

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO
NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DE CALIDAD DEL AGUA DE UNA
PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES DE GÓMEZ PALACIO,
DURANGO**

P O R

LUCÍA DE LEÓN MAURICIO

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DE CALIDAD DEL AGUA DE UNA
PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES DE GÓMEZ PALACIO,
DURANGO

P O R

LUCÍA DE LEÓN MAURICIO

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORES,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

COMITÉ PARTICULAR

ASESOR:

Héctor Madinaveitia Ríos

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

COASESOR :

José Luis Reyes Carrillo

DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

COASESOR:

Alfredo Ogaz

DR. ALFREDO OGAZ

COASESOR:

María Isabel Blanco Cervantes

BIÓL. MARÍA ISABEL BLANCO CERVANTES

Francisco Javier Sánchez Ramos

DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DE CALIDAD DEL AGUA DE UNA
PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES DE GÓMEZ PALACIO,
DURANGO

P O R

LUCÍA DE LEÓN MAURICIO

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

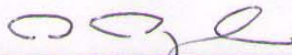
APROBADA POR:

PRESIDENTE:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL:



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL:



DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL
SUPLENTE:


ING. RUBI MUÑOZ SOTO
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

JUNIO DE 2011

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Primeramente, creador del universo y dueño de mi vida por darme la fuerza necesaria para salir adelante ante toda situación que se me presentó, y sobre todas las cosas, por darme la mejor familia del mundo así como también la inteligencia, sabiduría y capacidad para cumplir este sueño maravilloso y por guiarme por buen camino.

A MIS PADRES

Rufina Méndez Santizo

Hermosinda Mauricio Pérez

y

Máximo De León Méndez

Amado De León Méndez

Aquellos incansables padres que desde que era pequeña me han guiado y acompañado en los momentos en que más los he necesitado. Por su apoyo incondicional que me dieron a lo largo de la carrera, ya que he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de mi vida, fruto de su inmenso amor y confianza que en mí se depositó. ¡Muchas gracias por quererme tanto los AMO, son lo mejor que tengo en mi vida y le agradezco a DIOS por tenerlos conmigo! Con todo cariño y respeto.

A MIS HERMANOS

Que son mis ojos y no puedo sino darles las gracias por el tiempo, por entender las veces en que no pude estar con ellos, pero sobre todo por el inmenso amor que siento de su parte. Gracias por ser mi apoyo moral y económico incondicional, por ser mis razones para seguir peleando el día a día.

A MI "ALMA TERRA MATER"

Por brindarme la oportunidad de formarme como profesionista al finalizar satisfactoriamente mis estudios y siempre llevaré su nombre en alto, por los conocimientos invaluable que me llevo de mi Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" Unidad Laguna.

A MIS ASESORES

Con todo respeto al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos, Dr. José Luis Reyes Carrillo, Dr. Alfredo Ogaz, por su disposición permanente e incondicional en aclarar mis dudas y por sus sugerencias durante la redacción de esta tesis, por sus consejos, por sus invalorable apoyos, orientación, comprensión y conocimientos aportados en la realización de este trabajo.

A la Biól. María Isabel Blanco Cervantes, por su apoyo que me brindó, su amistad y sobre todo por sus observaciones críticas en la realización de este trabajo.

A la Ing. Rubí Muñoz Soto, por sus consejos, su amistad y por el hecho de compartir sus conocimientos y su valiosa participación en este trabajo.

A la Planta Tratadora de Aguas Residuales de Gómez Palacio, Durango, por haber proporcionado el material para llevar a cabo este trabajo.

A MIS AMIGOS

Que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino y que hasta el momento seguimos siendo amig@s: Misael Moncada (hermano del alma), Abdías (tío Ardilla), Raquel Jiménez (hermana), Elba Pastrana, Marvel (mi consejero), Eri Velázquez, Ángel (Yovis), Sixto (Kaká), José Ferruzca, Diana Espitia, Mely Pérez (mi gran confidente y hermana), Maru (maruja), Kukis, Favi, Marichuy (Hermanita), Osmar Espinosa, Vicky, Delira, Lilia, Juan Terrón, Marbi, Vilma, Alex (Morelos), Nury, a todos ustedes gracias por darme la oportunidad de conocerlos y compartir su cariño y confianza durante todo este proceso de formación profesional que me sirvió de mucho. Siempre los recordare y los llevare en mi corazón porque han dejado una huella especial de todos los momentos maravillosos que pasamos juntos, que Dios los bendiga en todo tiempo.

A todos mis compañeros del grupo, muchas gracias por compartir gran parte de su vida conmigo y de alguna manera agradecerles a cada uno de ustedes los momentos felices que pasamos juntos, que Dios los guarde y proteja, nunca olviden de conquistar sus sueños. SIEMPRE LOS RECORDARE.

DEDICATORIAS

A DIOS

Por darme la vida y haberme permitido llegar hasta este momento tan especial y brindarme la fortaleza necesaria para enfrentar con valentía todo reto que se me presentó, del cual he aprendido mucho y sobre todo por las grandes bendiciones que trajo a mi vida, gozando de buena salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A MIS EXCELENTES PADRES

Rufina Méndez Santizo

Hermosinda Mauricio Pérez

y

Máximo De León Hernández

Amado De León Méndez

Con mucho cariño, a ustedes por darme la vida y quienes me infundieron la ética y el rigor que guían mi transitar por la vida, por todo el cariño, amor, buenos deseos, grandes consejos y apoyo que me brindaron y que siempre lo harán, gracias papás, “los AMO con todo mi corazón”, todo mi trabajo y mis triunfos va dedicado a ustedes. Son los mejores padres del mundo, que Dios recompense grandemente todo el esfuerzo y trabajo que me han dedicado por verme triunfar.

A MIS FAMILIARES

A mis hermanos Néstor, Tito, Bety, Mary, José Luis, etc. por su apoyo incondicional en las buenas y las malas. También a mis tíos Luis, Gama, Beltrán, Taide, y tías Alma, Marisabel, Mirna, Amelia, Juana, mil gracias por estar conmigo y darme su cariño, comprensión y sobre todo el apoyo moral que me han brindado siempre, los quiero mucho a todos. En especial a mi tío Dari y esposa por todos los consejos brindados, por esa fuerza y coraje que siempre demuestran ante las adversidades de la vida para salir adelante, gracias por la confianza que han depositado en mí. Han sido de gran ejemplo para mi vida, Dios les bendiga en todo tiempo.

A mis primas y primos mil gracias por apoyarme en este largo camino, especialmente a Alberto, Max, que Dios los cuide y proteja donde quiera que estén, son de gran bendición para mi vida. Gracias a todos mis

familiares que me resulta muy difícil poder nombrarlos en tan poco espacio, sin embargo ustedes saben quiénes son.

A MIS PASTORES

Al pastor Honorio Bartolón y esposa por sus incansables oraciones porque de una u otra manera han estado ahí clamando a Dios por mi vida, gracias por su tiempo, por su apoyo y por la sabiduría que me han transmitido en el desarrollo de mi formación espiritual, aprecio sus consejos porque han sido de gran bendición para mi vida, que Dios les bendiga y recompense abundantemente sus esfuerzos y labor. Así como también agradezco a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido en lograr este sueño ya sea a través de sus oraciones, económicamente y moralmente, Dios es fiel y recompensa a cada uno según sea su obra.

A MIS MAESTROS

Gracias por su tiempo, por su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional: en especial al Dr. José Luis Reyes Carrillo por haber guiado el desarrollo de este trabajo. Al Ing. Joel Limones Avitia por compartir su experiencia, conocimientos e impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

A ALGUIEN ESPECIAL

A mi gran amigo **Misael Moncada Hernández** (hermano, consejero, confidente, etc.), por su gran amistad, apoyo moral e incondicional, y consejos que en todo momento me brindó, que por medio de discusiones y preguntas, me hiciste crecer en conocimiento y sabiduría. Gracias por estar conmigo en los momentos de tristeza y felicidad, por ser ese amigo incondicional que da todo sin esperar nada a cambio, me llevo gran parte de tu vida conmigo porque contigo aprendí el verdadero valor de la vida que es luchar por los sueños aunque para los demás es imposible pero para Dios no hay cosas imposibles. Has sido un pilar en mi camino y por lo tanto, formas parte de este logro, dejando una huella muy especial en mi corazón y donde quiera que estés Dios te bendiga y llene tu vida de muchas bendiciones.

El principio de la sabiduría es el temor de Jehová.

Álma mía, en Dios solamente reposa, porque de él es mi esperanza. Él solamente es mi roca y mi salvación. Es mi refugio, no resbalaré. En Dios está mi salvación y mi gloria; en Dios está mi roca fuerte, y mi refugio. Esperad en él en todo tiempo, oh pueblos; derramad delante de él vuestro corazón; Dios es nuestro refugio. SALMOS 62: 5-8.

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	III
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
El agua.....	5
Principales crisis de agua en México	5
Crisis de la calidad del agua	5
Principales causas de contaminación del agua en México	6
Escasez y demanda de agua en México.....	6
Escasez y demanda de agua en la Comarca Lagunera.....	7
Uso del agua en la Comarca, Lagunera.....	7
Contaminación del agua	8
Principales fuentes de contaminación.....	8
Contaminación de agua por fuentes puntuales.....	8
Contaminación de agua por fuentes no puntuales.....	9
Contaminación de aguas subterráneas.....	9
Principales fuentes de contaminación del agua subterránea.....	10

Legislación para la contaminación del agua en México	10
Normatividad Ambiental en materia de contaminación del agua	10
NOM-001-SEMARNAT-1996	11
NOM-002-SEMARNAT-1996	11
NOM-003-SEMARNAT-1996	11
El agua residual	12
Caracterización de aguas residuales	12
Características Físicas.....	12
Sólidos.....	12
Sólidos suspendidos totales	13
Olores	13
Temperatura	13
Densidad	14
Color	14
Características Químicas.....	14
Materia orgánica.....	14
Principales grupos de sustancias	14
Agentes Tenso activos	15
Compuestos orgánicos volátiles	15
Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	15
Demanda Química de Oxígeno	16
Materia Inorgánica.....	16
Gases	17
Oxígeno Disuelto	17
Lagunas de estabilización.....	17
Lagunas aeróbicas	18
Lagunas anaeróbicas	19
Lagunas facultativas	21
Desinfección de agua tratada	22
Calidad del agua residual tratada	22
Calidad de agua en función del uso	23
Factores esenciales para determinar la calidad del agua	24
Índices de calidad	24
Evaluación de calidad	24

Reutilización del agua residual tratada	25
Forma de reutilización.....	25
Pruebas para estimar la capacidad de reutilización.....	26
Consideraciones sobre reutilización	26
Limitantes para la reutilización.....	27
Ventajas de la reutilización planificada del agua	27
Consideraciones a seguir para el buen funcionamiento de una planta de tratamiento de agua residual.....	27
Conocimiento adecuado por parte de los operadores	27
Operaciones de proceso.....	28
Operaciones de seguimiento de la planta.....	28
Mantenimiento adecuado de los equipos	28
Control de mantenimiento.....	28
Técnicas de Regresión y Correlación	29
Regresión múltiple	29
Correlación Simple.....	30
V. MATERIALES Y METODOS	31
Localización del área de estudio.....	31
Constituyentes de la planta.....	31
Sistema de tratamiento	32
Uso del agua residual tratada	32
Empresa operadora	33
Descripción del Procedimiento.....	33
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
Calidad del agua residual tratada	35
Modelo de Predicción.....	38
Correlación simple	39
VII. CONCLUSIONES.....	41
VIII. RECOMENDACIONES	42
IX. LITERATURA CITADA.....	43
X. APÉNDICE	52

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
Cuadro 1	Valores estadísticos básicos de las variables medidas en el efluente del tratamiento de agua residual de la planta de tratamiento de agua residual de Gómez Palacio, Durango, 2010.....	37
Cuadro 2	Modelo de regresión y análisis de varianza para la predicción del pH del tratamiento de agua residual de la planta de tratamiento de agua residual de Gómez Palacio, Durango, 2010.....	38
Cuadro 3	Correlación simple entre las variables medidas en la planta de tratamiento de agua residual de Gómez Palacio, Durango, 2010.	40
Cuadro 4	Base de datos del año 2010, de la planta tratadora de agua residual de Gómez Palacio, Durango, utilizada en este trabajo.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Etapas de la Oxidación Anaerobia. Fuente: Metcalf & Eddy (2003)	20
Figura 2. Funcionamiento de Lagunas de Estabilización. Fuente: Oakley (2005).....	21
Figura 3. Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH).....	53
Figura 4. Comportamiento de las grasas y aceites (GA).....	53
Figura 5. Comportamiento del nitrógeno total (NT).	54
Figura 6. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	54
Figura 7. Comportamiento del fosforo total (PT).	55
Figura 8. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales (SST).....	55
Figura 9. Comportamiento de la temperatura (T).....	56
Figura 10. Comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO).	56

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar los valores estadísticos básicos para determinar la correlación entre variables (pH, grasas y aceites (GA), nitrógeno total (N_T), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fosforo total (P_T), sólidos suspendidos totales (SST), temperatura (T) y demanda química de oxígeno (DQO)) de calidad del agua de una planta tratadora de aguas residuales de Gómez Palacio, Durango, utilizando la base de datos del año 2010 y el paquete estadístico computacional Statistical Analysis System (SAS 2001). Según los resultados, las ocho variables analizadas estadísticamente, el agua residual se encuentra dentro de los rangos de calidad que debe de existir en un efluente, que se emplea como agua de riego de cultivos, por lo tanto la planta tratadora de agua residual, está operando de manera correcta. Para determinar el modelo de predicción, se hicieron varias combinaciones hasta obtener la que mayor coeficiente de determinación presentó, siendo éste, el que consideró el pH como variable dependiente con un coeficiente de determinación de 0.90, siendo el N_T la que más influyó en el modelo. Al analizar las correlaciones entre las diferentes variables se pudo observar que la mayor correlación fue la que obtuvo el nitrógeno total (N_T) con relación a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

PALABRAS CLAVE: Planta tratadora de agua residual, agua, regresión múltiple, correlación simple, efluente.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua se ha deteriorado rápidamente en muchas regiones del mundo, la contaminación de agua (superficial y subterránea), es ahora un grave problema al medio ambiente y a la salud humana.

La calidad de las aguas superficiales y subterráneas son principalmente por los vertimientos de aguas servidas domésticas, residuos industriales líquidos, actividad agrícola que genera la contaminación en el recurso hídrico.

En el último medio siglo las ciudades mexicanas y latinoamericanas han experimentado un crecimiento urbano desmedido que se ha traducido en la presencia de grandes áreas urbanas congestionadas que presentan graves problemas de la calidad de vida. La falta de ordenamiento urbano explica la pérdida progresiva del bienestar de sus habitantes, la degradación de su habitabilidad y la depredación de los recursos naturales urbanos. En este sentido, en México el aprovechamiento de los recursos hídricos naturales como son las lagunas urbanas, el diseño y planeación de estos espacios medioambientales la innegable riqueza de su biodiversidad, su función como pulmón de la ciudad, esparcimiento familiar, su valor paisajístico, su atractivo turístico, están determinados por una realidad caótica que subyace en la propia génesis del problema urbano (Sánchez y Batres, 2006).

En los últimos 10 años, los agricultores han incorporado en sus prácticas agrícolas el uso de aguas recicladas, debido a que los recursos hídricos naturales paulatinamente se están reduciendo (Pedrero *et al.*, 2010), este tipo de agua constituye un riesgo al traer microorganismos patógenos que pueden llegar a los cultivos (Gelover *et al.*, 2006). Parte de esta agua proviene de lagunas de oxidación, donde se han realizado tratamientos primarios para reducir la carga orgánica (Maynard *et al.*, 1999).

La sabana de Bogotá, es una de las fuentes de hortalizas más grandes del país y es frecuente el uso de agua de riego reciclada. Sin embargo, a pesar de tener un tratamiento biológico previo, no se garantiza la calidad microbiológica debido a la carga biológica tan elevada que ingresa a las lagunas de oxidación de modo que, si bien se logra reducir la concentración de bacterias, no es apta para riego. Tradicionalmente se utiliza la desinfección con cloro para eliminar microorganismos en aguas residuales y potables; por su bajo costo, facilidad de adquisición y efectividad comprobada. No obstante, este método químico tiene desventajas como su inactivación en presencia de materia orgánica, generación de olores, posible formación de intermediarios tóxicos como cloraminas y trihalometanos (Lubello *et al.*, 2004).

La implantación de sistemas de Tratamientos de Aguas Residuales surge de la necesidad de proteger al medio ambiente y evitar riesgos en la salud de los seres vivos. Actualmente se han realizado investigaciones y proyectos orientados a la reutilización de aguas residuales con la finalidad de satisfacer las demandas del vital líquido. La disponibilidad de estos recursos, está siendo alterada por causa de los crecientes problemas de contaminación de los cuerpos de agua que han venido provocando los procesos de urbanización e industrialización acelerada y sin una adecuada planificación, el uso de agroquímicos no biodegradables, las consecuencias de una actividad minera no controlada y la contaminación proveniente de derrames de crudo. Estos problemas, aunque son incipientes en algunas regiones, en otras están siendo causas de limitaciones severas para usos como turístico-recreacional y para el mismo abastecimiento a las poblaciones (Daal Parra *et al.*, 2008).

A raíz de esta situación, la reutilización de aguas residuales ha cobrado un significado auge, ya que está surgiendo como una nueva fuente de suministro técnicamente viable. Por eso, se realiza un estudio que permita evaluar las alternativas de reutilización del agua en los sistemas de tratamiento con la

finalidad de sustituir el agua potable por agua regenerada en actividades del sector agrícola, recreacional o municipal, y de esta manera contribuir al aumento de la disponibilidad de agua potable para la población, así como también destacar los beneficios tangibles e intangibles de los Sistemas que puedan ser aprovechados para contrarrestar esta problemática (Daal Parra *et al.*, 2008).

Hoy en día los cuerpos de agua son un motivo de gran preocupación los cuales están expuestos a las descargas de aguas residuales procedentes de los diferentes sectores. En México solo un bajo porcentaje de aguas residuales son tratadas, la mayor parte de las aguas residuales son utilizados para riego sin un tratamiento previo, lo que representa un serio peligro para la salud humana y al ambiente (Reynolds, 2002).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar la correlación entre variables de calidad del agua de una planta tratadora de aguas residuales de Gómez Palacio Durango.

2.2 Objetivos específicos

- 1) Determinar la eficiencia de la laguna de oxidación de la planta tratadora de aguas residuales de Gómez Palacio, Durango.

- 2) A partir de un análisis de regresión múltiple, determinar el mejor modelo de predicción, entre variables dependientes e independientes.

III. HIPÓTESIS

La calidad del agua producida después del tratamiento ocurrido en la laguna de oxidación es suficiente para que se utilice sin problema en la producción agrícola.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

El agua

El agua es un compuesto necesario e imprescindible para el ser humano, importante para la vida de la tierra. Toda la biosfera sobrevive gracias a ella. El agua es considerada como fuente de vida debido a su función esencial en los procesos biológicos y a su importancia como elemento fundamental del desarrollo (Marín, 2005).

Principales crisis de agua en México

De mantenerse las tendencias demográficas de México, se espera que para el 2020, la población mexicana ascienda a cerca de 120 millones, de los cuales, más del 75 % se localizará en comunidades urbanas con ello, crecerán las demandas de bienes y servicios, entre las cuales se encuentra en consumo de agua en el país, asimismo que pasara a 98.1 km³ para el 2020, lo que implica un incremento del 22.5 %. Destacando los consumos del sector agrícola y doméstico en el orden de 76.1 y 17 % respectivamente. Las demandas de agua para consumo agrícola y domestico conllevan a un aumento en el volumen de aguas residuales, mismas que se incrementarán para el periodo citado a 26.5 km³. El tratamiento de las aguas residuales de origen domestico e industrial (10.1 km³) requerirán inversiones del orden de los 4,350 millones de dólares y 3,190 en gastos de operación (Bosch-Guha, 2002).

La desigualdad social respecto al acceso y disponibilidad del agua, aunada a la pérdida de la calidad para su reutilización directa de la fuente han sido el origen de la crisis del agua en México (Hernández *et al.*, 2008).

Crisis de la calidad del agua

La calidad del agua es el resultado de la actividad humana, los diferentes procesos industriales, urbanos o agrícolas vierten diversos tipos de sustancias en

concentraciones tales que la naturaleza no es capaz de incorporarlos al medio ambiente, este problema ocasiona que el agua aunque esté disponible, no puede ser utilizada, por lo tanto estas condiciones deterioran el ecosistema (Mulvaney *et al.*, 2001).

Principales causas de contaminación del agua en México

Las causas de contaminación microbiológica por desechos de aguas municipales no tratadas; por sustancias químicas de desechos industriales; por fertilizantes y pesticidas; por exceso de sales. Lo que provoca que el agua de las fuentes contaminadas no pueda ser utilizada para fines humanos y que las especies que viven en los cuerpos de agua en esas condiciones se estén extinguiendo, afectando al ciclo hidrológico (García y Martínez 2009).

La contaminación, que en la mayoría de los casos es un subproducto del desarrollo y del crecimiento económico, trae consigo problemas de salud a la sociedad al inducir todo tipo de enfermedades causadas, ya sea por un agente agresor o como enfermedades del tipo crónico degenerativo, donde lamentablemente el sector marginado es el que menos medios tiene para defenderse de tales circunstancias (Toledo, 2002).

En la medida que aumentan los niveles de contaminación en el agua, se va perdiendo la capacidad de utilizarla en actividades de uso humano, por otra parte, desde el punto de vista ambiental, la contaminación se traduce en deterioro de los ecosistemas que a su vez provoca cambios evidentes en el ciclo hidrológico repercutiendo en la disponibilidad (CNA, 2007).

Escasez y demanda de agua en México

El uso del agua aumentará en función del crecimiento e intensidad de las actividades económicas del país, el crecimiento demográfico, industrialización y urbanización, están agotando y contaminando los lagos, ríos y acuíferos de forma

irreversible. Los posibles escenarios de demanda permiten perfilar políticas de manejo y prever estrategias institucionales para enfrentar necesidades cada vez mayores, bajas presiones de sobreexplotación de fuentes y escasez recurrente del líquido (Brooks, 2004).

En la regiones áridas a semiáridas del norte de México se encuentran las ciudades más grandes del país, así como las principales concentraciones de actividad industrial y agrícola, la distribución espacio-temporal del agua es cada vez más limitada para los diversos usos (Rosas *et al.*, 2009).

Escasez y demanda de agua en la Comarca Lagunera

En la Comarca Lagunera los mantos freáticos, el agua captada y almacenada en la presas en los últimos años han tenido gran sobreexplotación, lejos de resolverse, ha crecido una mayor demanda de agua (García, 2007). Lo cual ha generado un recurso no sustentable, pues la extracción es mayor que la capacidad de recarga (Soria *et al.*, 2006).

La disponibilidad efectiva del agua se ha reducido por los desequilibrios que ocasiona el crecimiento de la demanda, uso ineficiente y el aumento de los niveles de contaminación (IMTA, 2003). En la Comarca Lagunera existe competencia por el agua entre los diferentes consumidores. Dicha competencia es determinada por la baja disponibilidad del recurso y la existencia de diferentes usuarios como la agricultura de riego por bombeo y de gravedad, el sector residencial, ganadería y la industria (Soria *et al.*, 2006).

Uso del agua en la Comarca, Lagunera

En la Comarca Lagunera las altas demandas de consumo de agua para el uso urbano e industrial han generado la necesidad de investigar y adoptar nuevas tecnologías que permitan un mejor aprovechamiento de este recurso (Aguirre *et al.*, 2000)

El uso urbano proviene del crecimiento de la población, para el año 2009, había 289 mil viviendas. La demanda de agua para uso industrial proviene del crecimiento de la industria, compuesta de 15 parques y más de 871 empresas. El crecimiento de estos sectores ha disminuido el agua para uso agrícola, por lo que la superficie actual depende de la disponibilidad de agua rodada (Salazar *et al.*, 2006).

Contaminación del agua

La contaminación del agua, es el resultado de la descarga incontrolada de aguas residuales sobre las corrientes o masas de agua. Las actividades agrícolas e industriales y la urbanización han provocado un aumento de la demanda y una contaminación de los recursos hídricos (Jeevanandam, 2006).

Los diseños inadecuados, la mala planificación, la mala administración y el funcionamiento incorrecto de los sistemas de riego son las razones principales para el deterioro la calidad del agua, en particular en zonas áridas y semiáridas (Yesilnacar y Gulluoglu, 2007).

Principales fuentes de contaminación

Las mayores fuentes de contaminación del agua son los desechos de agua doméstica, los escurrimientos industriales, el escurrimiento de la tierra labrada, la depositación atmosférica, la filtración de las operaciones de minas y los rellenos sanitarios las cuales se dividen en fuente puntual y fuente no puntual (Olmos *et al.*, 2002).

Contaminación de agua por fuentes puntuales

Es claro que los problemas de contaminación en los cuerpos de agua, se debe principalmente a las descargas puntuales que son vertidas sin previo tratamiento, y a las que pasan por algún proceso de tratamiento remueven ligeramente los contaminantes, debido a una baja eficiencia de remoción, o que el

sistema de tratamiento no es el adecuado para el tipo de compuestos que se descargan (Favela, 2001).

Las fuentes puntuales descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías o alcantarillas a cuerpos de agua superficial (Nebel y Wright, 1996).

Contaminación de agua por fuentes no puntuales

Son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua superficial y subterránea sobre una región extensa, y partes de la atmosfera donde los contaminantes son depositados en las aguas superficiales (CONAGUA, 2004).

La contaminación de los mantos de aguas superficiales puede ocurrir por fuentes no puntuales y por fuentes puntuales, la principal fuente no puntual de contaminación del agua es la agricultura (Romeo *et al.*, 2009).

Contaminación de aguas subterráneas

La degradación de la calidad de las aguas subterráneas y el riesgo de contaminación cada vez se convierte en el principal problema (Ascencio y Santiago, 2002). Ésta se presenta cuando hay una gran diversidad de usos y no hay un control en las fuentes contaminantes, como lo son la agricultura, la urbanización y la industrialización (Aguilar, 2009).

La explotación intensiva de las aguas subterráneas han provocado una serie de contaminación de diversa índole en los acuíferos (Andreu *et al.*, 2008). La sobreexplotación y contaminación de las aguas subterráneas, la demanda de agua subterránea pone de relieve la importancia que adquiere conocer si la calidad del agua subterránea está siendo alterada, pues esto que puede repercutir a mediano y largo plazo en la salud de la población abastecida (Huaiquilaf, 2009).

La explotación del agua subterránea en la Comarca Lagunera, ha provocado el descenso progresivo de los niveles piezométricos y esto a su vez, la

migración de aguas subterráneas con concentraciones de arsénico superiores a la establecida por la Norma Oficial Mexicana vigente (NOM-127-SSA1-1994) para uso y consumo humano (Flores *et al.*, 2008).

Principales fuentes de contaminación del agua subterránea

Los diferentes usos del suelo, sobre todo la agricultura, la urbanización y las industrias son fuentes principales de contaminación del agua subterránea, por lo que el uso no controlado de agroquímicos y la disposición inadecuada de los desechos son los principales contaminantes (Perdomo *et al.*, 2005).

La contaminación de suelos puede poner en riesgo especialmente la calidad de las aguas subterráneas por el proceso conocido como lixiviación y que consiste en el drenado y filtración de contaminantes a través del suelo hasta la tabla de agua (Aguilar, 2009). El deterioro de los mantos acuíferos ha comenzado a afectar la producción del norte de México.

Legislación para la contaminación del agua en México

Regida principalmente por el marco legislativo de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), título IV, Protección al Ambiente, capítulo III, prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos (LGEEPA, 2010).

Normatividad Ambiental en materia de contaminación del agua

El comité consultivo de normalización tiene como objetivo proponer, diseñar y aprobar la normatividad ambiental para el aprovechamiento sustentable su conservación y restauración de los recursos naturales. Para la prevención y control de la contaminación del agua, se crearon las Normas Oficiales Mexicanas que establecen límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de agua residual (SEMARNAT, 2011 (a)).

NOM-001-SEMARNAT-1996

Esta Norma Oficial Mexicana, aprobada el 30 de octubre de 1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de agua residual vertida a agua y bienes nacionales con el objeto de proteger su calidad y posibilitar su uso, es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a la descarga proveniente de drenaje pluvial independiente (SEMARNAT, 2011 (b)).

NOM-002-SEMARNAT-1996

Esta Norma Oficial Mexicana, aprobada el 9 de diciembre de 1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de agua residual a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación del agua 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 agua residual doméstica, pluvial, ni a las generadas por la industria, que sean distintas al agua residual de proceso y conducidas por drenaje separado (SEMARNAT, 2011 (c))

NOM-003-SEMARNAT-1996

Esta Norma Oficial Mexicana, aprobada el 22 de abril de 1998, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para el agua residual tratada que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso. En el caso de 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, 2011 (d)).

El agua residual

Las aguas residuales es el agua que queda después de haber sido utilizada en un algún proceso industrial, doméstico o municipal, tienen una composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos y similares, así como la mezcla de ellas (NMX-AA-079-SCFI-2001). La composición del agua puede ser muy variada según su origen, las impurezas que predominan pueden ser arenas, grasas, materia orgánica suelta, materia inorgánica, metales pesados y microorganismos. La contaminación es provocada por la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que perjudiquen o resulten nocivos a la vida, la flora o la fauna, o que degrade la calidad del agua y suelo (Olmos *et al.*, 2002).

Caracterización de aguas residuales

Las características de las aguas residuales dependieron en gran medida de la procedencia de las mismas.

Características Físicas

Sólidos

Los sólidos totales son la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103-105 °C. Entre ellos se encuentran los sólidos sedimentables que son aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente (Cono de Imhoff) de forma cónica en el transcurso de un tiempo de 60 min. (Metcalf, 1996).

Al pasar un volumen de un líquido por un filtro, los sólidos retenidos en estos son los sólidos en suspensión. Dentro de estos se encuentran los sólidos en suspensión fijos y los sólidos en suspensión volátiles, estos últimos son

componentes orgánicos e inorgánicos de los sólidos en suspensión que a altas temperaturas se oxidará y desaparecerá en forma de gas. Ya que el estudio se centra en la producción de metano y dióxido de carbono, que ambos son gases, estos sólidos volátiles son de gran importancia (Martínez, 2008).

Sólidos suspendidos totales

Cuando se tienen sólidos suspendidos totales en la salida de la planta, se debe a la presencia de microorganismos filamentosos en el proceso. El crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de lodos activados es indicador de un proceso de tratamiento deficiente; su control dependerá entonces, de la calidad del influente, condiciones de operación diseño de la planta de tratamiento, variaciones estacionales y sobre todo, del tipo de microorganismos filamentosos (Pacheco *et al.*, 2003). La calidad esperada del agua tratada de los sistemas por aplicación al suelo debe presentar una media <1 mg/l y una máxima <5 mg/l (Álvarez *et al.*, 2002)

Olores

Los olores producidos durante el tratamiento de las aguas residuales, se deben a los gases liberados durante el proceso de degradación de materia orgánica.

Según Metcalf (1996), los olores más predominantes se deben a la liberación de (H₂S), Sulfuro de Hidrogeno y (NH₃) Amoníaco.

Temperatura

La temperatura influye mucho en dos aspectos primordiales del tratamiento: en la velocidad de las reacciones químicas y la cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua. Debido a las descargas industriales, se logran observar elevadas temperaturas en los caudales. La temperatura óptima para la actividad bacteriana

está en un intervalo de 25-35 °C. A temperaturas bajas, 15 °C las bacterias metanogénicas paran sus procesos. El proceso de digestión aerobia se detiene a los 50 °C ya que disminuye significativamente la cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua (Crites *et al.*, 2000; Metcalf & Eddy, 1996).

Densidad

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en Kg/m³ (Metcalf, 1996). Dicho parámetro es susceptible a la temperatura y la concentración total de sólidos.

Color

El color del agua residual determina el tiempo de descarga del agua y tiene una estrecha relación con la turbidez de la misma. La turbiedad en el agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc. (Romero, 199 (a))

Características Químicas

Materia orgánica

Según Metcalf (1996), materia orgánica son sólidos que provienen de las actividades humanas con la síntesis de compuestos relacionados a orgánicos, así como sólidos provenientes del reino animal y vegetal. Dichos compuestos resultan de una combinación de carbono (C₁₂), hidrógeno (H) y oxígeno (O₂).

Principales grupos de sustancias

Los tres grupos de sustancias principales en las aguas residuales son: las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas.

- **Proteínas:** Principal componente del organismo animal “composición química muy compleja e inestable (Metcalf, 1996)”. La proteína junto con la urea son los principales responsables de la presencia de nitrógeno en aguas residuales.
- **Hidratos de carbono:** Incluye azúcares que son solubles en agua, almidón insoluble en agua y celulosa.
- **Grasas:** Incluye grasas animales, aceites y cera. Grasas son alcohol o glicerol más ácidos grasos. Pueden estar presentes de manera sólida o líquida. Este grupo tiene alta estabilidad y una descomposición difícil. Uno de los problemas más serios que pueden ocasionar es crear películas de grasa y acumulación de materia flotante en las aguas residuales.

Agentes Tenso activos

Según Metcalf (1996) son moléculas grandes, ligeramente solubles en agua. El ejemplo más común de estas son los detergentes.

Compuestos orgánicos volátiles

Compuestos orgánicos que tienen su punto de ebullición por debajo de los 100 °C.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

“Cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias” (Romero, 1999 (b)). Ésta es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica, es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación (Jiménez, 2001).

Demanda Química de Oxígeno

“Cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica químicamente” (Romero, 1999 (b)). Es un parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales. El vertido de agua residual con elevada demanda química de oxígeno (DQO) en el entorno acuático puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas. Además de la materia orgánica biodegradable también existe materia orgánica refractaria. Este tipo de materia orgánica puede interferir en los métodos convencionales de tratamiento, por otra parte el vertido de agua que la contenga con elevada concentración puede contaminar el agua natural de productos tóxicos o, según algunos estudios, incluso cancerígenos (pesticidas, fungicidas, herbicidas, fenoles, etc.) (Jiménez, 2001).

Materia Inorgánica

- pH. Es la concentración de ión hidrógeno, de gran importancia debido a que puede afectar la producción de las bacterias. La concentración del ión hidrógeno en el agua está íntimamente relacionada con la extensión de la reacción de disociación de las moléculas del agua. El agua se disocia en los iones hidroxilo e hidrógeno. Los microorganismos presentes en el agua no soportan variaciones en el pH. La mayoría de ellos habitan en agua con un pH neutro (Crites *et al.*, 2000). El pH ideal para una buena calidad de agua tratada utilizada para el riego de áreas verdes es de 6 – 9 (Álvarez *et al.*, 2002)
- Alcalinidad. Producida por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos del calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. Según Metcalf (1996) ésta ayuda a regular los cambios del pH ocasionado por la adición de ácidos.

- Nitrógeno. Elemento esencial para la síntesis de proteínas, a la vez que es un bioestimulador. De gran importancia para el tratamiento de aguas residuales. El nitrógeno total es benéfico para los cultivos, ya que aporta nitrógeno inmediatamente aprovechable para las plantas o para las bacterias nitrificadoras (Rivas Lucero *et al.*, 2003).
- Fósforo. Es un elemento esencial para el crecimiento biológico y se oxida espontáneamente en contacto con el oxígeno atmosférico emitiendo luz, dando nombre al fenómeno de la fosforescencia (Ernst *et al.*, 2006).

Gases

Los gases comunes son nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂). Aquellos gases producidos por la descomposición de la materia orgánica: sulfuro de hidrógeno (H₂S), amoníaco (NH₃) y metano (CH₄). El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, inflamable que produce un olor a huevo podrido (Metcalf, 1996). El metano es el principal subproducto de la descomposición anaerobia. Siendo un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro.

Oxígeno Disuelto

Gas necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, de gran importancia en las lagunas aerobias.

Lagunas de estabilización

También conocidas como lagunas artificiales de aguas residuales. Según Netto (1970), las lagunas son obras destinadas a la depuración de residuos líquidos de naturaleza orgánica mediante procesos físicos, químicos y biológicos.

- Procesos físicos: Incluye precipitación, mezcla, dispersión y aeración

- Procesos químicos: Precipitación de material coloidal y algunas sustancias disueltas
- Procesos biológicos: Descomposición de materia orgánica por la acción de bacterias y otros microorganismos

Se emplean como un tratamiento primario de aguas residuales, en los países del trópico debido a las ventajas del sistema. No depende de energía eléctrica, gran flexibilidad, costo inicial bajo y alta eficiencia.

Hay 3 tipos de lagunas de estabilización:

- Lagunas aerobias o aeróbicas
- Lagunas facultativas
- Lagunas anaerobias o anaeróbicas

Se llevan a cabo dos tipos de actividad biológica ejecutada por microorganismos: oxidación aerobia y oxidación anaerobia.

Lagunas aeróbicas

Son lagunas en las cuales sucede un proceso de oxidación aerobia. Según Romero (1999 (b)) el oxígeno disuelto es el aceptor final de electrones para el funcionamiento de las bacterias. En la oxidación aerobia se llevan a cabo tres reacciones esenciales:

- Catabolismo: oxidación de la materia orgánica
- Anabolismo: síntesis
- Autólisis: Respiración endógena

Este tipo de lagunas son superficiales, de profundidades de entre 0.8m-1m promedio. Debido a que tienen una capacidad baja de carga orgánica.

Según Netto (1970) tienen capacidad de tratar entre 70-150 kg/ha al día de materia. Para que estas lagunas trabajaran bajo un sistema anaerobio completo debería tener una profundidad de 0.60 m pero por problemas sanitarios que podrían presentarse o pérdidas significativas por la evaporación son construidas con mayor profundidad.

Lagunas anaeróbicas

En estas lagunas se da un proceso de oxidación anaerobia, por medio de la cual se degrada la materia orgánica (MO). Se usa oxígeno de compuestos orgánicos, nitratos y nitritos. Los sulfatos y el dióxido de carbono (CO₂) funcionan como los aceptadores de electrones.

Dentro de la oxidación anaerobia hay según Romero (1999 (b)) dos etapas teoréticas:

- Fermentación ácida (acidogénesis): Compuestos complejos como son: proteínas, grasas y carbohidratos son hidrolizados a través de biooxidación, a ácidos orgánicos de cadena corta. Acido acético, propiónico y butírico.
- Fermentación metanogénica (metanogénesis): La conversión bacteriana de los productos de la fermentación ácida a productos más simples: dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄). (Metcalf & Eddy, 2003).

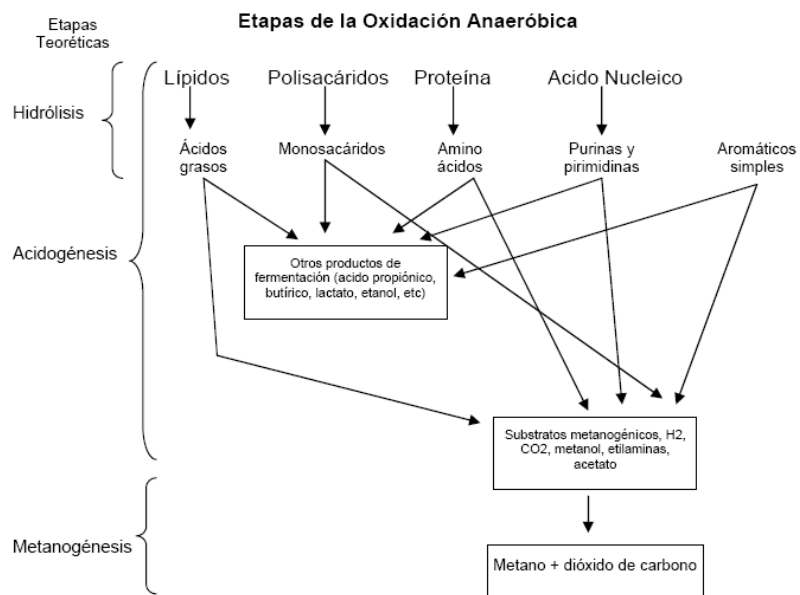


Figura 1. Etapas de la Oxidación Anaerobia. Fuente: Metcalf & Eddy (2003)

En este proceso las bacterias metanogénicas logran una producción de metano. Según Romero (1999 (b)), 72 % del metano generado proviene de la descomposición de acetato, 13 % de ácido propiónico y un 15 % de productos intermedios.

Estas lagunas tienen profundidades que oscilan dentro de 2.5-5 m. Soportan una carga orgánica superior a los 450 Kg/ha-día (Netto, 1970). Son lagunas en las cuales no hay zona aerobia debido a que las bacterias metanogénicas no logran sobrevivir en la presencia de oxígeno.

Lagunas facultativas

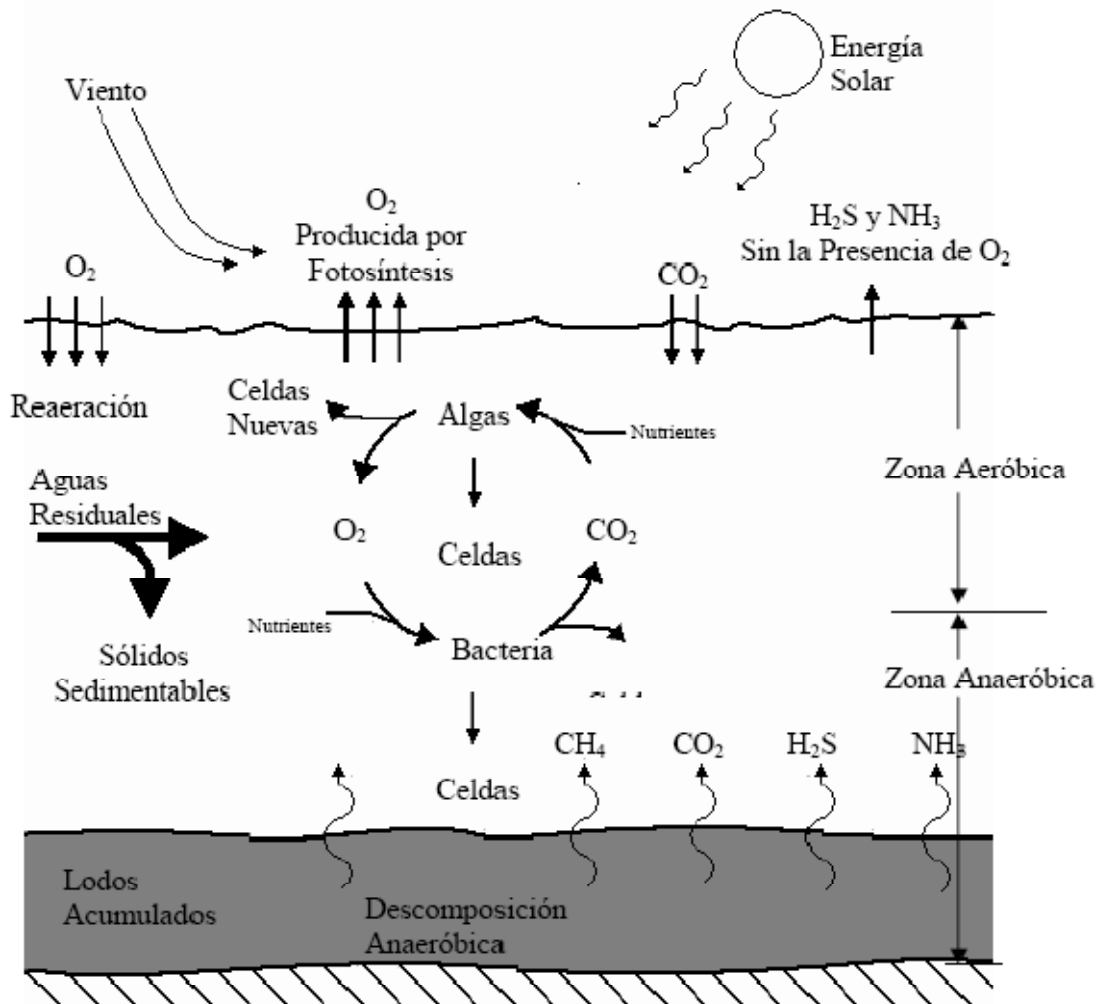


Figura 2. Funcionamiento de Lagunas de Estabilización. Fuente: Oakley (2005)

Las lagunas facultativas son aquellas en las cuales ocurren simultáneamente ambos procesos mencionados anteriormente. Según Neto (1970), en la parte superior suceden procesos aerobios y en la parte inferior procesos anaerobios. Tienen profundidades de entre 1.5 -2 m, con carga orgánica media y una generación media de gases de efecto invernadero, entre ellos metano.

Desinfección de agua tratada

Desinfección es el término aplicado a aquellos procesos en los cuales microorganismos patógenos pero no sus esporas son destruidos. El propósito primario de la desinfección del agua es el de impedir la diseminación de enfermedades (Romero, 1999 (a)).

Calidad del agua residual tratada

Generalmente el agua de desecho se emplea en cultivo o incluso se da de beber a los animales, representando, por su gran contenido y complejidad de contaminantes químicos y biológicos, un peligro potencial tanto para el ser humano como para el ambiente. Existe en la actualidad una gran variedad de plantas de tratamiento que contribuyen, en parte, a resolver este problema; sin embargo, en algunos casos no son tan eficientes como se desea (Moreno *et al.*, 1992).

El agua, tiene una composición precisa (H_2O) y, por lo tanto, es fácil identificar los compuestos ajenos a ella. Sin embargo, la definición de cuáles son los contaminantes es difícil. Es un hecho de que el agua rara vez se encuentra en forma pura y, afortunadamente, para fines prácticos no se le requiere así o no importa el que contenga otros compuestos; todo depende del uso que se le dé (Jiménez, 2001). Los aspectos que más influyen en la calidad de los ríos y lagos son el vertido de agua residual doméstica mal tratada (CT e IICA, 1993).

La contaminación del agua y alteración de su calidad por factores ajenos al ciclo hidrológico, es, en la actualidad, uno de los problemas más preocupantes (Balairón, 2002).

Todo ser humano necesita agua de buena calidad para poder vivir, por ello el recurso hídrico, es parte indispensable de todos los ecosistemas terrestres, y hay que utilizarlo en forma óptima y protegerlo de la contaminación para que se mantenga un recurso de buena calidad para todo el planeta (CT e IICA, 1993).

La calidad del agua en general puede definirse por sus características químicas, físicas, y biológicas, o por su uso (Olmos *et al.*, 2002). La eficiencia, es una realidad física, medible, conservable directamente (Balairón, 2002).

Los efluentes tratados en la mayoría de los casos no cumplen con la normatividad (Castro *et al.*, 2001).

El estado actual de nuestra sociedad y nuestro entorno demanda una mejor calidad de los efluentes tratados, sin que por ello los costos derivados del tratamiento se incrementen, sino que más bien les ocurra todo lo contrario (Hernández *et al.*, 2004).

Cualquier planta de tratamiento de agua, se apoya en una serie de operaciones básicas de carácter fisicoquímico o microbiológico, que deben ser conocidas para poder explotarlas correctamente, sacando de ella el máximo rendimiento, tanto técnico como económico. Al referirse a rendimiento, se entiende por ello el conseguir la mejor calidad de agua considerando, además el aspecto económico. El mayor rendimiento para el tratamiento de agua residual urbana, representará la mayor reducción en sólidos y carga orgánica (demanda bioquímica y química de oxígeno) del agua que posteriormente será vertida o reutilizada (Marín, 2005).

Calidad de agua en función del uso

Para usar el agua se requiere que tenga la calidad adecuada y exista en cantidad suficiente (Jiménez, 2001).

La importancia que tiene el estudio de la calidad exigida al agua para los diferentes usos que de ella se hacen radica fundamentalmente en la repercusión que tiene en los seres vivos. Otros problemas importantes derivados de la falta de calidad del recurso, puede ser la filtración de sustancias nocivas en el terreno. Para solucionar estos problemas, es preciso que se establezcan criterios de tipo biológico y sanitario para controlar la calidad del agua, tal es el caso de la Ley de

Aguas Nacionales (LAN) y sus respectivos reglamentos y normas en materia de aguas. La LAN, establece distintos requisitos de calidad exigibles al recurso hídrico en función del uso al que vaya a estar destinado (Balairón, 2002).

Factores esenciales para determinar la calidad del agua

Los factores esenciales para determinar la calidad del agua tratada son los siguientes:

- a) Grupo principales de microorganismos en el agua.
- b) Organismos patógenos en el agua.
- c) Organismos indicadores de la contaminación del agua.
- d) Métodos utilizados para evaluar la toxicidad de los efluentes (Sans y de Pablo, 1989).

Índices de calidad

Existen índices de calidad del agua desarrollando cálculos de un índice conocido como potencial de uso. Con él se toma en cuenta la calidad del agua a partir de la información disponible, es decir por medio de la caracterización del agua, y empleo que se les va a dar (Jiménez, 2001).

La baja concentración de la materia orgánica presente en el agua de alimentación influye considerablemente en la eficiencia de los sistemas de tratamiento (Braulio *et al.*, 2006).

Evaluación de calidad

La evaluación de calidad consiste en el proceso de utilización de medidas de control de calidad externo e interno con objeto de determinar la calidad de los datos obtenidos en el laboratorio (APHA y WPCF, 1992).

Los efluentes están sujetos a unas calidades mínimas de vertido, establecidas para el cauce receptor, si no las cumple deben someterse a otros tratamientos que den la calidad de vertido necesario (Rigola, 1989).

Reutilización del agua residual tratada

Una respuesta obvia y antigua a la escasez de agua es reciclar el agua sucia después de usada. Muchos países, cuyas fuentes de agua se están agotando, obtienen gran parte del agua para la agricultura a partir de agua residual tratada (Brooks, 2004). No olvidar que la reutilización exige un tratamiento adecuado del agua y un control riguroso (Hernández *et al.*, 2004).

La reutilización directa y planificada del agua residual es una necesidad. La depuración previa debe realizarse de modo que se alcance la calidad necesaria para el uso adecuado. En muchas ocasiones la mala calidad del agua residual, exige tratamientos costosos que encarecen excesivamente su reutilización (Romero y Alberola, 2005).

La reutilización planificada del agua es un sistema de utilización del recurso hídrico que puede emplearse con éxito en actividades tales como uso urbanos del agua (jardinería, incendios, lavado de calles, etc.), uso agrícola, industrial, recreativos o en la recarga artificial de acuíferos (Balairón, 2002).

Forma de reutilización

El campo de aplicación por excelencia en la reutilización del agua residual urbana es su aprovechamiento agrícola, para el riego de cultivos. Resultado del contenido en nutrientes en dicha agua, los cuales pueden ser utilizados directamente por los vegetales para su crecimiento (Balairón, 2002).

Los riesgos de consumir los alimentos producidos con agua residual tratadas son insignificantes (Brooks, 2004). Después de años de investigación en suelo y plantas en Monterrey, con los tratamientos adecuados, se ha llegado a la

conclusión de que es saludable y aceptable el riego con agua residual en cultivos (Lechuga, brócoli, coliflores, alcachofas). No se observa deterioro del suelo o del agua subterránea (Hernández *et al.*, 2004).

Otra forma de reutilizar el agua residual es en la recarga de los acuíferos, que puede consistir en cosas tan simples como cavar zanjas o pozos, otras tan complicadas comprenden la inyección de grandes cantidades de agua por medio de pozos profundos, en capas permeables (Brooks, 2004).

Pruebas para estimar la capacidad de reutilización

Pruebas de C.E., pH, alcalinidad, cloruros y sulfatos son realizadas para estimar la capacidad de reutilización del agua residual tratada y también como pruebas para el control de varios procesos de tratamiento (Crites *et al.*, 2000).

Consideraciones sobre reutilización

En la reutilización se entiende que se pretende utilizar el agua de consumo humano, como agua de calidad superior, después de su uso para otros fines. Para pensar en una reutilización del agua deben hacerse cuatro preguntas importantes:

- I. ¿Cuál es el riesgo para la salud en cada uno de los usos especificados citados?
- II. ¿Bajo qué condiciones es una alternativa eficaz y económica en los abastecimientos municipales?
- III. ¿Cuál será la aceptación social?
- IV. ¿Cómo se garantizará un control adecuado? (Hernández *et al.*, 2004).

Limitantes para la reutilización

Virus, bacterias, protozoos y helmintos son sin duda las grandes limitaciones para la reutilización del agua residual (Hernández *et al.*, 2004).

Ventajas de la reutilización planificada del agua

Entre las principales ventajas, cabe destacar las siguientes:

- ✓ Disminución de los costos de tratamiento y vertido del agua residual. Ofrece una clara ventaja económica cuando las exigencias de calidad de la alternativa de reutilización considerada sean inferiores a las definidas por el medio receptor al que serían vertidas.
- ✓ Reducciones de aportes contaminantes a los recursos naturales de agua, en particular cuando la reutilización se efectúa mediante riego agrícola. En estos casos, las sustancias orgánicas difícil de mineralizarse durante los procesos convencionales de tratamiento de agua residual pueden ser degradadas biológicamente durante su infiltración a través del terreno de cultivo, donde sus componentes minerales serán posteriormente asimilados por las plantas (Balairón, 2002).

Consideraciones a seguir para el buen funcionamiento de una planta de tratamiento de agua residual

Las consideraciones para el buen funcionamiento de una planta de tratamiento de agua residual con las siguientes (Castro *et al.*, 2001).

Conocimiento adecuado por parte de los operadores

Es necesario que los operadores tengan el conocimiento adecuado, debido a que para controlar un proceso, es necesario que el sistema bajo control sea entendido. Cuanto mayor sea la planta de tratamiento de agua residual, el proceso

va siendo más complejo, debiendo existir un perfecto conocimiento de los equipos (Castro *et al.*, 2001).

Operaciones de proceso

Las actividades de proceso consisten fundamentalmente en la determinación analítica de una serie de parámetros, que son los que indican cómo está funcionando la planta (Hernández *et al.*, 2004).

Operaciones de seguimiento de la planta

Se requiere de vigilancia e inspecciones para que, conjuntamente con los resultados analíticos de proceso, se pueden ajustar las diferentes fases de tratamiento, consiguiendo el funcionamiento óptimo de las instalaciones, y el mejor rendimiento (Hernández *et al.*, 2004).

Mantenimiento adecuado de los equipos

Algunos de los problemas de las plantas existentes, es la falta o mantenimiento deficiente (Castro *et al.*, 2001). Debe existir un mantenimiento preventivo de los equipos, de tal manera que se reduzca al mínimo la posibilidad de fallos en cada uno de ellos (Hernández *et al.*, 2004). Las unidades de tratamiento rara vez reciben mantenimiento alguno, como resultado han ocurrido muchas fallas en los sistemas (Crites *et al.*, 2000).

Control de mantenimiento

El adecuado desarrollo de todas las actividades de mantenimiento y explotación, es imprescindible para llevar un control de las mismas, de forma que diariamente vayan quedando reflejadas todas las operaciones realizadas (Hernández *et al.*, 2004).

Técnicas de Regresión y Correlación

Existen numerosas aplicaciones de la regresión, en todos los campos de la ciencia. El análisis de regresión puede ser usada para predecir algunos fenómenos de la naturaleza en función de otros factores de la misma (Serrato, 1994). La aplicación del análisis de regresión es valiosa para tratar de comprender las interacciones de los factores en la naturaleza (Salisbury y Ross 1994).

El análisis de regresión y correlación, es una técnica estadística que puede ser usada para analizar la relación entre una variable dependiente y variables independientes (Hair *et al.*, 1999). Con la ayuda de computadoras de alta velocidad es posible incorporar un gran número de variables en una función de regresión y así incrementar nuestra capacidad de predicción del valor de una variable como función de otras variables relacionados (Hoel, 1988).

El objetivo del análisis de regresión es que ayuda a estimar una variable simple a partir del conocimiento de una o más variables independientes (Hair *et al.*, 1999).

Regresión múltiple

Cuando el problema involucra una variable dependiente con dos o más variables independientes es referido como análisis de regresión múltiple (Hair *et al.*, 1999). En este trabajo se empleó esta técnica.

Dada una serie de variables, se trata de estudiar el grado de dependencia simultánea entre todas o entre grupo de ellas, de acuerdo a la intensidad con que dependan, establecer una función que explique una variable mediante las demás, que se supone son causas influyentes (Martín y García, 2004). El objetivo del análisis de regresión múltiple es usar, variables independientes, cuyos valores son conocidos para predecir el valor de la dependiente simple que se desea conocer. El resultado es una variable, es decir una combinación lineal de las variables independientes que mejor predicen la variable dependiente. Las variables son

sopesadas en el proceso, su peso denota su contribución relativa para la predicción en su totalidad. De este modo, el análisis de regresión asegura que el análisis esta provisto de la máxima predicción en un formato que también facilita la interpretación de la influencia que cada factor ejerce en la predicción (Hair *et al.*, 1999).

Correlación Simple

El coeficiente de correlación toma siempre un valor entre -1 y 1, igual ocurriría con la covarianza, hay una cierta asociación entre r^2 y la orientación del grupo de puntos. Entre más se acerque a 1 o a -1, existirá una mayor correlación entre los parámetros analizados, a la vez que está relacionado con el valor de probabilidad, debido a que entre mayor sea la correlación menor será el grado de probabilidad (Pérez, 2005).

V. MATERIALES Y METODOS

Localización del área de estudio

El presente estudio se realizó en la Planta Tratadora de Agua Residual de Gómez Palacio, Durango (PTAR GPD). La Planta Tratadora de aguas residuales Norte se encuentra ubicada en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio, Durango. La superficie que ocupa la PTAR es de 80 has. Capacidad total de la planta es de etapa 1; 500 Litros Por Segundo (LPS) y etapa 2; 650 LPS. Área de la planta es de 80 hectáreas. La función de la planta es propiciar el ambiente adecuado para que el proceso de tratamiento se lleve a cabo.

Constituyentes de la planta

Esta planta consta de dos etapas:

- La primera etapa tiene una capacidad de 500 LPS, tiene dos módulos de 350 LPS, cada uno con:
 - a) 1 laguna anaerobia
 - b) laguna facultativa
 - c) lagunas de maduración
 - d) El gasto medio del diseño es de 500 LPS
 - e) Gasto de operación actual es de 450 LPS
- En la segunda etapa cuenta con una capacidad de 150 LPS, con un módulo de 150 LPS con:
 - a) 1 laguna anaerobia
 - b) 1 laguna facultativa
 - c) 2 lagunas de maduración

d) 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 pretratamiento y un sistema de lagunas.

El emisor es un conducto de concreto de 1.52 m de diámetro que transporta todas las aguas residuales de la ciudad hasta la entrada de la planta, tiene 7.00 km de longitud y corre a un promedio de 4.00 m de profundidad. El sistema de pretratamiento está 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 l/s, 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 l/s. Cuando la ciudad así lo requiera. La planta tendrá la capacidad de eliminar el 92 % de los contaminantes del agua residual.

Uso del agua residual tratada

El agua tratada es usada en riego agrícola de 500 has. El precio de venta para 2009 del agua tratada fue de 0.27 \$ m³

Uso del agua tratada es para uso de riego agrícola restringido. Población servida es de 400, 000 habitantes.

Empresa operadora

La empresa operadora que realiza el proceso es el de tratamiento en 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).

Descripción del Procedimiento

Para este estudio se empleó la base de datos que contiene los resultados del análisis de los parámetros de operación de la Planta Tratadora de Agua Residual con lagunas de oxidación de Gómez Palacio, Durango, del año 2010.

La base de datos proporcionada por la PTAR GPD contiene los resultados del análisis de 24 variables, las cuales son: potencial de Hidrogeno (pH), sólidos sedimentables (SS), grasas y aceites (GA), nitrógeno total kjeldahl (N_{TK}), nitratos (N_1), nitritos (N_2), nitrógeno total (N_T), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fosforo total (P_T), sólidos suspendidos totales (SST), materia flotante (M_F), arsénico (As), Cadmio (Cd), cianuros (Cn), cobre (Cu), cromo total (Cr_T), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), zinc (Zn), Temperatura (T), demanda química de oxígeno (DQO), huevos de helminto (H_h), coliformes fecales (C_f). De estas variables, solamente trece de ellas tienen los datos completos del año 2010 (pH, SS, GA, N_{TK} , N_1 , N_2 , N_T , DBO, P_T , SST, T, DQO, C_f) pero de estas trece solo ocho tienen mayor significancia para encontrar el mejor modelo de predicción, por lo tanto las demás se desecharon y finalmente se formó la base de datos con las ocho (pH, GA, N_T , DBO, P_T , SST, T y DQO) variables seleccionadas.

Con la base de datos así determinada y utilizando el paquete estadístico computacional Statistical Analysis System (SAS 2001) se procedió a:

1. Determinar los valores estadísticos básicos (de cada variable se obtuvo la media, desviación estándar, valor mínimo y máximo) de las variables medidas en el efluente del tratamiento de agua residual de la planta de tratamiento.
2. Determinar el modelo de regresión. Para obtener el modelo, se hicieron varias combinaciones hasta conseguir el mejor coeficiente de determinación.
3. Determinar la correlación y probabilidad entre variables.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad del agua residual tratada

En el cuadro 1 se presentan los datos estadísticos básicos, en el cual se observa que el pH registro una media de 7.93, un mínimo de 7.59 y un máximo de 8.36. Aunque el valor neutro de la media de pH registrado son considerados según Crites *et al.*, (2000) como ideal para el desarrollo y hábitat de los microorganismos. El valor de pH registrado se encuentra dentro del rango recomendado por Álvarez *et al.* (2002) que menciona que el pH ideal para una buena calidad de agua utilizada para el riego de áreas verdes es de 6-9.

Las grasas y aceites permanecieron en un rango de 8.3 y 25.2 mg/l, observando una media de 16.29 mg/l. con relación a la concentración de grasas y aceites residuales recomendado, es preciso decir, que la concentración obtenida se encuentra dentro de los valores máximos permisibles que debe de existir en el efluente, ya que tiene una media de 16.29 mg/l que es inferior a 25 mg/l (NOM-001-SEMARNAT-1996).

El nitrógeno total presento una media de 34.8 mg/l, con una mínima de 26.13 mg/l y una máxima de 48.8 mg/l. El nitrógeno total es benéfico para los cultivos, ya que aporta nitrógeno inmediatamente aprovechable para las plantas o para las bacterias nitrificadoras (Rivas Lucero *et al.*, 2003). De acuerdo a la concentración del nitrógeno total residual, es preciso decir, que la concentración obtenida se encuentra dentro de los valores de calidad que debe de existir en el efluente, ya que es inferior a 40 mg/l según la NOM-001-SEMARNAT-1996.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno presentó una media de 81.86 mg/l, con una mínima de 36.1 y una máxima de 140.8 mg/l. Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado

de contaminación (Jiménez, 2001). La media está dentro del límite máximo permisible según la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece un máximo de 150 mg/l para riego.

El fósforo total registro una media de 7.93 mg/l, un valor mínimo de 5.7 y un valor máximo de 18.6 mg/l. El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento biológico y se oxida espontáneamente en contacto con el oxígeno atmosférico emitiendo luz, dando nombre al fenómeno de la fosforescencia (Ernst *et al.*, 2006). Con relación a la concentración del fósforo total recomendado, es específico decir, que la concentración obtenida se encuentra dentro de los valores de calidad que debe de existir en el efluente, ya que es inferior a 20 mg/l según la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Los sólidos suspendidos totales se mantuvieron entre 40 y 85 mg/l, con un media de 63.67 mg/l. Cuando se tiene sólidos suspendidos totales en la salida de la planta, probablemente se debe a la presencia de microorganismos filamentosos en el proceso (Pacheco *et al.*, 2003). Los datos medidos presentan valores que se salen de lo recomendado por Álvarez *et al.* (2002), el cual dice que la calidad esperada del agua tratada de los sistemas por aplicación al suelo debe de presentar una media de 1 mg/l y una máxima de 5 mg/l de sólidos suspendidos totales. La media también se encuentra por encima del límite máximo permisible de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-003-1997, que establece un máximo de 20 mg/l para riego de parques y jardines (CONAGUA 2002). Con respecto a la NOM-001-SEMARNAT-1996 se encuentra dentro de los límites máximos permisibles ya que el valor máximo permisible es de 150 mg/l.

La temperatura tuvo una variación entre 14 y 28.5 °C, mientras que la media fue de 22.06 °C. Se considera que la temperatura del agua óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se encuentra en el rango de 25 a 35 °C y que, cuando la temperatura se acerca a los 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad (Crites *et al.*, 2000, y Metcalf & Eddy 1996). La temperatura

(tomando en cuenta el máximo valor registrado) en el efluente de la planta de tratamiento de agua, permite, según lo recomendado, la actividad bacteriana y por lo tanto si habrá bacterias productoras de metano que pueden estar presentes en el efluente.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentó una media de 208.72 mg/l, con una mínima de 88.2 y una máxima de 318.9 mg/l. La DQO es la concentración de masa de oxígeno consumido por la descomposición química de la materia orgánica e inorgánica y un agua residual con elevada DQO puede llegar al agotamiento del oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas (Jiménez, 2001). No existe un dato que establezca la concentración ideal de la DQO, sin embargo los valores obtenidos pueden señalar que en realidad no es significativo, porque relacionándolo con el color y turbiedad, se considera prácticamente libre de materia orgánica y sin desarrollo de condiciones sépticas.

Cuadro 1 Valores estadísticos básicos de las variables medidas en el efluente del tratamiento de agua residual de la planta de tratamiento de agua residual de Gómez Palacio, Durango, 2010.

Variable	Unidades	N*	Media	Desviación Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	LMP NOM-001*
pH*		11	7.93	0.21	7.59	8.36	N.A
GA*	mg/l	11	16.29	6.04	8.3	25.2	15
N _T *	mg/l	11	34.88	6.25	26.13	48.8	40
DBO*	mg/l	11	81.86	34.14	36.1	140.8	150
P _T *	mg/l	11	7.93	3.66	5.71	18.6	20
SST*	mg/l	11	63.67	16.26	40	85	150
T*	mg/l	11	22.06	5.51	14	28.5	N.A
DQO*	mg/l	11	208.72	70.22	88.2	318.9	N.A

*N = número de datos analizados.

*pH = potencial hidrogeno, GA = grasas y aceites, N_T= nitrógeno total, DBO = demanda bioquímica de oxígeno, P_T = fosforo total, SST = sólidos suspendidos totales, T = temperatura, DQO = demanda química de oxígeno.

*Límite Máximo Permissible, Uso en riego, NOM-001-SEMARNAT-1996.

Modelo de Predicción

El mejor modelo encontrado fue el que consideró el pH como la variable dependiente. El Cuadro 2 incluye el modelo de regresión y el análisis de varianza para la predicción de pH.

Cuadro 2. Modelo de regresión y análisis de varianza para la predicción del pH del tratamiento de agua residual de la planta de tratamiento de agua residual de Gómez Palacio, Durango. 2010.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Probabilidad mayor de F	R ²
Modelo	7	0.42	0.06	3.85	0.14	0.90
Error	3	0.04	0.01			
Total	10	0.47				

Variable	Grados Libertad	Parámetros Estimados	Error Estándar	Probabilidad Mayor de T
Intercepto	1	8.79	0.68	0.00
GA*	1	0.01	0.01	0.37
NT*	1	-0.03	0.02	0.26
DBO*	1	0.00	0.00	0.45
P _T *	1	-0.00	0.01	0.62
SST*	1	0.00	0.00	0.34
T*	1	-0.02	0.01	0.19
DQO*	1	-0.00	0.00	0.45

*pH = potencial hidrogeno, GA = grasas y aceites, N_T= nitrógeno total, DBO = demanda bioquímica de oxígeno, P_T = fosforo total, SST = sólidos suspendidos totales, T = temperatura, DQO = demanda química de oxígeno.

Al graficar los datos, según como el grupo de puntos, la recta lo representará mejor o peor, medido por la línea de tendencia presentada, entre más se aproxime a 1 el coeficiente de determinación (R²) me nos error habrá (De la Horra, 2003). En el Cuadro 2 se observa que el coeficiente de determinación es

de 0.90, lo cual considera como al modelo bastante aceptable para éste tipo de sistemas.

En el Cuadro 2 se aprecia que el modelo de predicción obtenido es altamente significativo ($P < 0.01$) con un coeficiente de determinación de 0.90, por lo que de acuerdo al análisis, el 90 % de la variación del pH es explicado por las diferencias entre los valores de GA, NT, DBO, PT, SST, T y DQO obtenidos después del tratamiento del agua.

Correlación simple

El coeficiente de correlación toma siempre un valor entre -1 y 1. Entre más se acerque a 1 o a -1, existirá una mayor correlación entre los parámetros analizados, a la vez que está relacionado con el valor de probabilidad debido a que entre mayor sea la correlación menor será el grado de probabilidad (Pérez, 2005). En el Cuadro 3 se observa que la mayor correlación que existe entre los parámetros analizados es la que obtuvo el nitrógeno total (N_T) con relación a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) con un valor de coeficiente de correlación de 0.68, seguida por el nitrógeno total con relación a la demanda química de oxígeno (DQO) con un valor de correlación de coeficiente de 0.59. En ambas correlaciones se corrobora que efectivamente la DBO y la DQO son las que más influyen en el modelo de predicción mencionado. Posteriormente se encuentra la correlación entre el pH y la temperatura con -0.57 de coeficiente de correlación, siguiendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) con respecto a la demanda química de oxígeno (DQO) con un coeficiente de correlación de 0.56, y por último la temperatura con respecto a la demanda química de oxígeno (DQO) con un coeficiente de correlación de 0.54. Corroborando lo mencionado por Pérez (2005), y observando los valores de correlación y probabilidad de las variables descritas en el Cuadro 3, efectivamente entre mayor sea la correlación menor será la probabilidad, como ejemplo están la correlación entre el N_T y la DBO., teniendo un

coeficiente de correlación de 0.68 y una probabilidad de 0.02. Por el contrario, esta la correlación entre DBO y sólidos suspendidos totales (SST), que tienen una correlación de -0.02 y una probabilidad de 0.93.

Cuadro 3. **Correlación simple entre las variables medidas en la planta de tratamiento de agua residual de Gómez Palacio, Durango, 2010.**

PARES DE VARIABLES	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (r^2)	VALOR DE P
pH* - GA*	0.46	0.14
pH* - NT*	-0.30	0.36
pH* - DBO*	0.03	0.92
pH* - PT*	0.08	0.80
pH* - SST*	0.09	0.79
pH* - T*	-0.57	0.06
pH* - DQO*	-0.10	0.75
GA* - N _T *	-0.22	0.50
GA* - DBO*	0.31	0.34
GA* - P _T *	0.11	0.73
GA* - SST*	-0.22	0.50
GA* - T*	0.05	0.87
GA* - DQO*	0.31	0.35
N _T * - DBO*	0.68	0.02
N _T * - PT*	0.25	0.45
N _T * - SST*	0.49	0.12
N _T * - T*	-0.39	0.22
N _T * - DQO*	0.59	0.05
DBO* - P _T *	-0.07	0.82
DBO* - SST*	-0.02	0.93
DBO* - T*	-0.23	0.48
DBO* - DQO*	0.56	0.07
P _T * - SST*	0.44	0.16
P _T * - T*	-0.46	0.14
P _T * - DQO*	0.20	0.53
SST* - T*	-0.52	0.09
SST* - DQO*	0.54	0.08
T* - DQO*	-0.11	0.72

*pH = potencial hidrogeno, GA = grasas y aceites, N_T= nitrógeno total, DBO = demanda bioquímica de oxígeno, P_T = fosforo total, SST = sólidos suspendidos totales, T = temperatura, DQO = demanda química de oxígeno.

VII. CONCLUSIONES

El agua residual tratada en la PTAR de Gómez Palacio, Durango, se encuentra dentro de los rangos de calidad que debe de existir en el efluente y, conforme a los resultados obtenidos se deduce que la planta está operando adecuadamente.

El valor del coeficiente de determinación ($R^2 = .90$) del modelo encontrado, permite que pueda ser considerado bastante aceptable para este tipo de sistemas.

El mejor modelo encontrado fue el que consideró el pH como la variable dependiente. La variable que más influyó en este modelo fue el nitrógeno total (N_T) con relación a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

VIII. RECOMENDACIONES

En el análisis total del agua tratada de la PTAR de Gómez Palacio, Durango, es recomendable que se lleven a cabo todas las mediciones posibles de los parámetros de operación y parámetros normados, para tener valores precisos y representativos, pero sobre todo confiables.

Monitorear el buen funcionamiento de la planta con el fin de garantizar que los productos salgan en condiciones de uso adecuado para la agricultura.

Realizar estudios, que determinen contaminantes en el suelo, en las áreas donde se utiliza éste tipo de agua, para verificar que realmente el agua tratada no está causando daños.

Es importante resaltar que al reutilizar el agua residual se debe hacer teniendo en cuenta las normas, para no causar problemas ambientales y obtener buenos resultados.

IX. LITERATURA CITADA

- Aguilar,. A. 2009. Gestión de la calidad del agua subterránea con la participación de usuarios. Unidad en Economía y Medio Ambiente. México. Pp. 4-8.
- Aguirre,. A. Herman W. Fortis. H. Rodríguez. R. Hernández. J. Olague. R. 2000. Consumo de agua en la alfalfa (medicago sativa L.) durante el establecimiento con riego subsuperficial. Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila. P. 6
- Álvarez B., D., S. M. Contreras R. y H. Poggi V. 2002. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales por Aplicación al Suelo. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Cinvestav. Avance y perspectiva, vol. 21. Pp. 333-340.
- American Public Health Association y Water Pollution Control Federation (APHA y WPCF). 1992. Métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual. Ediciones Díaz de Santos, Córdoba, Veracruz. P. 13.
- Andreu,. J. F. Sánchez. E. G. Jorroto S. Francés. I. Bosch. A. 2008. Assessment of the groundwater quality in the present saturated zone of Crevillente aquifer (Alicante). Departamento Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. P. 5.
- Ascencio,. M. T. y Santiago. S. G. 2002. Evaluación de acuíferos de la mesa del norte. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México. P. 6
- Balairón P., L. 2002. Gestión de recursos Hídricos. Ediciones UPC. España. P. 478.
- Bosch-Guha, P. 2002. Importancia de la biotecnología para la economía mexicana, p. 26-42. *In* F. Bolívar-Zapata (ed.), Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI. FCE-CONACYT, México.

- Braulio V., M. A., E. A. Sandoval S. y J. U. Aréchiga V. 2006. Operación y rediseño de una tecnología para el tratamiento de aguas residuales en Cuemanco. Revista Mexicana de Ingeniería Química (vol. 5), México, D.F. Pp. 5-9.
- Brooks, B. D. 2004. Agua. Manejo a nivel local. Editores Alfaomega colombiana S.A. Bogotá. Colombia. Pp. 1-70.
- Castro G., A., M. Enríquez P. y C. Durán de B. 2001. Estudio de Laboratorio y Simulación para el diseño, construcción y operación de un sedimentador primario. REDALYC (vol. 16), México, D.F. Pp. 84-88.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2007. Estadísticas del Agua en México. Ed. P. 259.
- CONAGUA. 2004. Situación de los recursos hídricos. En estadísticas del agua en México. CONAGUA. México. Pp. 22-50.
- Crites, R., T. George, C. Miller, P. y M. Guillermo. 2000. Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Editorial McGraw-Hill Interamericana, S.A., Bogotá, Colombia. Pp. 1-50.
- CT e IICA. 1993. Consejo de la Tierra e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura 1993. La cumbre de la Tierra ECO 92: visiones diferentes. IICA, San José, Costa Rica. Pp. 15-99.
- Daal Parra Ma. de Los A., Bracho Ma. B., Escalona Zuleima, y García Roberto. 2008. Alternativas de reutilización de aguas residuales regeneradas en sistemas de tratamiento de la península de Paraguaná, Estado Falcón-República Bolivariana de Venezuela. Revista Desarrollo Local Sostenible. Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana Local Global. Vol. 1, N° 3. Pp. 1-14.

- De la Horra N., J. 2003. Estadística Aplicada. Ediciones Díaz de Santos, Córdoba, Veracruz. P. 358.
- Ernst, A. Deicher, M. Herman, P. & Wollenzien, Ute I. 2006. Nitrate and phosphate affect cultivability of cyanobacteria from environments with low nutrient levels. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 71. No. 6. Pp. 3379 – 3383.
- Favela, S. P. 2001. Caracterización de fuentes puntuales de contaminación en el río atoyac, México. *Ingeniería sanitaria y ambiental*. México. Pp. 1-7.
- Flores, G. Tornero. M. Campante M. Cruz A. y Bonilla 2008. Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. *Laboratorio de Ingeniería ambiental – instituto tecnológico de Puebla, Puebla*. Pp. 1-2.
- García E. 2007. El Manejo del Agua en la Laguna, México. *Agrociencia*. México. Pp. 50-65.
- García, M. G. Y Martínez. C. P. 2009. Escenario del agua en México. *Recursos Hídricos*. *Agrociencia*. México. P. 13.
- Gelover L. A., S. Gelover, L. A. Gómez, K. Reyes y M. T. Leal. 2006. A practical demonstration of water disinfection using TiO₂ films and sunlight. *Water Research*; 40 (17). Pp. 3274–3280.
- Hair, Jr. J.F., R.E. Anderson, R. L. Z. Tatham and W.C. Black. 1999. *Análisis Multivariante*. Quinta edición. Prentice Hall International Inc. España. Pp. 799.
- Hernández, A. Blanco. Gutiérrez. D. A. Blas. O. J. Guervós. M. S. Manzano B. M. 2008. Estudios de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas

- de la provincia de salamanca. Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Salamanca, Salamanca. Pp. 1-13.
- Hernández M., A. A. Hernández L. y P. Galán M. 2004. Manual de depuración Uralita. Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20, 000 habitantes. Editorial Thompson Learning Ibero. Pp. 289, 299, 307, 317, 331, 360-362.
- Hoel, G.P. 1988. Estadística Elemental. Sexta impresión. Editorial CECSA, México, D.F. Pp. 313-315
- Huaiquilaf,. C. B. 2009. Contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa. Departamento de Ingeniería Civil. P. 5.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2003. Aspectos relevantes de la política del agua en México, en el marco de desarrollo sustentable. México. Pp. 30.
- Jeevananda,. M. Kannan. R. Srinivasalu. S. Rammohan. V. 2006. Hydrogeochemistry and Groundwater Quality Assessment of Lower Part of the Ponnaiyar River Basin, Cuddalore District, South India. Department of Geology. Pp. 68-70.
- Jiménez C., B. E. 2001. La contaminación ambiental en México. Causas, efectos y tecnología apropiada. Editorial Limusa, México, D.F. Pp. 33-300.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). 2010. 3ª edición. Ediciones Fiscales ISEF, S.A. México, D.F. Pp. 62-66.
- Lubello C, Gori R, Nicese F, y Ferrini F. 2004. Municipal-treated *wastewater reuse for nurseries irrigation*. Water Research. 38. Pp. 2939-2947.

- Marín G., R. 2005. Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Díaz de Santos, Córdoba, Veracruz. Pp. 319.
- Martín P., F. J. y M. García S. 2004. Introducción a la Estadística Económica y Empresarial (Teoría y Práctica). Editores Cengage Learning, Estados Unidos de Norte América. Pp. 599.
- Martínez-Meyer M. R. 2008. Análisis comparativo de las lagunas de estabilización de la EAP, bajo condiciones anaerobias con fines energéticos. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. P. 70.
- Maynard, H., S. Ouki y C. Williams Tertiary lagoons 1999. A review of removal mechanisms and performance. *WaterResearch*; **33** (18). Pp 3782-3788.
- Metcalf, y Eddy. 1996. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento Vertido y Reutilización. Tomo I. P. 750.
- Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse.4th ed. /revised by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. P. 1817.
- Moreno, J., A. Colín y O. Vázquez. 1992. Remoción de fenoles, detergentes y coliformes presentes en aguas residuales por medio de irradiación. Revista internacional de contaminación ambiental (vol. 8), México, D.F. Pp. 29-35.
- Mulvaney,. R. L. Khan. S. A. Hoefft. R. G. and Brown H. 2001 A soil organic nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J* 65. Pp. 1164-1172.
- Netto, J; Hess, M. 1970. Tratamento de águas residuárias. Sao Paulo, Brasil. P. 218.

Nebel., B. J. y Wright. T. R. 1996. Environmental Science. The Way the World Works. 5a Edición, Prentice Hall. Estados Unidos. Pp. 32-40.

NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de agua – determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. (Consultada el 22 de diciembre del 2010). (En línea)
http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/secofi_nmx_aa_079_scfi_2001.pdf

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (consultada el 15 de diciembre de 2010) (En línea).
<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>

Olmos R., M. Sepúlveda, R. y M. Villalobos, F. 2002. El agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis. Editores plaza y Valdés. México, D.F. Pp. 184.

Pacheco S., V. F., B. Jáuregui R., T. B. Pavón S. y G. Mejía P. 2003. Control del crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales. Revista internacional de contaminación ambiental, REDALY (vol. 19), México, D. F. Pp. 47-53.

Pedrero F, I. Kalavrouziotis, J. J. Alarcón, P. Koukoulakis y T. Asano. 2010. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture - Review of some practices in Spain and Greece. *Agriculture Water Management*, **97** (9): Pp. 1233-1241.

Perdomo, C. H. Casanova. O. N. Ciganda V. S. 2005. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. Agrociencias, Facultad de Agronomía. Uruguay. Pp. 32-51.

- Pérez L., C. 2005. Métodos Estadísticos Avanzados con SPSS. Editores Cengage Learning, Estados Unidos de Norte América. Pp. 775.
- Reynolds, K. 2002. Tratamientos de Aguas Residuales en Latinoamérica. Agua Latinoamericana, México. Pp. 6-8.
- Rigola L., M. 1989. Tratamiento de aguas residuales: aguas de proceso y residuales. Editorial Alfaomega Marcombo. Pp. 11, 43, 44 y 49.
- Rivas Lucero Bertha A., Nevárez Moorillón G. Virginia, Bautista Margulis Raúl G., Pérez Hernández Antonino, Saucedo Terán Rubén. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales de Uso Agrícola en un Biorreactor de Lecho Fijo. Agrociencia, volumen 37, número 002. Colegio de Postgrados. Texcoco México. Pp. 157-166.
- Romeo, A. Fonseca. G. K. Ortega S. J, García. L. 2009. Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. Revista Química Viva. México. Pp. 12-13.
- Romero, J. A. 1999 (a). Calidad del Agua. Alfaomega grupo editor, S.A. de C.V (vol. 2), México, D.F. Pp. 63-80, 191-195.
- Romero, J. A. 1999 (b). Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Escuela Colombiana de Ingeniería. 3ª edición. P. 320.
- Romero, J. y M. Alberola. 2005. Los limites de territorio. El país Valenciano en la encrucijada. Publicado por la Universidad de Valencia. Pp. 85 y 86.
- Rosas, G. R. Fuente. A. M. Smer. B. E. Estrada. C. P. 2009. Problemática del agua. Asamblea legislativa, gobierno de Tamaulipas. 1pp, Victoria, Tamaulipas. School of Earth and Atmospheric Sciences, India. Pp. 1-2.

Salazar. J. Soria. G. Manuel. F. 2006. Demanda y Distribución del agua en la comarca lagunera, México. Agrocienca. Colegio de posgraduados. México. Pp. 1-2.

Salisbury, F. y C. L. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A de C.V. México D.F. P. 759.

Sánchez, G. y G. Batres 2006. "Planeación y Desarrollo del Espacio Urbano de la Laguna del Carpintero, Municipio de Tampico, Tamaulipas. (México)". Congreso Internacional de Red de Estudios Municipales. Pp. 32-37.

Sans F., R. y J. de Pablo R. 1989. Ingeniería Ambiental. Contaminación y tratamiento. Ediciones Marcombo. P. 149.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011 (a). (en línea). Leyes y Normas. Disponible en:
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/inicio.aspx>. Consultado 15/02/ 2011.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011 (b). (en línea). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Disponible en:
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%15Oficiales%15Mexicanas%vigentes/NOM-001-ECOL.pdf>. Consultado: 15/02/2011.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011 (c). (en línea). Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Disponible en:

<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%15Oficiales%15Mexicanas%vigentes/NOM-002-ECOL.pdf>. Consultado: 15/02/2011.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011 (d). (en línea). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%15Oficiales%15Mexicanas%vigentes/NOM-003-ECOL.pdf>. Consultado: 15/02/2011.

Serrato, S. R. 1994. Análisis ecológicos de sitios en los bosques de pino-encino del estado de Durango. Disertación doctoral. Universidad Autónoma de Chihuahua. Fac. de Zootecnia. Div. de Posgrado e Investigación. Mex. P. 113.

Soria, G. E. Salazar. G. A. Flores. M. S. Hernández. F. Alacala. V. R. 2006. Demanda de agua en la comarca lagunera, México. Agrociencia. México. Pp. 23-50.

Toledo,. A. 2002. El agua en México y el Mundo. Gaceta Ecológica-Instituto Nacional de Ecología (México) No. 64: 9.18.

Yesilnacar,. M. I. Gulluoglu. M. S. 2007. Hydrochemical characteristics and the effects of irrigation on groundwater quality in Harran Plain, GAP Project, Turkey. Department of Environmental Engineering. Anliurfa, Turquía. P. 2.

X. APÉNDICE

Cuadro 4. Base de datos del año 2010, de la planta tratadora de agua residual de Gómez Palacio, Durango, utilizada en este trabajo.

MESES	pH	GA	N _T	DBO	P _T	SST	T	DQO
ENERO	7.95	9.8	48.8	140.8	7.16	75	14	245.5
FEBRERO	8.01	20.9	39.6	82.2	18.6	84	14.1	258.6
MARZO	7.98	16	37.6	101.8	6.57	72	18.2	225.5
ABRIL	7.98	17.8	29.5	49.2	5.71	60	20.9	176.6
MAYO	7.89	19.2	38.1	88.3	6.15	85	25.5	318.9
JUNIO	7.75	15	34.9	64	8.86	58	27.5	227.1
JULIO	7.75	8.3	31.6	36.1	7.66	75	26.8	176.7
AGOSTO	7.8	25.2	35.3	140	5.82	40	28.5	286.3
SEPTIEMBRE	7.59	8.8	33.6	62	6.53	41.4	27.5	88.2
OCTUBRE	8.36	25.2	26.13	75.4	6.44	45	22.6	112.2
NOVIEMBRE	8.21	13	28.6	60.7	7.77	65	17.1	180.4

Variación de las características fisicoquímicas del efluente en el periodo de estudio

En las siguientes gráficas se muestra el comportamiento de las distintas variables (pH, GA, N_T, DBO, P_T, SST, T Y DQO) tomados en cuenta para determinar los valores estadísticos básicos, el mejor modelo de predicción y la correlación simple, durante el periodo de Enero-Noviembre, 2010.

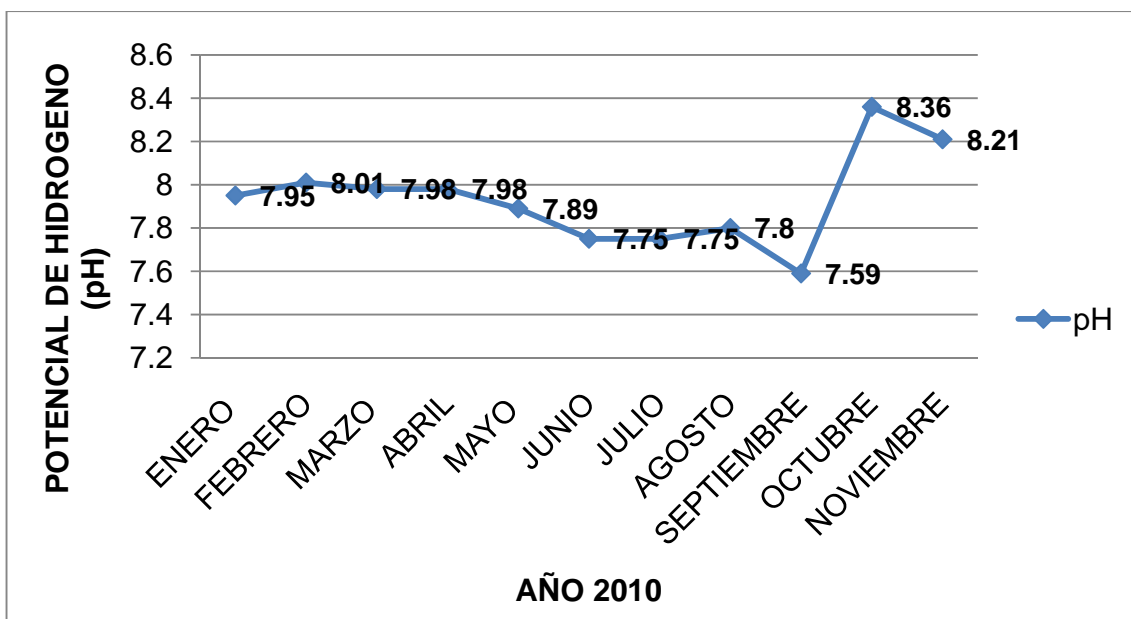


Figura 3. Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH).

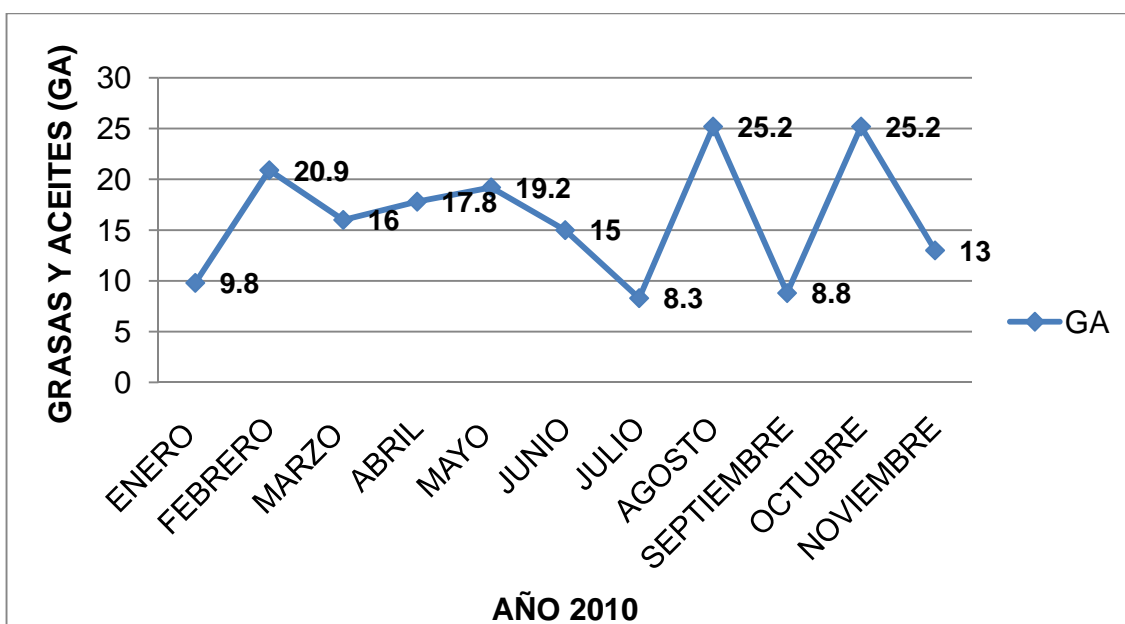


Figura 4. Comportamiento de las grasas y aceites (GA).

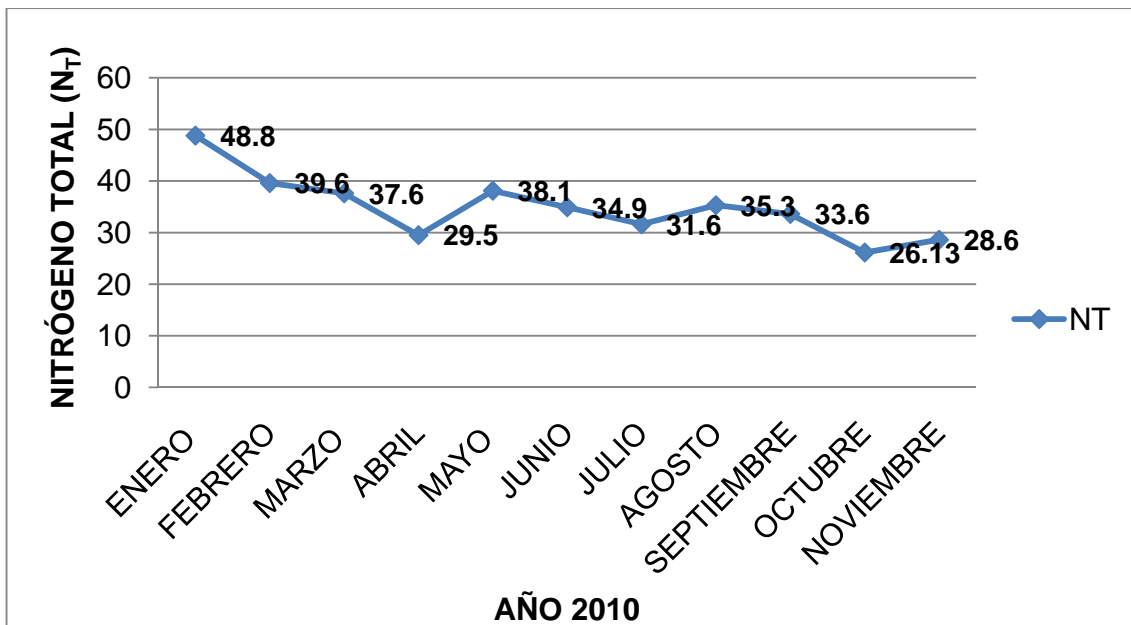


Figura 5. Comportamiento del nitrógeno total (NT).

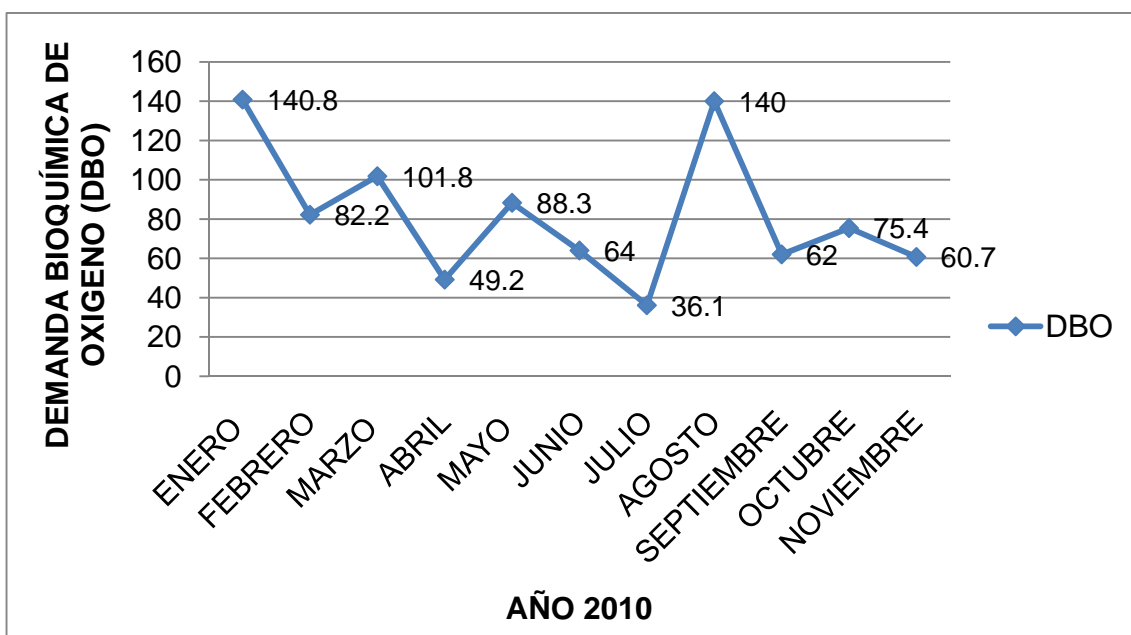


Figura 6. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

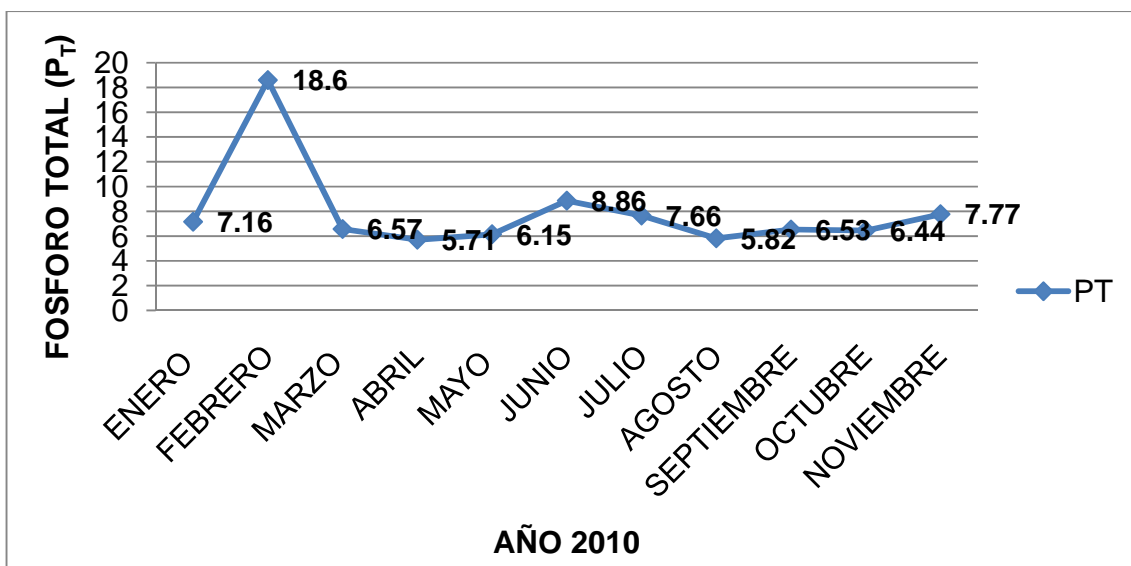


Figura 7. Comportamiento del fosforo total (PT).

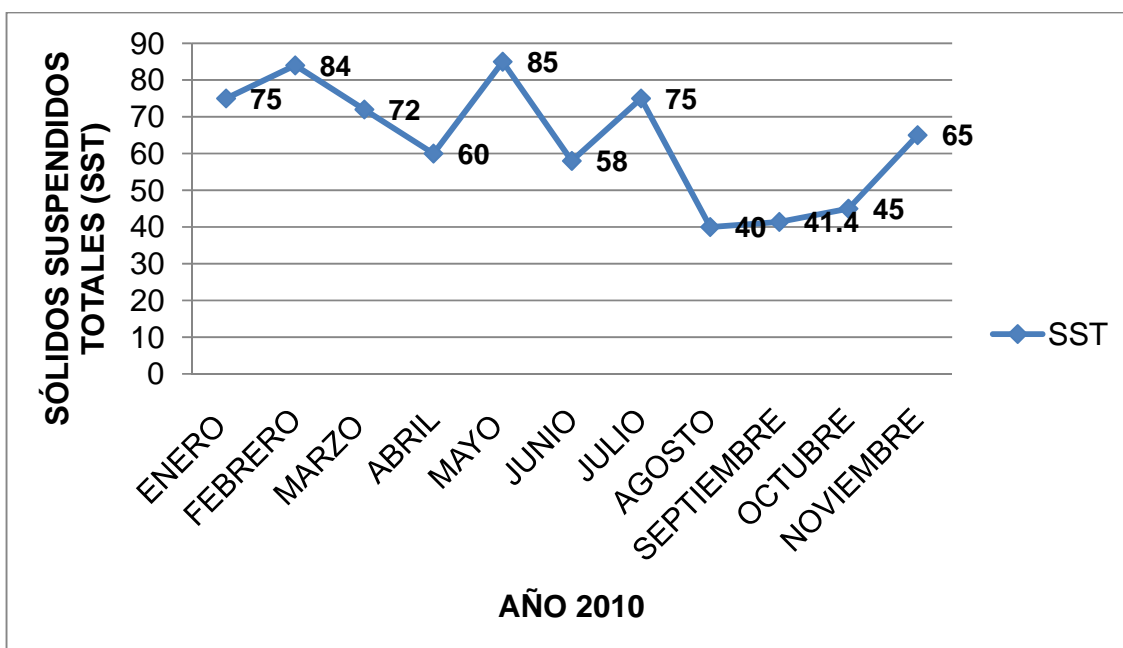


Figura 8. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales (SST).

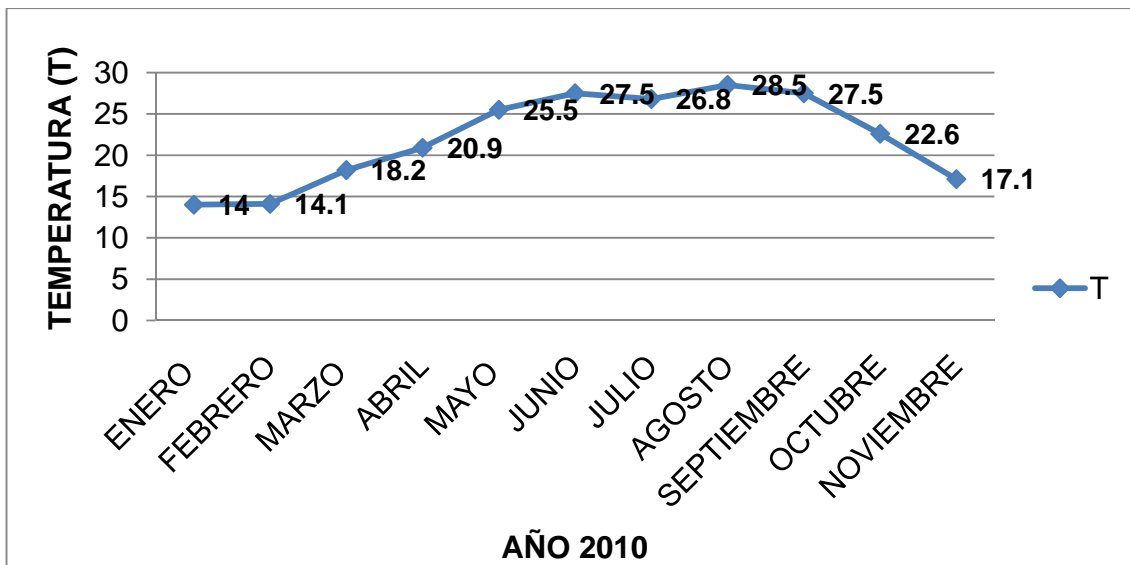


Figura 9. Comportamiento de la temperatura (T).

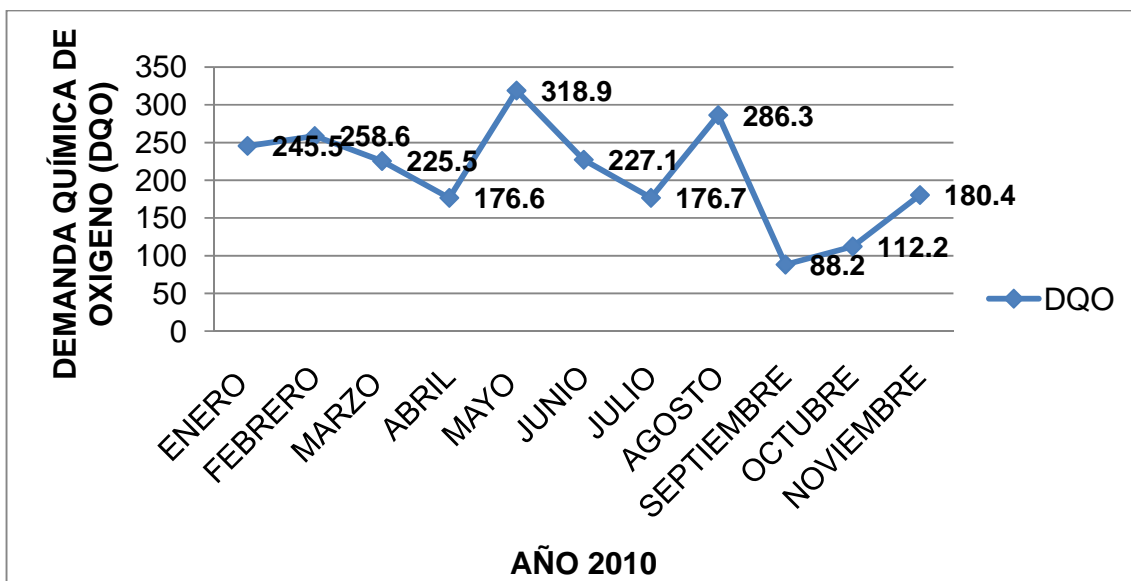


Figura 10. Comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO).