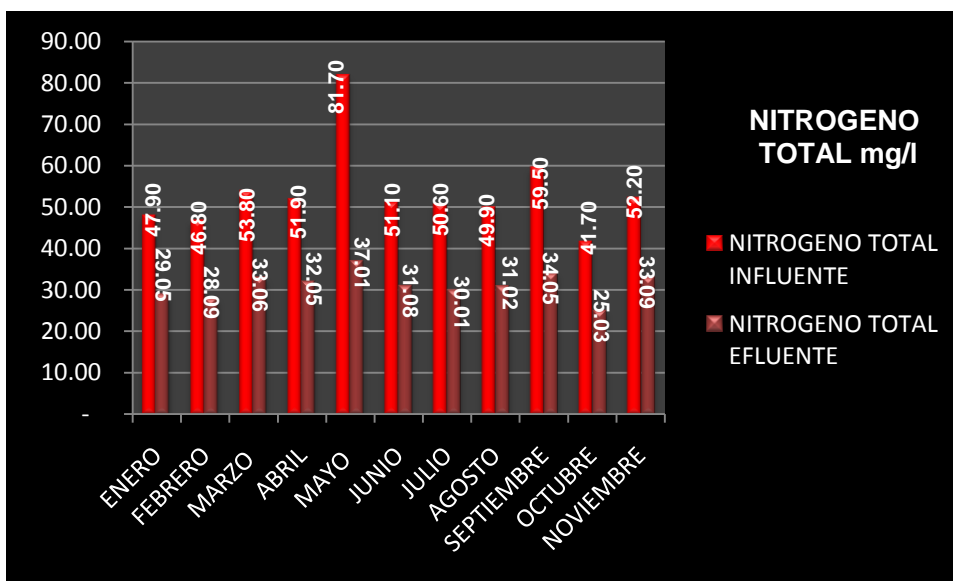


FIGURA 5. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXÍGENO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR EL MÉTODO DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

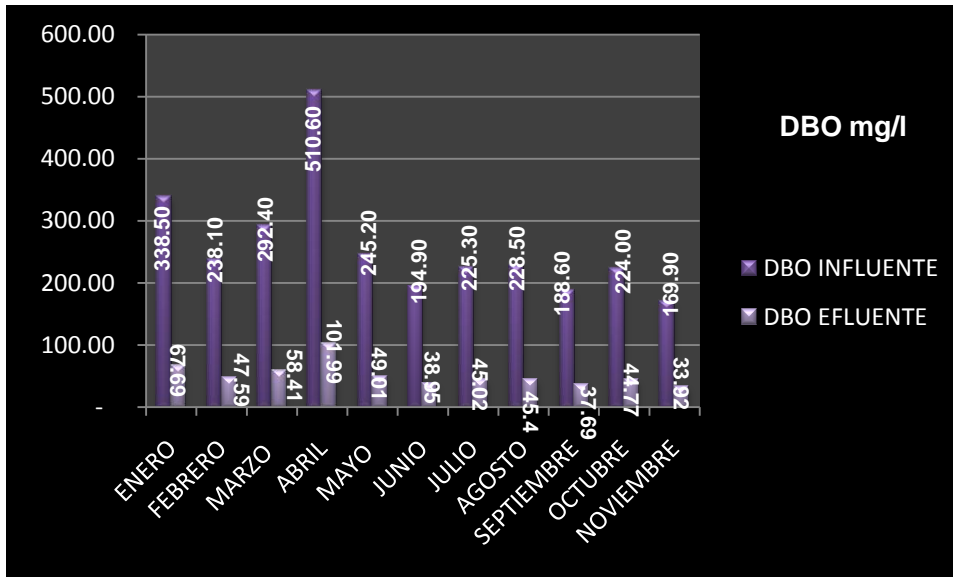


FIGURA 6. SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR EL MÉTODO DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

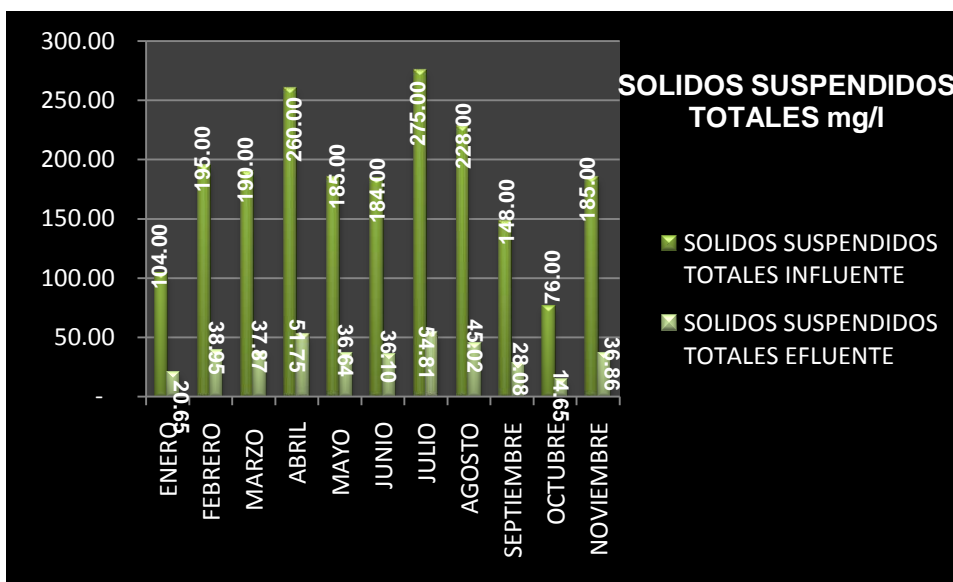


FIGURA 7. SULFATOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR EL MÉTODO DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

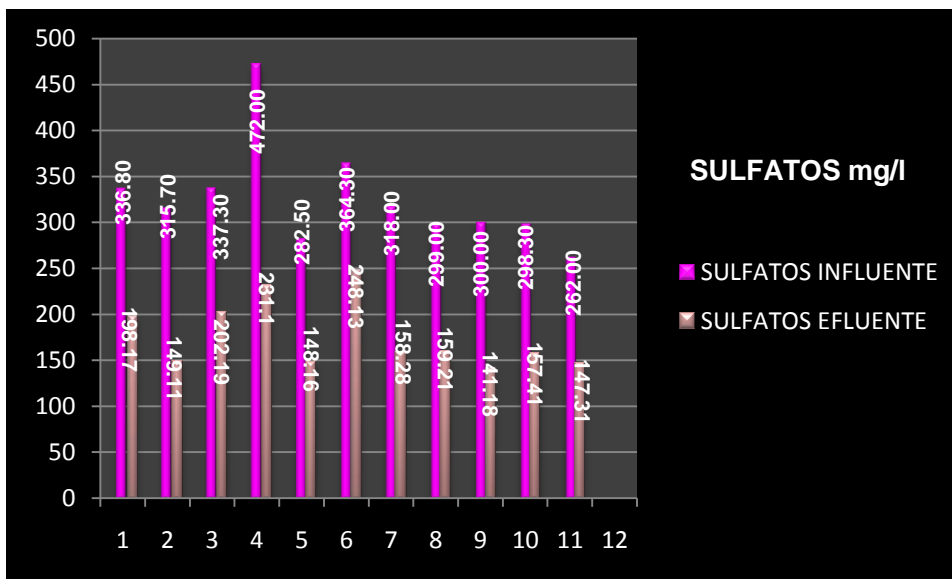


TABLA 9. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR EL METODO DE LAGUNAS DE OXIDACION.

Parámetro (Influente)	PROMEDIO	Parámetro (Efluente)	PROMEDIO
Ph	7.1055	pH	6.8345
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	1729.7273	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	1571.0909
GRASAS Y ACEITES	36.3364	GRASAS Y ACEITES	7.1682
NITROGENO TOTAL	53.3727	NITROGENO TOTAL	31.2369
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	259.6364	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	51.8582
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	184.5455	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	36.4891
SULFATOS	325.9909	SULFATOS	176.3864

TABLA 10. Límites Máximos Permisibles según la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetro	Unidad de Medición	Límite Máximo Permisible	Condición a Cumplir
pH	Unidades pH	5-10	Entre 5 y 9
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	micro siem/cm	2000	
GRASAS Y ACEITES	Mg/l	15	Remoción del 80%
NITROGENO TOTAL	Mg/l	40	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	Mg/l	150	Remoción del 80%
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Mg/l	150	Remoción del 80%
SULFATOS	Mg/l	250	

TABLA 11. Composición promedio del año 2010 del agua residual Influyente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Gómez Palacio, Dgo.

Parámetro	Rango	Valor Promedio
pH	6.89-7.54	7.1055
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	1542.00-1855.00	1729.7273
GRASAS Y ACEITES	24.60-46.80	36.3364
NITROGENO TOTAL	41.70-81.70	53.3727
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	169.90-510.60	259.6364
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	76.00-275.00	184.5455
SULFATOS	262.00-472.00	325.9909

TABLA 12.COMPARACIÓN CON ALGUNOS PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL CRUDA.

Parámetro (Influente)	Límite Máximo Permisible NOM-001-SEMARNAT-1996	Rango Encontrado	Promedio Encontrado
pH	5-10	6.89-7.54	7.1055
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	2000	1542.00-1855.00	1729.7273
GRASAS Y ACEITES	15	24.60-46.80	36.3364
NITROGENO TOTAL	40	41.70-81.70	53.3727
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	150	169.90-510.60	259.6364
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	150	76.00-275.00	184.5455
SULFATOS	250	262.00-472.00	325.9909

TABLA 13.COMPARACIÓN CON ALGUNOS PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA PARA EL USO DE RIEGO AGRICOLA

Parámetro (Efluente)	Límite Máximo Permisible NOM-001-SEMARNAT-1996	Rango Encontrado	Promedio Encontrado
pH	5-10	6.05-7.18	6.8345
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	2000	1200.00-1813.00	1571.0909
GRASAS Y ACEITES	15	4.89-9.33	7.1682
NITROGENO TOTAL	40	25.03-37.01	31.2369
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	150	33.92-101.99	51.8582
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	150	14.65-54.81	36.4891
SULFATOS	250	141.18-248.13	176.3864

De acuerdo a las características presentadas en la tabla 12, se tiene que en los Parámetros Grasas y Aceites, Nitrógeno Total, DBO, Sólidos Suspendidos Totales y Sulfatos, se encuentran en alta concentración comparada con los valores promedios de los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, descritos en la tabla 10; por lo tanto se requiere el tratamiento de esa agua cruda por el método de lagunas de oxidación. En la tabla 13 los parámetros antes mencionados se encuentran por debajo de la norma, son típicos de un agua residual de uso de riego agrícola. En relación al aporte de DBO5, y sólidos suspendidos en g/hab.día, se considera bajos con respecto a los valores comunes encontrados en la planta de tratamiento de aguas de la ciudad de Gómez Palacio, Durango.

CONCLUSIÓN

De acuerdo al procedimiento de estudio y con los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

El tratamiento de aguas por el método de lagunas de oxidación de la planta de tratamiento de aguas del municipio Gómez Palacio, Durango es eficaz en su funcionamiento y capaz de remover en más del 70% parámetros de contaminantes que colocan sus efluentes por debajo de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

El comportamiento de los parámetros de los afluentes tiende a disminuir con los procesos de tratamiento de aguas residuales por Lagunas de oxidación. El promedio de la Conductividad Eléctrica oscilo entre 1571.0909 estas concentraciones tienden a ser ligeramente reducidas al pasar por el tratamiento, en general su comportamiento fue ligeramente similar en influente y efluente.

El pH presento rangos de 6.05 -7.18 que implican una capacidad amortiguadora a pesar del que pH tiende a seguir variando dependiendo de los procesos de tratamiento de aguas como aplicación de carbonato de calcio. Aun así siempre se obtuvieron promedios de pH cercanos a 7. Con relación a sulfatos y Nitrógeno existió alta variabilidad tanto en concentraciones como en comportamientos presentados lo que sugiere realizar estudios que profundicen con mayor precisión estos.

En general para los influentes y efluentes existió gran cantidad de remoción se Sólidos Suspendidos Totales en promedio del 80 %. Se puede concluir que el comportamiento de los Sólidos Suspendidos fue una réplica de mes a mes.

El sistema general presentó una remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno total en un 81%. Finalmente se concluye que el agua tratada para uso de riego agrícola cumple con los parámetros establecidos por la norma y la planta de tratamiento de la ciudad de Gómez Palacio, Durango tiene rangos de confianza para el tratamiento de aguas.

LITERATURA CITADA

- Alvarez Bernal, M., M. Silvia, H.Contreras y M. Poggi 2002 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales por Aplicación de Suelos. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Cinvestav. Vol. 21 pp.333-340
- Agua, C. N. d. 2007. "MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANAMIENTO."
(<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>) (fecha de consulta:24 enero 2012): pág.5,6,10.
- Anda, J. 2008. "Challenges Facing Municipal wastewater Treatment in Mexico " Public Works Management & Policy 12 # 4: pág.590-598.
- Baird, C. 2001. "Enviromental Chemistry." Univerdidad Autónoma de Barcelona ISBN:84-291-7902-X: pág.494.
- Bautisa, C. 2003. "AGUAS Guía técnico-Jurídica." Mundi-Prensa,Madrid ISBN:84-8476-123-1: pág.1-291.
- Becerra, E. 2000. "PROCESOS BIOLÓGICOS APLICADOS AL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL."
(<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/residuales.pdf>) (fecha de consulta: 18 enero 2012): pág.55,56.
- Bernal, D., S.Ramos y H.Varaldo.. 2002. "Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo." Avance y Perspectiva vol.21: pág.333.
- Bolivar, C. 2004. "EL AGUA Sus formas, Efectos, Abastecimientos, Usos, Daños, Control y Conservación." ECOE ISBN 958-64-8356-8: pág.1.
- Brantes, R., G.Olivares y A.Zuñiga. 2008. "BUENAS PRÁCTICAS Y USO EFICIENTE DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA." Direccion de Estudios de COCHILCO I.S.B.N: 978-956-8242-10-7: pág.11.
- Calvo, M. 2002. "Manual de tratamiento reciclado, aprovechamiento y gestion de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias." Ediciones Mundi-Prensa ISBN:84-8476-104-5: pág.96.
- Calvo, M. 2004. "DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES POR TECNOLOGÍAS ECOLÓGICAS Y DE BAJO COSTO " Mundi-Prensa,Madrid ISBN:84-8476-226-2: pág.73-74.

- Campos, E. y A.Gómez. 2009. "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE IRRADIACION GAMMA." Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal vol.1: pág.14.
- Cárdenas, C., C.Jeager y H.Villasmil. 2005. "Evaluation of the units that conform the wastewater treatment plant south Maracaibo." SCIELO vol.28.: pág.1.
- CIDECALLI 2006. "CALIDAD Y NORMATIVIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO " (<<http://www.pnuma.org/reccat/esp/documentos/cap5.pdf>>) (fecha de consulta: 20 noviembre 2011): pág.100.
- Cirelli, C. 2000. "Antología sobre pequeño riego." Organizaciones autogestivas vol.2: pág.213.
- Cisneros, B. 2001. "La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada." UNAM Y PEMISCA ISBN 968-18-6042-X: pág.136.
- CNA 1996a. "FUNDAMENTOS TÉCNICOS PARA EL MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES." (<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/Fundamentos_Tecnicos.pdf>) (fecha de consulta: 10 enero 2012): pág.9-10.
- CNA 1996b. "MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS." (<<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Fisicoquimicos.pdf>>) (fecha de consulta: 5 abril 2011): pág.1-4.
- Doménech, X. y J.Peral. 2006. "Química Ambiental de sistemas terrestres " reverté ISBN:84-291-7906-2: pág.21.
- Fotúrbel, F. y C.Molina. 2004. "ORIGEN DEL AGUA Y EL OXÍGENO MOLECULAR EN LA TIERRA." Elementos:Ciencia y Cultura Vol.11 pág.8-9.
- Frith, M. y F.Ubiera. 2001. "Normas de calidad del agua y control de descargas." (<<http://rsta.pucmm.edu.do/biblioteca/bvds/pdfs/Normas%20Ambientales.pdf>>) (fecha de consulta: 1 diciembre 2011): pág.13-14.
- Galván, R. 2003. "FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA DE LOS MEDIOS ACUÁTICOS " (<<http://books.google.com.mx/books?id=k8blixwJzYUC&pg=PA220&dq=lagunas+anaerobias&hl=es&sa=X&ei=0TO0T4WzEeSW2gWAqMEW&sqi=2&ved=0CEwQ6AEwBg#v=onepage&q=lagunas%20anaerobias&f=false>>) (fecha de consulta: 16 marzo 2012): pág.220.

- Garfias, F. y L. Weber 1995. "PELIGRO RESIDUOS PELIGROSOS." Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca vol.1.
- Gómez, I. 2000. "SANAMIENTO AMBIENTAL." Universidad Estatal a Distancia ISBN:9968-31-069-7: pág.52.
- Guerrero, I. 2007. "Manual de Tratamiento de Aguas." Departamento de Sanidad del Estado de New York ISBN-13:978-968-180463-3.
- Guerrero, T., C.Rives, A.Rodríguez, Y.Saldivar y V.Cervantes. 2009. "El agua en la ciudad de México ciencias." Universidad Nacional Autónoma de México Vol.94: pág.16.
- Gutiérrez, C. y J.Olmo. 2007. "PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES " (<http://ingeocm.ublog.cl/archivos/.../tratamiento_biologicotexto_apoyo.pdf>) (fecha de consulta: 16 enero 2012): pág.77-78.
- Haydea, I. 2001. "AGUA Y SUSTENTABILIDAD EN LA CIUDAD DE MÉXICO." Estudios demográficos y urbanos vol.047: pág.286.
- INDUSTRIAL, S. D. C. Y. F. 1982. "NMX-AA-083." (<<http://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-083-1982.pdf>>) (fecha de consulta:7 marzo 2012): pág.3.
- Jiménez, A. y A.Barba. 2000. "DETERMINACIÓN DE LOS PRÁMETROS FISICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS." Gestión Ambiental vol.2: pág.3.
- Kimball, L. 2003. "La Gobernanza Internacional del Océano " (<http://books.google.com.mx/books?id=jRiw3QjOyAQC&pg=PA20&dq=La+Gobernanza+Internacional+del+Oc%C3%A9ano+fuentes+puntuales&hl=es&sa=X&ei=S317T4b6CYjE2QX7_rmoAw&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q&f=false>) (fecha de consulta: 3 enero 2012): pág.20
- Lapeña, M. 1990. "Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales." Alfaomega marcombo vol.27: pág.28-29.
- Manga, J. y N.Logreira 2001. "Reuso de aguas residuales:Un recurso hídrico disponible." Ingeniería & Desarrollo Universidad del Norte Vol.9: pág.17.
- Mayo, B. 1994. "LA DESCALCIFICACION DEL AGUA POR RESINAS INTERCAMBIADORAS DE IONES " (<http://www.astramatic.com/docs/MANUAL_SOBRE_DESCALCIFICACION.pdf>) (fecha de consulta:1 diciembre 2011): pág.1-31.

- Medellín, P. 2002. "Industria y Agua." Pulso, Diario de San Luis (<<http://ambiental.uasp.mx/docs/PMM-AP021017.pdf>>): pág.1.
- Morán.M., L.Marván, F.Millán, A.Garza y S.Steta. 2008. "Ablandamiento por Intercambio Iónico " Laboratorio de Ingeniería Ambiental (<http://web.me.com/fjguerra/Personal/8o_Semestre_files/LIAPreP6.pdf>) (fecha de consulta:1 diciembre 2011): pág.1.
- NATURALES, S. D. E. D. M. A. Y. R. 2001. "NORMA SOBRE AGUAS RESIDUALES." (<http://www.usaid.gov/dr/docs/resources/normas_aguas_residuales.pdf>) (fecha de consulta: 15 diciembre 2011): pág.6.
- Obregón, D. 2005. "Calidad del agua y mantenimiento de acuarios." Revista Electrónica de Veterinaria REDVET vol.VI: pág.3.
- Orellana, J. 2005. "CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE." Ingeniería Sanitaria-UTN-FRRO Vol.3: pág.3-4.
- Ortiz, J., J.Prior, V.Vazquez, E.Soberanis, M.Rodríguez, M.Rodríguez y M.Quintana. 2003. "MANUAL PARA EL USO EFICIENTE Y RACIONAL DEL AGUA." IMTA Coordinación de Tecnología Hidráulica ISBN 968-55-36-10-4: pág.18.
- Oswald, W. 1995. "Ponds in the twenty-first century." Water Science and Technology vol.3.
- Parra, C. 2005. "Ingeniería y Agua." Revista de Ingeniería vol.22: pág.62.
- PLANETAQUA 2010. "TEMPERATURA Y ESTADOS DEL AGUA." (<<http://www.planetaqua.huertayjardineria.com.ar/estados%20del%20agua.htm>>) (fecha de consulta:25 noviembre 2011).
- Pontón, R. 2008. "EL VALOR DEL AGUA." Universidad del Centro Educativo Latinoamericano Vol.11: pág.7-9.
- Raudel, O. y R.Marqués. 2003. "El agua en el medio ambiente Muestreo y análisis." Universidad Autónoma de Baja California ISBN:970-722-141-0: pág.32.
- Reynolds, K. 2002. "Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema." (<<http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf>>) (fecha de consulta: 12 septiembre 2011): pág.1-4.

- Roca, J., M.Sanjuan y A.Gimeno 1998. "CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE " UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA I..S.B.N.:84-7721-689-4: pág.17.
- Rojas, P. H. 2004. "USO,REUSO Y RECICLAJE DEL AGUA RESIDUAL EN UNA VIVIENDA." (http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso_reuso.pdf) (consulta:1 de noviembre de 2011).
- Sancén, F. 2005. "USO Y REUSO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE MÉXICO UNA SOLUCIÓN AL ABASTO." Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco: pág.12.
- SEMARNAT "NOM-002-SEMARNAT-1996." (<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd38/Mexico/NOM002ECOL.pdf>) (consulta: 10 agosto del 2011): pág.4.
- SEMARNAT 2010. "SEMARNAT." (<http://www.semarnat.gob.mx/conocenos/Paginas/quehacemos.aspx>) (consulta:10 septiembre 2011).
- SEMARNAT 2011a. "NOM-003-ECOL-1997." (<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPDO2/DO114.pdf>) (consulta:10 agosto 2011).
- SEMARNAT 2011b. "NOM-004-SEMARNAT-2002." (<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2251.pdf>) (consulta:10 septiembre 2011).
- SEMARNAT 2011c. "NOM-001-ECOL-1996." (<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/DO2470.pdf>) (consulta:11 agosto 2011).
- SEMARNAT 2011d. "NOM-002-ECOL-1996." (<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/ECOL002.pdf>) (fecha de consulta:11 agosto 2011): pág.4.
- Silva, J., P.Torres y C.Madera. 2008. "Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura." Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal vol.26: pág.348.
- Sperling, M. y C. C. 2005. "Treatment in Warm Climate Regions." Departament of Sanitary and Enviromental Engineering vol.1: pág.11.
- Talarico, C., H.Mazzei y R.Klix. 2007. "Características del liquido cloacal físicas y químicas y biológicas."

- (<http://civil.frba.utn.edu.ar/Materias/ingenieriasanitaria/unidadV-liquido-cloacal.pdf>) (fecha de consulta: 3 enero 2012): pág.13.
- Thirumurthi, D. 1991. "Biodegradation in waste stabilization ponds." *Biological Degradation of Wastes*: pág.23.
- Toledo, A. 2002. "EL AGUA EN MÉXICO Y EN EL MUNDO " *Gaceta ecológica* Vol.64: pág.11.
- UNESCO 2003. " Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo." (<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdfimages/0012/001295/129556s.pdf>) (consulta: 10 septiembre de 2011): pág.19.
- Unión, C. d. I. 2002. "Reglamento de la ley de aguas nacionales " (<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/REGLAMENTO%20DE%20LA%20LEY%20DE%20AGUAS%20NACIONALES.pdf>) (consulta:12 septiembre de 2011): pág.2.
- Vega, P. 2007. "Participación de la Comisión Nacional del agua en el tratamiento de aguas residuales en la Cuenca Lerma-Chapala. Estadísticas federales y realidades estatales." *Derechos reservados de El colegio de Sonora* vol.19: pág.1.
- Villa, I., E.Campalans, L.Barbtolí, J.Sergio y F.Agustí. 2005. "Abastecimiento de Agua y Sanamiento." (http://www.uclm.es/profesorado/igarrido/tecnocooperacion/Modulo_4_ISF_vdef.pdf) (fecha de consulta: 11 febrero 2012): pág.41.
- Yabroudi, C., J.Almarza, F.Cárdenas y C.Lenin. 2009. "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA CERVECERA." *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal* vol.34: pág.764.
- Yarto, M., I.Ize y A.Gavilán. 2003. "EL UNIVERSO DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS Y SU REGULACION PARA UN MANEJO ADECUADO." *Gaceta ecológica* vol.069: pág.59.
- Zapata, A. 2002. "EL PLANETA, LA VIDA, Y LA CIUDAD, URBANO." *Universidad del Bio Bío Concepcion,Chile* vol.5: pág.22-23.