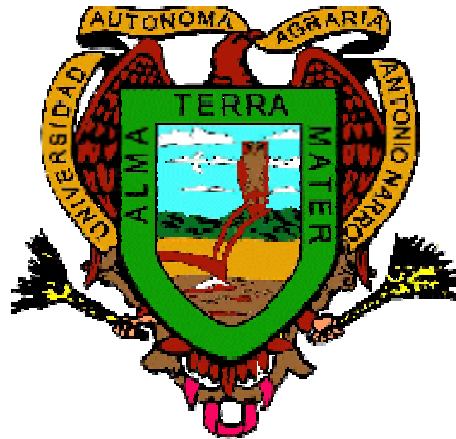


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**CALIDAD, PREDICCIÓN Y CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DE AGUA
RESIDUAL DE GÓMEZ PALACIO, DURANGO**

POR:

MERARI ESPERANZA PÉREZ BARTOLÓN

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

CALIDAD, PREDICCIÓN Y CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DE AGUA
RESIDUAL DE GÓMEZ PALACIO, DURANGO

TESIS DE LA C. MERARI ESPERANZA PÉREZ BARTOLÓN QUE SE
SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE
ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

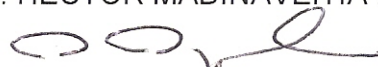
APROBADA POR:

ASESOR:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

COASESOR:



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

COASESOR:



DR. ALFREDO OGAZ

COASESOR:

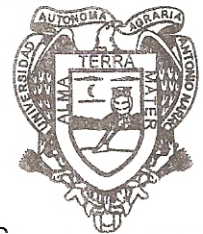


BIOL. MARÍA ISABEL BLANCO CERVANTES



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN 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

CALIDAD, PREDICCIÓN Y CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DE AGUA
RESIDUAL DE GÓMEZ PALACIO, DURANGO

TESIS DE LA C. MERARI ESPERANZA PÉREZ BARTOLÓN QUE SE
SOMETE A LA 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:

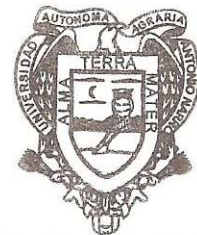


ING. RUBI MUÑOZ SOTO



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios.- Por darme la fortaleza, salud, inteligencia para seguir adelante, le agradezco a Dios por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, y por ayudarme a salir adelante en este trayecto de mi vida. Por mis logros y triunfos todo se lo debo a él, Gracias Dios Mío.

A mis padres.- Por brindarme su apoyo incondicional tanto moral y económicamente, y por estar conmigo siempre en las buenas y en las malas. Gracias por confiar en mí.

A mi familia.- Gracias por ser como son, por apoyarme en los momentos más difíciles en mi vida, por brindarme toda su confianza. Los quiero a todos, en toda mi vida se los voy a agradecer.

A mis amigos.- Les agradezco infinitamente todo el apoyo moral que me dieron en los momentos más difíciles cuando más lo necesite.

A MI ALMA TERRA MATER

A mi escuela por abrir las puertas de sus instalaciones, por ayudarme a formar como profesional, y darme las herramientas necesarias para poder prepararme y ser alguien en la vida. Agradezco a todos mis profesores que de alguna manera se tomaron el tiempo de transmitir sus enseñanzas sin beneficio alguno.

Al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos.- Por ser una gran persona. Le agradezco toda la atención y el tiempo que me brindó en la realización de este trabajo. Gracias por transmitir y compartir sus experiencias de

aprendizaje, y brindar la confianza hacia mi persona. Siempre le estaré infinitamente agradecida. Que Dios lo Bendiga.

Al Dr. José Luis Reyes Carrillo.- Dr. Le agradezco toda la tención que me ha brindado y por haber apoyado en la realización de este trabajo. Ya que sin su apoyo no hubiese sido posible este trabajo.

Al Dr. Alfredo Ogaz.- Gracias Doctor por ayudar a realizar este trabajo. Gracias por su atención y su apoyo incondicional.

A la Biól. María Isabel Blanco Cervantes.- Gracias por tus atenciones y paciencia que me has brindado, y por formar parte de este trabajo, muchísimas gracias por todo ya que sin tu ayuda este trabajo no se hubiera hecho posible. Gracias.

A la Ing. Rubí Muñoz Soto.- A usted Ing. Le agradezco por formar parte de mi trabajo, y por la atención que me ha brindado. Gracias.

DEDICATORIAS

A Dios.- A Dios por estar siempre conmigo. Por recorrer cada trayecto de mi vida, por que sin él este logro de mi vida nunca se hubiera hecho realidad, gracias Dios mío por nunca abandonarme en los momentos cuando yo más te necesite. Tú siempre estabas ahí para darme esas fuerzas y esas ganas de echarle ganas siempre.

A mi Mamá Edelmira Bartolón Roblero.- A usted mamita le agradezco todo lo que ha hecho por mí, por que siempre usted fue, es y seguirá siendo mi inspiración y mi ejemplo a seguir. Sin usted esto nunca hubiera sido posible, éste logro también es de usted, por que usted es una guerrera que me ha enseñado a no darme por vencida y seguir siempre adelante. Muchísimas gracias mamita por todo y por creer en mí TE AMO.

A mi Papá Hernán Antonio Pérez Díaz.- A ti papito hermoso te agradezco por darme la vida y a formar parte de una familia tan bonita como la que nos diste a mis hermanos y a mí. Aunque ya no estas aquí con nosotros, se que nos cuidas desde el cielo, se que éstas orgulloso de tus hijos. Gracias papá TE AMO.

Al Prof. Avilio Mejía Pérez.- A usted profe le agradezco todo lo que ha hecho por mí, por formar parte de mi familia, por que para mí y mis hermanos que estamos a su lado es el Papá que nunca tuvimos y TAMBIEN LO AMO como a un padre. Gracias por darme todo los consejos y su apoyo incondicional que me ha brindado tanto moral como económicamente, nunca se lo voy a terminar de agradecer.

A mis hermanos.- A Hernán, Bani, Darianita, Aguida, Lucas, Evila, Antonia, Valentina, Meselemia, Roselia, Floridalma, Silvia y a mi hermano Iber y a mis queridos abuelitos que ya no esta con nosotros, pero se que están orgullosos por este logró. A ustedes hermanos les agradezco por apoyarme y por creer en mi, gracias por su apoyo incondicional tanto emocional como económicamente, y jamás voy a terminar de agradecer lo que han hecho por mí. Gracias a todos los Amo.

A mi familia.- Agradezco a toda mi familia que de alguna manera me apoyaron incondicionalmente, a mi cuñada Roselia y Jovita a mis sobrinos gracias por su apoyo por sus palabras de ánimo gracias.

A mi novio Marvel Avisai, te Amo hermoso gracias por estar con migo en los mementos más difíciles, gracias por brindarme todo tu apoyo. Siempre te estaré infinitamente agradecida.

A mis amigos.- A Lucy, Marbi, Vilma, Elba, Anna, Favi, Kuki, Maru, Misael, Olivio, Abdiaz, Greisi, Raquel, Alejandro, Manuel, Felipe, y a mis compañeros de la carrera y demás amigos con los que compartí momentos bonitos. A ustedes amigos gracias, por su apoyo incondicional, por esas palabras de ánimo cuando más lo necesité, y por compartir conmigo momentos inolvidables. Siempre los llevare en mi corazón. Los quiero.

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	III
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	3
Objetivos Generales.....	3
Objetivos Específicos.....	3
HIPOTESIS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
El agua	4
Estructura	4
Características físicas y químicas.....	5
Impurezas presentes en el agua.....	5
Reutilización del agua residual sin tratamiento y con tratamiento.....	5
Normatividad Ambiental en materia de contaminación del agua	6
NOM-001-SEMARNAT-1996	6
NOM-002-SEMARNAT-1997	7
NOM-003-SEMARNAT-1997	7

Uso del agua.....	7
Consumo excesivo del agua	8
Contaminación del agua	8
Contaminación de agua en México.....	10
Fuentes de contaminación de agua.....	10
Fuentes puntuales	11
Fuentes no puntuales	12
Clasificación de los contaminantes del agua	13
Principales tipos de contaminantes del agua	13
Contaminantes físicos.....	13
Contaminantes químicos	13
Contaminantes orgánicos	14
Contaminantes biológicos.....	14
Efectos de la contaminación del agua	15
Fuentes y control de la contaminación del agua.....	16
El agua residual	17
Contexto de la generación de aguas residuales en México	18
Origen del agua residual	19
Agua residual doméstica o sanitaria	19
Agua residual industrial.....	20
Aguas residuales urbanas	20
Composición del agua residual	21

Características del agua residual.....	22
Características físicas.....	22
Sólidos totales	22
Color.....	22
Olor.....	23
Temperatura	24
Turbiedad	24
Características químicas.....	25
pH.....	25
Conductividad eléctrica	26
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	26
Demanda química de oxígeno (DQO)	27
Sulfatos	28
Detergentes.....	28
Condiciones de toxicidad.....	29
Características biológicas	29
Bacterias	29
Microorganismos	29
Técnicas de regresión y correlación.....	30
Regresión lineal simple.....	30
Correlación simple	31
Regresión múltiple	31

Planta tratadora de aguas residuales de la ciudad de Gómez Palacio Durango.	32
Localización	32
Superficie.....	32
Constituyentes de la planta.....	32
Sistema de tratamiento.....	33
Uso del agua residual tratada	33
Empresa operadora	33
Descripción del procedimiento	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
Calidad del agua residual antes de ser tratada	35
Modelo de predicción	37
Correlación simple	39
V. CONCLUSIONES	41
VI. RECOMENDACIONES.....	42
VII. LITERATURA CITADA.....	43
VIII. APÉNDICE	51

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Parámetros comúnmente empleados en la caracterización de un agua residual.....	21
2	Valores estadísticos básicos de las variables medidas en el influente de agua residual en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio, Durango, México., 2010.....	37
3	Modelo de regresión y análisis de varianza para la predicción de la DQO de agua residual en la planta tratadora en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio, Durango., 2010.....	38
4	Correlación simple entre las variables medidas en la planta tratadora de agua residual en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio, Durango, 2010.....	40
5	Base de datos del año 2010, de la PTARS de la ciudad de Gómez Palacio, Durango, utilizada en este trabajo.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
Figura 1	Comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO).....	52
Figura 2	Comportamiento del potencial hidrogeno (pH).....	52
Figura 3	Comportamiento de la conductividad eléctrica (CE).....	53
Figura 4	Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	53
Figura 5	Comportamiento de la relación entre DQO/DBO.....	54
Figura 6	Comportamiento de los Sulfatos (S).....	54
Figura 7	Comportamiento de los detergentes (DET).....	55

RESUMEN

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio Durango, México. El objetivo de este trabajo fué determinar la calidad, predicción y correlación entre variables de agua residual. Las variables medidas fueron: demanda química de oxígeno (DQO), pH, conductividad eléctrica (CE), demanda bioquímica del oxígeno (DBO), relación demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno (DQODBO), sulfatos (S) Y detergentes (DET), determinar cuál es la variable que más influye en las aguas residuales. También se utilizó la base de datos del año 1998 y el paquete estadístico computacional SAS System (2001). Según los resultados obtenidos las siete variables que se analizaron estadísticamente, se encuentra dentro de los rangos de calidad que debe existir en el influente de agua residual. Para determinar el modelo de predicción, se hicieron varias combinaciones en el programa hasta obtener la que mayor coeficiente de determinación presentó, siendo la DQO el que se consideró como variable dependiente con un coeficiente de determinación de 0.99. Al analizar las correlaciones entre las diferentes variables se pudo observar que la mayor correlación fue la que obtuvo la DQO con relación a los Sulfatos, y la DQO con relación A la DBO.

Palabras clave: Agua residual, influente, contaminación, modelo de predicción, correlación simple.

I. INTRODUCCIÓN

El agua cubre tres cuartas partes de la superficie de la Tierra (mares, ríos, lagos, etc.) y constituye del 50 % al 90 % por peso, de todas las plantas y animales.

El agua es considerada hoy en día como un importante patrimonio, y como un medio de vida al que hace falta preservar tanto en cantidad, en calidad y diversidad. Sus usos deben ser organizados para permitir satisfacer óptimamente la totalidad de las necesidades, evitar el despilfarro, asegurar su renovación e impedir las degradaciones irreversibles. Por lo tanto, el conocimiento del recurso en términos de cantidad, calidad y disponibilidad resulta indispensable para el desarrollo, uso adecuado y sostenible del mismo. En ese sentido, una gestión hídrica racional requiere poder acceder, de manera fiable y continua, a la información sobre el recurso y sus usos.

Las aguas residuales son el conjunto de las aguas que se contaminan luego de ser empleadas en las distintas actividades realizadas por las personas.

El agua residual, es aquella que ha sufrido una alteración en sus características físicas, químicas o biológicas por la introducción de contaminantes como residuos sólidos, biológicos, químicos, municipales, industriales, agrícolas, etc., afectando así los ecosistemas acuáticos y su entorno.

La composición de las aguas residuales es muy variable en razón de los diversos factores que lo afectan. Entre estos se tiene el consumo promedio de agua por habitante y por día que afecta su concentración (cantidad) y los hábitos alimenticios de la población que caracteriza su composición química (calidad).

En general, las aguas residuales contienen aproximadamente un 99.9 % de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbohidratos, proteínas y grasas.

Tal como lo determinan la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América EPA, el control de las descargas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en el sitio de origen se convierte en un reto importante para las diferentes autoridades ambientales, pues su uso masivo y su dispersión a lo largo y ancho del planeta imposibilitan el control y evaluación de cada sistema instalado. Así mismo las técnicas de caracterización, tal como se encuentran establecidas en la actualidad (muestreo puntual y muestreo compuesto), no permiten obtener muestras representativas de las aguas residuales y de las aguas tratadas para este tipo de sistemas, dificultando aun más su control.

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5 % de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales.

OBJETIVOS

Objetivos Generales

- Determinar la calidad, predicción y correlación entre variables de agua residual que ingresa a la planta tratadora de Gómez Palacio, Durango.

Objetivos Específicos

- Obtener los valores estadísticos básicos de las variables medidas: desviación estándar y valor mínimo y máximo de los distintos parámetros en el influente de agua residual de el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio Durango.
- Obtener el modelo de predicción para el agua residual.
- Obtener las correlaciones simples entre variables de agua residual.

HIPOTESIS

Existe correlación entre variables de aguas residuales que llegan en bruto a una planta tratadora de aguas residuales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El agua

El agua es considerada como uno de los recursos naturales fundamentales para el desarrollo de la vida, y junto con el aire, la tierra y la energía, constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo. El agua, una molécula simple y extraña, puede ser considerada como el líquido de la vida. Es la sustancia más abundante en la biosfera, dónde la encontramos en sus tres estados (sólido, líquido y gaseoso) (Sáenz y Chaco, 2002).

A partir del recurso hídrico el hombre construye sus mitos, religiones y civilizaciones. El agua es considerado como un bien natural, verdadero, inagotable en apariencia. Sin embargo, debido a su explotación y uso indiscriminado, la somete a una alarmante contaminación, convirtiéndose en un bien caro (Tortolero, 2000).

El agua es un regalo de la naturaleza, pero lo que la naturaleza nos puede dar tiene un límite. En muchos lugares, la cantidad de agua potable se está reduciendo peligrosamente. Donde la tierra ha sido pavimentada y se han talado los árboles, la lluvia que antes se absorbía en la tierra y se almacenaba en acuíferos, ahora es arrastrada hasta el mar y se vuelve agua salada. Mucha del agua que queda está demasiado contaminada para el consumo humano. Para garantizar el acceso al agua potable, es importante saber cómo conservar, proteger, almacenar y purificar el agua. La comunidad debe motivarse para cambiar lo que no funciona y hacer estos cambios sustentables a través de la organización y la acción comunitaria (Conant, 2005).

Estructura

El agua pura está constituida por moléculas, donde dos átomos de hidrógeno se encuentran unidos a uno de oxígeno (H₂O), separados entre sí 105°. (Fagundo y González, 1999).

Características físicas y químicas

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

Impurezas presentes en el agua

En el sentido estricto, no hay producto químico puro. En el caso del agua todo lo que se encuentra en ella y no es agua, es una impureza. Ésta se considera como contaminante cuando su concentración alcanza un nivel tal que pueden afectar los procesos industriales, dañar la vida acuática o a la salud pública. En la naturaleza, las impurezas presentes en el agua rara vez superan el 1 %, salvo en el agua del mar que contiene alrededor del 3 % de sales minerales disueltas y, también, en algunos residuos industriales líquidos (RIL). La introducción de impurezas/contaminantes en el agua está vinculada a las lluvias, naturaleza geológica del manto por donde percola el agua subterránea y las actividades, tanto naturales como antrópicas. Estas sustancias pueden estar disueltas o en suspensión (Street, 2003).

Reutilización del agua residual sin tratamiento y con tratamiento

El agua dulce constituye aproximadamente el 0.6 % de la cantidad total de agua en el planeta. El recurso agua dulce está irregularmente distribuido y la calidad del agua está deteriorándose en muchas partes del mundo, pero está también mejorándose en algunos lugares. En el mundo está presente una crisis del agua. La causa de esta crisis puede ser atribuida a la escasez de precipitación y limitación del recurso, en adición al aumento en la demanda, por los sectores: agrícola, urbano e industrial, además la mayoría del agua disponible globalmente se utiliza en el riego de cultivos (Alzaba, 1998).

La reutilización del agua residual en vez de eliminarla a los cuerpos de agua superficiales, puede contribuir a disminuir la contaminación del medio ambiente, además de un beneficio económico al aprovechar los nutrientes como nitrógeno y fósforo (Stott *et al.*, 1997).

La reutilización del agua residual en la agricultura es un elemento de desarrollo del recursos agua y dirección innovadora que mantiene una alternativa para la agricultura. El reutilizar el agua recuperada para el riego refuerza la productividad agrícola; esta provee de agua y nutrientes, y mejora rendimientos de los cultivos. Sin embargo, requiere protección a la salud pública, apropiada tecnología de tratamiento, confiabilidad del tratamiento, usos del agua, aceptación y participación del público, también debe ser económicamente y financieramente viable (Bahri, 1999).

En las zonas áridas y semiáridas el recurso agua de buena calidad está volviéndose más escasa y se asigna con prioridad a satisfacer la demanda urbana. Por esta razón se esta incrementado la necesidad de regar con aguas que tienen contenidos de sales, las cuales puede ser de origen subterráneo, agua residual cruda o tratada (Martínez, 1999).

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 los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de agua residual (SEMARNAT, 2007(a)).

NOM-001-SEMARNAT-1996

Esta Norma Oficial Mexicana, fue 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 dicha descarga. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a la descarga de agua proveniente de drenaje pluvial independiente (SEMARNAT, 2007 (b)).

NOM-002-SEMARNAT-1997

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domesticas, pluviales, ni a las generadoras por la industria, que sean distintas a las residuales de proceso y conducidas por drenaje separado (SEMARNAT, 2007 (c)).

NOM-003-SEMARNAT-1997

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso (SEMARNAT, 2007 (d)).

Uso del agua

El incremento del uso de agua plantea la necesidad de buscar mecanismos para integrar el uso eficiente en los programas y proyectos, considerando el rol del agua como un bien ambiental, social y económico, y los derechos de los grupos más necesitados y vulnerables. Cada vez, el agua adquiere mayor importancia porque es un recurso limitado y no siempre

disponible en el lugar en que se requiere. En el futuro la demanda crecerá a medida que la población aumente y a causa de la expansión económica. Al mismo tiempo los recursos de agua permanecerán estables en términos de la cantidad disponible, pero decrecerá la cantidad que se puede usar debido al deterioro de la calidad causada por la contaminación. Además, en ciertos períodos del año la disponibilidad de agua se reduce debido al deterioro de las cuencas hidrográficas, producto de la erosión. En este sentido, este documento busca apoyar al lector ofreciendo información actualizada sobre el desarrollo del tema y los diferentes contactos que pueden establecerse para profundizar y conocer los últimos desarrollos (GWP, 2000).

Consumo excesivo del agua

Las principales causas de un consumo excesivo de agua son las siguientes:

- Infraestructuras anticuadas o mal conservadas.
- Sistemas de gestión y explotación obsoletos.
- Procedimientos o hábitos de riego anticuados.
- Falta de control de los caudales utilizados (García, 2003).

Contaminación del agua

La contaminación del agua probablemente empezó con la fundación de las primeras ciudades, hace 7,000 años, en las orillas de los ríos Tigris, Éufrates e Indus. Las ciudades utilizaron el agua de ríos, lagos y mares como vertederos para diluir y dispersar sus residuos. Los desechos agrícolas, industriales y domésticos afectan en cierta forma la vida normal de un cuerpo de agua. Cuando la influencia es suficiente para hacer el agua inaceptable para su uso, se dice que esta contaminada (Hammer, 1986).

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida (Echarri, 2007).

La contaminación es uno de los principales problemas que enfrentan los acuíferos en México. Si bien es cierto que las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, cuando esta contaminación se produce, es más costosa y difícil de eliminar. Sucede así porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo medio de permanencia del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su saneamiento. En muchas ocasiones, la situación se agrava por el reconocimiento tardío de que se está deteriorando el acuífero, ya que como el agua subterránea no se ve, el problema puede tardar en hacerse evidente (Carabias, 2006)

A finales del año 2000 la CNA informaba que solo 5 % de los cuerpos de agua superficial del país presentaba una calidad excelente; 22 % estaba en condiciones aceptables (es decir, que un tratamiento convencional la convertía en potable); 49 % se considera como poco contaminado, pero 24 % presentaba tal grado de contaminación que resultaba prácticamente imposible darle algún uso directo, aunque se podría utilizar para usos indirectos. Esto implicaba que solo 27 % de las aguas superficiales mexicanas eran de calidad aceptable. Esta situación está asociada, en gran medida, con las descargas de aguas residuales sin tratamiento que reciben los cuerpos de agua, así como a la no evaluada contaminación difusa, lo cual ha ocasionado grados variables de contaminación (CNA, 2000).

Contaminación de agua en México

Prácticamente todos los cuerpos de agua importantes enfrentan graves problemas de contaminación. En las cuencas de los ríos Panuco, Lerma San Juan y balsas se recibe el 50 % de las descargas de agua residual. Los acuíferos más contaminados se localizan en la Comarca Lagunera, Valle de México, región del Bajío y Valle del Mezquital (CNA, 2002).

México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua. INEGI y SEMARNAT informan que los recursos hidráulicos más contaminados y sobreexplotados se concentran en las zonas más pobladas del país, en la que escasea más el agua, provocando que la calidad de esta sea inadecuada para la gran variedad de usos incluyendo el consumo humano. Entre las fuentes que muestran una contaminación excesiva están: la Península de Baja California, Lerma-Santiago-Pacífico. Las regiones de Balsas de Michoacán y parte de Guerrero aunque cuentan con agua subterránea, tienen el problema de una muy baja cobertura de líquido potable, alta contaminación de las aguas superficiales y daños por fenómenos hidrometeorológicos intensos. En tanto la cuenca del Golfo Centro, el mayor problema es la contaminación del líquido, en la del Valle de México hay contaminación de agua superficial y profunda (Enciso, 2003).

Fuentes de contaminación de agua

- Aguas residuales urbanas, o aguas negras. Muy ricas en microorganismos, materia orgánica y productos químicos de uso doméstico, como detergentes y productos de limpieza. Tienen una gran demanda de oxígeno (los microorganismos que descomponen la materia orgánica lo consumen).
- Aguas ricas en nutrientes de uso agrícola, de composición variable, pero fundamentalmente ricos en nitratos y fosfatos, peligrosos para la salud y

con influencia en la eutrofización de aguas lentas y en la contaminación de acuíferos.

- Aguas ricas en residuos de origen ganadero, aportan microorganismos y nitrógeno, de gran influencia en la contaminación de las aguas subterráneas.
- Productos químicos de origen industrial, como las sustancias tensoactivas y coadyuvantes contenidas en los detergentes, los pesticidas, los productos de descomposición de otros compuestos orgánicos y el resto de productos industriales.
- Petróleo, y sus derivados, especialmente el procedente de los vertidos accidentales.
- Contaminación térmica, relacionadas con la industria.
- Obras civiles, como presas o embalses, y rectificación de canalización o trasvase de los ríos. Son necesarios estudios previos de valoración del impacto ambiental que producen (Correa y Arroyo, 2000).

Fuentes puntuales

Las fuentes puntuales descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías o alcantarillas a cuerpos de agua superficial. Los ejemplos incluyen fábricas, plantas de tratamiento industrial, plantas de tratamiento de aguas negras (retiran la mayoría de los contaminantes, pero no todos), minas subterráneas de carbón activas y no activas, minas de oro y pozos petroleros fuera de la costa. Un ejemplo es el caso de los Estados Unidos. Solamente el 9 % del volumen de contaminación de agua superficial de este país procede de fuentes puntuales, pero gran parte de esta contaminación consiste en sustancias orgánicas y materiales pesados que son tóxicos aún en cantidades pequeñas. En 1988, las industrias de dicho país descargaron 425 millones de kilogramos de productos químicos tóxicos directamente a aguas superficiales, o bien, a alcantarillas municipales. Las industrias emitieron una cantidad adicional de 2,400 millones de kilogramos

de sustancias tóxicas al aire, almacenaron esas sustancias químicas en depósitos de superficie o las inyectaron en pozos profundos, con la posibilidad de que algunas pudieran contaminar el agua subterránea (Nebel y Wright, 1996).

Fuentes no puntuales

Las fuentes no puntuales son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua superficial y subterránea sobre una región extensa, y partes de la atmósfera donde los contaminantes son depositados en las aguas superficiales. Los ejemplos pueden incluir los vertimientos de sustancias químicas en el agua superficial y la infiltración desde tierras de cultivo, lotes de pastura para ganado, bosques talados, tierras urbanas y suburbanas, tanques sépticos, predios de construcción, sitios de estacionamiento, carreteras y deposición ácida, entre otras. Si ponemos de ejemplo otra vez a los Estados Unidos, se observa que la contaminación no puntual procedente de la agricultura (en forma de sedimento, fertilizante inorgánico, comercial, abonos, sales disueltas en agua de riego y plaguicidas) es responsable de un 64 % de la masa total de los contaminantes que entran en las corrientes fluviales, y de un 57 % de los que van a dar a los lagos. El ganado en este país produce cinco veces más desecho orgánico que los seres humanos, y el doble que el de la industria. Se ha logrado poco progreso en el control de la contaminación no puntual del agua, debido a la dificultad y gastos para identificar y controlar las descargas de muchas fuentes difusas (Nebel y Wright, 1996).

Se refieren a fuentes de contaminación provenientes de extensas superficies de tierra que descargan contaminantes sobre una gran área de aguas superficiales y por filtración a aguas subterráneas. Ej. Aguas de escorrentía de campos de cultivo, bosques, áreas urbanas, contaminación atmosférica. El control de la contaminación proveniente de fuentes no puntuales es más difícil ya que se desconoce el punto de entrada a los cursos de agua. Para el control de fuentes no puntuales es necesario poner más énfasis en prevención como por ejemplo: mejor uso del suelo, conservación del

suelo, control de la contaminación atmosférica, regulación de la población (Korbut, 1972).

Clasificación de los contaminantes del agua

Podemos clasificar los contaminantes del agua en ocho grupos principales: Microorganismos patógenos, desechos orgánicos, sustancias químicas inorgánicas, nutrientes vegetales inorgánicos, compuestos orgánicos, sedimentos y materiales suspendidos, sustancias radioactivas y contaminación térmica (Torres, 2000).

Principales tipos de contaminantes del agua

Contaminantes físicos

Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica). Sólidos en suspensión, cuando los sólidos en suspensión de un agua residual se vierten en lechos de ríos, lagos, etc., conducen al desarrollo de depósitos de lodos y aumentan las condiciones anaeróbicas de las zonas de vertido (Jiménez, 2001).

Contaminantes químicos

Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico). Gran parte de estos contaminantes son

liberados directamente a la atmósfera y bajan arrastrados por la lluvia. Esta lluvia ácida, tiene efectos nocivos que pueden observarse tanto en la vegetación como en edificios y monumentos de las ciudades industrializadas (www.sagan-gea.org).

La contaminación química sucede cuando productos orgánicos como detergentes aniónicos y ácidos grasos e inorgánicos en forma de iones de sulfatos, fosfatos, nitratos, cloruros y bicarbonatos entre otros muchos, son arrojados al agua. Los principales contaminantes del agua son los desechos industriales, el uso de plaguicidas y fertilizantes agrícolas, y el uso doméstico. Las sustancias químicas pueden ser de tipo industrial o domésticas, ya sea a través de residuos líquidos, como las aguas residuales de las viviendas, o por contaminación atmosférica, debido al material en forma de partículas que luego cae sobre el suelo cuando llueve (Jefe, 1856).

Contaminantes orgánicos

También son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (eutrofización). Las concentraciones anormales de compuestos de nitrógeno en el agua, tales como el amoníaco o los cloruros se utilizan como índice de la presencia de dichas impurezas contaminantes en el agua (Orozco y Pérez, 1998).

Contaminantes biológicos

Los principales organismos encontrados en el agua residual se clasifican como virus, protistas, plantas y animales. La categoría de los protistas incluye a

bacterias, hongos, protozoarios y algas. Los organismos patógenos pueden transmitir enfermedades contagiosas (Jiménez, 2001).

Incluyen hongos, bacterias y virus que provocan enfermedades, algas y otras plantas acuáticas. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua (www.sagan-gea.org).

Efectos de la contaminación del agua

Los efectos de la contaminación del agua incluyen los que afectan a la salud humana. La presencia de nitratos (sales del ácido nítrico) en el agua potable puede producir una enfermedad infantil que en ocasiones es mortal. El presente en los fertilizantes derivados del cieno o lodo puede ser absorbido por las cosechas, de ser ingerida en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo, así como lesiones en el hígado y los riñones (Singer *et al*, 2006).

Los efectos de la contaminación del agua incluyen los que afectan a la salud humana. La presencia de nitratos (sales del ácido nítrico) en el agua potable puede producir una enfermedad infantil que en ocasiones es mortal. El cadmio presente en los fertilizantes derivados del cieno puede ser absorbido por las cosechas; de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo así como lesiones en el hígado y los riñones. Hace tiempo que se conoce o se sospecha de la peligrosidad de sustancias inorgánicas como el mercurio, el arsénico y el plomo. Los lagos son especialmente vulnerables a la contaminación. Hay un problema, la eutrofización, que se produce cuando el agua se enriquece de modo artificial con nutrientes, lo que produce un crecimiento anormal de las plantas. Los fertilizantes químicos arrastrados por el agua desde los campos de cultivo pueden ser los responsables. El proceso de eutrofización puede ocasionar problemas estéticos, como mal sabor y olor, y un acumulo de algas o verdín desagradable a la vista, así como un crecimiento denso de las plantas con raíces, el agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas y la

acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos, así como otros cambios químicos, tales como la precipitación del carbonato cálcico en las aguas duras. Otro problema cada vez más preocupante es la lluvia ácida, que ha dejado muchos lagos del norte y el este de Europa y del noreste de Norteamérica totalmente desprovistos de vida (Dyna, 1998).

Fuentes y control de la contaminación del agua

Las principales fuentes de contaminación acuática pueden clasificarse como urbanas, industriales y agrícolas. La contaminación urbana está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales. Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan sólo reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas. En los últimos años, por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración. Los principales métodos de tratamiento de las aguas residuales urbanas tienen tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de arenillas, la filtración, el molido, la floculación (agregación de los sólidos) y la sedimentación; el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de cieno biológicamente activo, que seguidamente es filtrado; y el tratamiento terciario, en el que se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno y métodos físicos y químicos, tales como la filtración granular y la adsorción por carbono activado. La manipulación y eliminación de los residuos sólidos representa entre un 25 y un 50 % del capital y los costes operativos de una planta depuradora (Lapeña, 1998).

Las características de las aguas residuales industriales pueden diferir mucho tanto dentro de como entre las empresas. El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno, sino también de su contenido en sustancias

orgánicas e inorgánicas específicas. Hay tres opciones (que no son mutuamente excluyentes) para controlar los vertidos industriales. El control puede tener lugar allí donde se generan dentro de la planta; las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana; o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas sin más en corrientes o masas de agua. La agricultura, el ganado comercial y las granjas avícolas, son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías. Las medidas de control pueden incluir el uso de depósitos de sedimentación para líquidos, el tratamiento biológico limitado en lagunas aeróbicas o anaeróbicas, y toda una serie de métodos adicionales (Dyna, 1998).

El agua residual

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Mara, 1976).

Las aguas residuales son aquellas que han recibido algún uso, y se le han incorporado agentes contaminantes disminuyéndole su calidad. Además, generalmente se componen de 99,9 % agua, 0,1 % sólidos de los cuales el 70 % es orgánico (proteínas, carbohidratos, grasas, etc.) y 30 % inorgánico (metales, sales y gravas, etc.). Dichas aguas se dividen en residuales de tipo ordinario y especial. Las de tipo ordinario son las que provienen de inodoros,

duchas, lavaderos, lavado de ropa, fregaderos; y las especiales las de uso industrial (EMBRAPA, 2000).

Agua residual líquido, líquido de composición variada proveniente de uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario, o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada que haya sufrido degradación o alteración en su calidad original (SEMARNAT, 2007 (b)).

El Diario Oficial de la Federación define el agua negra municipal como aquella que resulta de la combinación del agua de desechos de casas habitación, fraccionamientos, áreas comerciales y servicios públicos o privados así como industrias, en el caso de que los procesos que se generen se localicen en centros de población y se viertan a un sistema de drenaje y alcantarillado operado por la autoridad competente u organismos autorizados para tal fin (Islas, 1993).

El agua municipal es aquella que resulta de la actividad de los habitantes de un núcleo urbano y que proviene frecuentemente de los baños y cocinas (Mugica y Figueroa, 1986).

Contexto de la generación de aguas residuales en México

México comprende regiones húmedas y regiones semiáridas o áridas: las regiones húmedas corresponden preferentemente a zonas de baja altitud al sureste del país, mientras las zonas semiáridas y áridas corresponden al centro y norte del país, ocupado en gran parte por el altiplano mexicano (Cañellas, 2002).

Según la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2005a), el 70 % de la precipitación se pierde por evapotranspiración, dejando una disponibilidad natural de agua de 475 km³ al año (escurrimiento superficial e infiltración). Esto representa un promedio de 4 505 m³/(hab.año). Una disponibilidad natural inferior a los 2 000 m³/(hab.año) se considera un indicador de escasez de agua. Por tanto, la disponibilidad promedio mexicana está bastante por encima

de ese valor, y es superior a la de países como España, Alemania o Francia aunque muy por debajo de la chilena, $63\,064\text{ m}^3/(\text{hab.}\text{año})$ (UNESCO, 2003).

Por la naturaleza del tratamiento de aguas residuales, se requiere una operación controlada de los procesos de tratamiento, para evitar tener problemas de olores, disposición de lodos y bajas eficiencias, que repercuten en los beneficios esperados del proyecto y en la aceptación de la comunidad a la tecnología utilizada. En consecuencia, estos proyectos requieren hacia el futuro unas labores de operación y mantenimiento que exigen la existencia o conformación de una estructura institucional que se responsabilice de su administración y la definición de un esquema tarifario que permita la sostenibilidad del servicio (Maldonado, 2002).

Origen del agua residual

Agua residual doméstica o sanitaria

El agua residual doméstica resulta del uso de agua en viviendas e incluye el agua después de usarse y los materiales de desecho que se le añaden: heces, arena, residuos de cocina, agentes limpiadores para hogares, detergentes y jabones de lavandería. Aquellas procedentes de zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas (Enciclopedia of Environmental Science, 1980).

En diciembre de 2004 se recolectaban $205\text{ m}^3/\text{s}$ de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado. El 31,5 % de este caudal se depuraba en los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales ($64,5\text{ m}^3/\text{s}$) (CNA, 2005c).

Según datos de 2003, se generan 2,17 millones de toneladas de DBO_5 , de las cuales 1,73 millones se recolectaban en los sistemas de alcantarillado, de los que se removían 0,51 millones en los sistemas de tratamiento (29,5 % de la DBO_5 captada por los sistemas de alcantarillado) (CNA, 2005b).

Agua residual industrial

Se denomina así al conjunto de líquidos residuales provenientes de los diferentes procesos y usos industriales. La industria genera en México alrededor de 160 m³/s de aguas residuales. Sin embargo, únicamente se trata cerca del 13 %. Además, el enfoque del tratamiento está dirigido a la eliminación de la materia orgánica sin considerar el abatimiento de la toxicidad. Este aspecto es relevante en ciertos efluentes, como los generados por la industria química orgánica (química, petroquímica, farmacéutica, textil, de los plásticos, de la fabricación de fibras sintéticas, etc.), pues representa cerca del 40% de las aguas residuales industriales. Independientemente de la evidente necesidad del tratamiento de las aguas residuales con fines ecológicos, para México es de vital importancia tratar las aguas residuales industriales con fines de reuso (Buitrón *et al*, 2006).

Aguas residuales urbanas

Las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). Las industrias que realicen el vertido de sus aguas residuales en esta red colectora, habrán de acondicionar previamente sus aguas (Rodríguez *et al*. 2006).

El agua residual urbana proviene fundamentalmente de la utilización doméstica, pequeñas industrias y lluvia. La composición de esta agua puede ser muy variada según su origen, las impurezas que predominan pueden ser arenas, grasas, materia orgánica disuelta, materia inorgánica y microorganismos (Seoanes, 1990).

Composición del agua residual

El término composición se refiere a la cantidad de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua residual. En el Cuadro 1 se presentan los principales parámetros comúnmente empleados para caracterizar un agua residual. Los constituyentes como su cantidad varían con la hora y el día, día de la semana, mes del año y otras condiciones locales inherentes a cada zona, región o país (Metcalf and Eddy, 1996).

Debido a la amplia gama de contaminantes, así como la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo de agua, es indispensable conocer las características del agua antes de seleccionarla como fuente de agua cruda (Barrenechea, 2000).

Cuadro 1. Parámetros comúnmente empleados en la caracterización de un agua residual.

Físicos	Químicos	Biológicos
Sólidos totales	Materia Orgánica, mg L ⁻¹	Organismos Patógenos
Suspendidos	(DBO ₅) ^(c)	Coliformes, 100 ⁻¹
Volátiles	(DQO)	Virus, ufc 100 ml ^{-1(b)}
Temperatura	Ph	
Turbiedad UNT^(a)	Alcalinidad Nitrógeno (orgánico y amoniacal NH ₃ -N, NH ₄ ⁺ -N Nitritos (NO ₂ -N Nitratos (NO ₃ -N) Fósforo mg PL ⁻¹ orgánico y reactivo soluble (PO ₄ ⁻³ -P)	

(a) Unidades nefelométricas de turbiedad

(b) (b) Unidades formadoras de colonias

(c) DBO₅. Demanda bioquímica de oxígeno determinada a los 5 días.

Características del agua residual

Características físicas

La característica física más importante del agua es el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta (Robert *et al.*, 1999).

Sólidos totales

La determinación de sólidos totales en muestras de agua por desecación es un método muy utilizado, algunas de sus aplicaciones son: determinación de sólidos y sus fracciones fijas y volátiles en muestras sólidas y semisólidas como sedimentos de río o lagos, lodos aislados en procesos de tratamiento de aguas limpias y residuales y aglomeraciones de lodo en filtrado al vacío, de centrifugación u otros procesos de deshidratación de lodos (Robert *et al.*, 1999).

Los sólidos suspendidos son principalmente de naturaleza orgánica; están formados por algunos de los materiales más objetables contenidos en el agua residual. La mayor parte de los sólidos suspendidos son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua. Incluso las partículas de materiales inertes adsorben sustancias orgánicas en su superficie. Pueden plantear problemas cuando las aguas residuales son tratadas mediante sistemas agrarios, debido a su capacidad de ocluir los poros del suelo y de poder llegar a establecer costras impermeables sobre la superficie de los terrenos (Seoanez, 1998).

Color

El color varía entre gris y pardo pero estos pueden pasar a negros debido a procesos anaeróbicos descontrolados (Pérez y Espigares, 1999).

El color debido a la materia en suspensión se conoce como color "aparente". El color "verdadero" es causado por sustancias de tipo vegetal. Muchas aguas residuales industriales son altamente coloreadas e imparten color a las aguas en las que se descargan, destacan las aguas residuales industriales provenientes de las industrias textiles, de pulpa y papel y de colorantes orgánicos. La remoción del color verdadero es difícil. La determinación del color se hace por medios colorimétricos utilizando soluciones estándar arbitrarias a partir de cloroplatinato de potasio (K_2PtCl_6) teñidas con pequeñas cantidades de cloruro de cobalto. Una unidad de color (UC) es igual al color producido por 1mg/L de platino como (K_2PtCl_6). Es un indicativo de las aguas residuales domésticas. Cuando son frescas, el color es grisáceo; a medida que los compuestos orgánicos son desdoblados por las bacterias y las condiciones ambientales se tornan anaerobias, el color cambia a negro. El color afecta principalmente el paso de la luz a través del agua, la presencia de materiales coloridos de difícil degradación son de riesgo para la vida acuática ya que obstruyen el buen desarrollo de esta, además algunos compuestos utilizados en la industria textil son tóxicos para la vida en el agua (NMX-AA-045-1981).

Olor

El olor es desagradable ya que este material contiene altos contenidos de productos pútridos. De igual forma durante el proceso de biodegradación se producen gas sulfhídrico, amonio, aminos y diaminas; dichos compuestos son los principales responsables de los olores desagradables (EMBRAPA, 2000). El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrogeno (olor a huevo podrido). Otros compuestos como Indol, Eskatol y Mercaptanos, formados bajo condiciones anaerobias, pueden causar olores muchos mas ofensivos que el de sulfuro de hidrogeno (Crites *et al*, 2000 a).

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

exposición continua a un olor tiende a que la sensibilidad disminuya. El mal olor es la principal característica de este parámetro ya que afecta la salud humana debido a lo desagradable del mismo y a la posibilidad de que en la industria se generen gases tóxicos que estén solubles en las aguas residuales y posteriormente por efectos de presión, temperatura y solubilidad sea liberados a la atmósfera (NMX-AA-083-1982).

Temperatura

La temperatura influye de forma muy significativa en las especies acuáticas determinando su metabolismo, productividad primaria, respiración y descomposición de materia orgánica. Por ejemplo cuando la temperatura aumenta se da una proliferación del fitoplancton aumentando también la absorción de nutrientes disueltos (Robert *et al.*, 1999).

La temperatura de los afluentes urbanos no plantea grandes problemas ya que oscila entre 10 y 20 °C; facilitando así el desarrollo de una fauna bacteriana y flora autóctona, ejerciendo una acción amortiguadora frente a la temperatura ambiente tanto en verano como en invierno y en cualquier tipo de tratamiento biológico. El aumento de la temperatura del agua, disminuye el contenido de oxígeno disuelto y hace organismos acuáticos más vulnerables a enfermedades, parásitos y sustancias químicas tóxicas. El valor de temperatura es un criterio de calidad para protección de la vida acuática y las fuentes de abastecimiento de agua potable, es un parámetro establecido como límite máximo permisible en las descargas de agua residual y una especificación de importancia en los cálculos de balance de energía y de calor en los procesos industriales (NMX-AA-007-1997).

Turbiedad

La turbidez es uno de los parámetros más importantes en la calidad del agua, es un indicativo de su contaminación, tiene un papel importante en el desempeño de laboratorios de prueba de análisis de las plantas de tratamiento de aguas residuales y de plantas purificadoras de agua (Sybil, 2010).

Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia en los rayos luminosos que pasan a través del cuerpo de agua. Es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. 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, 1999).

Características químicas

pH

La medición del pH (potencial Hidrógeno) significa medir la actividad del ión $[H^+]$ en la solución del suelo, es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo. El pH del suelo tiene un efecto en la disponibilidad de los nutrimentos, en la actividad de los microorganismos y en la solubilidad de minerales del suelo. La escala de medición tiene 14 divisiones conocidas como unidades pH, los valores alrededor de un pH de 7 corresponden a un suelo neutro, valores inferiores son ácidos (zonas lluviosas) y superiores de 7 son alcalinos (zonas secas); comúnmente, valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos (Call, 1999; Lutens y Salazar, 2000).

Es una característica determinante de los biosólidos crudos, debido a que afecta la actividad biológica de las aguas (la sobrevivencia de microorganismos patógenos), la solubilidad de sustancias, el grado de corrosividad del material y el grado de toxicidad de algunas sustancias y metales pesados (CWMI, 2003). Los biosólidos crudos suelen tener un pH próximo al neutro; aunque de acuerdo a (CWMI, 2003) el pH puede variar entre 4 y 12, dependiendo del origen del material (Pérez y Espigares, 1999).

El valor de pH de las soluciones acuosas es de gran importancia en la industria para definir la calidad de las mismas. Este valor se requiere para calcular el índice de Langelier que permite evaluar la agresividad o el poder incrustante del agua. El valor de pH es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descarga de aguas residual al alcantarillado o a

cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y consumo humano (NMX-AA-008-1997). 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).

Conductividad eléctrica

La conductividad es un parámetro regulado por los límites máximos permisibles en descarga de aguas residual al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para el contacto primario y para consumo humano. Las determinaciones de conductividad son de gran importancia pues dan una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, de procesos o bien del agua para ser usada en laboratorios en análisis de rutina o bien para trabajos de investigación (NMX-AA-093-1997).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la determinación de la rapidez con que la materia orgánica consume oxígeno por la descomposición bacteriana. La DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo (Tamayo, 2004).

La demanda bioquímica de oxígeno se determina con la relación en la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica en un período de incubación generalmente de 5 días a 20 °C (Metcalf y Eddy, 1996).

Demanda química de oxígeno (DQO)

El DQO es la medida de la capacidad de consumo de oxígeno de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable presente en el agua o aguas residuales. Se expresa como la cantidad de oxígeno consumida por un oxidante químico en una prueba específica. Debido al consumo de oxígeno por compuestos orgánicos muy complejos y difíciles de degradar, y por la materia orgánica no biodegradable, en la oxidación, este parámetro siempre va a ser mayor que la DBO (Pérez y Espigares, 1999). Esta es una prueba mucho más rápida que la DBO y se basa en la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar completamente la materia orgánica y compuestos inorgánicos oxidables. El valor de DQO siempre es mayor a la DBO y una proporción de 2.1 es común, pero siempre se requiere experiencia para interpretar y relacionar. Factores de interferencia son los Sulfuros, Sulfitos y Cloruros, como más comunes. $DBO/DQO < 0,2$ contaminantes de naturaleza no biodegradable y $DBO/DQO > 0,6$, contaminantes de naturaleza biodegradables (Ugarte, *et al.*, 2001).

Cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica Valores similares a los de DBO. Salvo cuando la materia orgánica no es biodegradable (Anónimo, 2007).

La demanda química de oxígeno (DQO) se obtiene por medio de la oxidación del agua residual en una solución ácida de permanganato o dicromato de potasio ($Cr_2O_7K_2$). Este proceso oxida casi todos los procesos orgánicos en gas carbónico y agua. La ventaja es que las mediciones de DQO se obtienen rápidamente, pero tienen la desventaja que no dan información de la proporción del agua residual que puede ser oxidada por las bacterias (Rolim, 2000).

Metales pesados

Entre los metales pesados que pueden causar problemas de toxicidad en la agricultura están el cobre, níquel y zinc; mientras que cualquier exceso de metal pesado puede causar problemas de salud a los humanos (King, 1986).

Sulfatos

El ion sulfato es uno de los que se presenta en mayor cantidad en aguas naturales. Todas las aguas naturales contienen sulfatos que provienen de yeso y minerales similares. Resultan también de la oxidación de sulfuros, sulfitos o tiosulfatos de los suelos. Su determinación es importante porque produce efectos característicos sobre las personas cuando su concentración es alta. Causa problemas en el mantenimiento y tratamiento de aguas. El sulfato presente en las aguas en si no es tan tóxico como el sulfuro de hidrógeno que es la forma más tóxica, ya que el aumento de las emisiones en forma de gas de este compuesto daña a la atmósfera al mezclarse con otros gases existentes en la misma, a su vez formando aún compuestos más tóxicos, aparte de ser un compuesto de olor desagradable y ser un compuesto bastante corrosivo y deteriora las conducciones de alcantarillado (Rodríguez *et al.*, 2002).

Detergentes

Los jabones y detergentes son compuestos orgánicos utilizados para la eliminación de suciedad en diversos tipos de superficies. Debido a que son capaces de reducir la tensión superficial del líquido en el cual se encuentran dispersos, también son denominadas surfactantes. Esta característica es la responsable de la formación de espuma (UNCFI, 2010).

Condiciones de toxicidad

Los efectos en la salud humana de los metales en aguas naturales, potables y residuales pueden ir desde el intervalo de beneficios pasando por causante de problemas hasta tóxicos, esto es dependiendo de su concentración, por lo que su cuantificación en cuerpos de agua es importante. Algunos metales son esenciales, otros pueden afectar adversamente a los consumidores de agua, sistemas de tratamiento de agua residual y cuerpos receptores de agua (PROY-NMX-AA-051-1999).

Características biológicas

Bacterias

Las bacterias son organismos unicelulares móviles o inmóviles de formas diversas, de tamaño y modo de vida diferente. Las bacterias son las que se encuentran en mayor número y provocan enfermedades. El grupo de bacterias coliformes es el indicador más utilizado para determinar contaminación biológica en las aguas y lodos, debido a que este grupo es el más persistente en el ambiente (Seoanez, 1998). Si hay alta cantidad de coliformes, es muy probable que existan otros patógenos como los del género *Salmonella*; por lo tanto, de su ausencia o reducida presencia se puede inferir que la calidad biológica del lodo o agua es buena (Spellman, 2002).

Microorganismos

Los principales grupos de organismos presentes en el agua residual se clasifican en eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. La mayoría de los organismos presentes en el agua residual pertenecen al grupo de las eubacterias (Metcalf y Eddy, 1996 a).

Técnicas de regresión y correlación

Las técnicas de regresión y correlación cuantifican la asociación estadística entre dos o más variables. La regresión lineal simple expresa la relación entre una variable dependiente Y, y una variable independiente X, en términos de la pendiente y la intersección de la línea que mejor se ajuste a las variables (Vargas, 2005).

Regresión y Correlación son dos conceptos vinculados, pero no equivalentes. Regresión se refiere a modelar la respuesta en relación a los predictores para evidenciar una relación estructural que nosotros postulamos y para estimar el valor más probable de la respuesta Y para los sujetos con un perfil particular de valores de las variables predictoras, es decir, la(s) variable(s) predictor(a)s y la respuesta Y desempeñan roles claramente distintos. La correlación pretende medir el grado de asociación lineal entre la respuesta y la(s) variable(s) predictor(a) sin diferenciación de roles (Silva y Salinas, 2006).

Regresión lineal simple

Relación entre una variable predictora y una variable respuesta, ambas de carácter cuantitativo continuo. El modelo de regresión lineal es el más utilizado y por ser el matemáticamente más simple facilita entender otros modelos de regresión más generales (Taucher, 1997).

En el Modelo de Regresión Simple se establece que Y es una función de sólo una variable independiente, razón por la cual se le denomina también Regresión Divariada porque sólo hay dos variables, una dependiente y otra independiente y se representa así:

$Y = f(X)$ "Y está regresando por X"

La variable dependiente es la variable que se desea explicar, predecir. También se le llama REGRESANDO ó VARIABLE DE RESPUESTA. La

variable Independiente X se le denomina VARIABLE EXPLICATIVA ó REGRESOR y se le utiliza para explicar Y (Villareal, 2005).

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 mas se cerque a 1 o a -1, existirá una mayor correlación entre los parámetros analizados, a la vez que esta relacionado con el valor de probabilidad, debido a que entre mayor sea la correlación menor será el grado de probabilidad (Pérez, 2005).

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).

Dar una serie de variables, se trata de estudiar el grado de dependencia simultanea 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).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Planta tratadora de aguas residuales de la ciudad de Gómez Palacio Durango.

Localización

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

Superficie.

La superficie que ocupa la PTAR es de 80 has.

Capacidad total de la planta es de etapa 1; 500 lps (litros por segundo) y etapa 2; 650 lps.

Área de la planta es de 80 hectáreas.

Constituyentes de la planta

Esta planta consta de dos etapas:

- ❖ La primera etapa tiene una capacidad de 500 lps (litros por segundo), tiene dos módulos de 350 lps, cada uno con:
 - 1 laguna anaerobia
 - laguna facultativa
 - lagunas de maduración
 - El gasto medio del diseño es de 500 lps
 - Gasto de operación actual es de 450 lps

- ❖ En la segunda etapa cuenta con una capacidad de 150 lps, con un modulo de 150 lps con:
 - 1 laguna anaerobia
 - 1 laguna facultativa
 - 2 lagunas de maduración
 - Tiene un gasto total en la primera y segunda etapa de 650 lps

Sistema de tratamiento.

- Tipo de proceso usado es el de procesos lagunares.
- Para su operación la planta cuenta con tres elementos básicos:
- Un emisor, un sistema de pretratamiento y un sistema de lagunas.

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

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

Uso del agua residual tratada

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

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

- Población servida es de 400, 000 habitantes.

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, CONAGUA y CNA.

Descripción del procedimiento

En este estudio se utilizó la base de datos que contiene los resultados del análisis de los parámetros de operación de la planta tratadora de Agua Residual antes de introducirlos a la planta.

La base de datos proporcionada por la PTAR del ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio, Dgo, contiene los resultados del análisis 10 variables, las cuales son: pH, conductividad eléctrica (CE), grasas y aceites (GA), nitrógeno total (NT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), relación demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno (DQO/DBO), sulfatos (S) y detergentes (DET). De esas variables, solamente siete de ellas se tomaron en cuenta (PH, CE, DBO, DQO, DQO/DBO, S y DET), se formó la base de datos finalmente con las 7 variables seleccionadas.

Con la base de datos así determinada y utilizando el paquete estadístico computacional SAS System (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 influente de agua residual de la planta tratadora.
2. Determinar el modelo de regresión. Para determinar el modelo de regresión se hicieron varias combinaciones hasta obtener el mejor coeficiente de determinación.
3. Determinar la correlación y probabilidad entre variables.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad del agua residual antes de ser tratada

En el Cuadro 1 se presenta los datos estadísticos básicos, en el influente del tratamiento de aguas residuales, en el cual se observa que la Demanda Química de Oxígeno del agua presenta una media de 465.43 mg/l, con un valor mínimo de 292 y un valor máximo de 1030.43 mg/l. La DQO es la medida de la capacidad de consumo de oxígeno de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable presente en el agua o agua residual. Debido al consumo de oxígeno por compuestos orgánicos muy complejos y difíciles a degradar, y por la materia orgánica no biodegradable en la oxidación, este parámetro siempre va a ser mayor que la DBO (Pérez y Espigares, 1999). No existe un dato que establezca la concentración ideal de la DQO.

El potencial hidrogeno presenta una media de 6.56, con un valor mínimo de 1.07 y un valor máximo de 7.54. El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de un sistema. El valor de pH es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descarga de aguas residual al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y consumo humano (NMX-AA-008-1997). 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). Este parámetro se encuentra dentro del límite máximo permisible ya que se encuentra en un rango de 6-9 lo cual es considerado para las aguas residuales esto de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996. Sin embargo el valor mínimo es de 1.07 el cual pudo ser debido a un error de lectura ya que todas las demás lecturas se encuentran dentro del rango aceptable.

La Conductividad Eléctrica presenta una media 1729.72, un valor mínimo de 1542.0 y un valor máximo de 1855.0. La CE es un parámetro regulado por los límites máximos permisibles en descarga de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para el contacto primario y para

consumo humano. Las determinaciones de conductividad son de gran importancia pues dan una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, de procesos o bien del agua para ser usada en laboratorios en análisis de rutina o bien para trabajos de investigación (NMX-AA-093-1997). Este parámetro se encuentra dentro del límite máximo permisible el cual es de 2000 μ mohos de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno presenta una media de 259.63 mg/l, con un valor mínimo de 169.90 y un valor máximo de 510.60. La Demanda Bioquímica de Oxígeno se determina con la relación en la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica en un período de incubación generalmente de 5 días a 20° C (Metcalf y Eddy, 1996). Por lo tanto este parámetro se considera un contaminante muy alto, ya que rebasó el límite máximo permisible que es de 75 mg/l, de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996.

Con respecto a la relación de DQO/DBO se presentó una media de 1.80, con una mínima de 1.20 y un valor máximo de 2.45. Esta es una prueba mucho mas rápida que la DBO y se basa en la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar completamente la materia orgánica y compuestos inorgánicos oxidables. El valor de DQO siempre es mayor a la DBO y una proporción de 2.1 es común, pero siempre se requiere experiencia para interpretar y relacionar. Los factores de interferencia mas comunes que intervienen en esta relación son los Sulfuros, Sulfitos y Cloruros. La relación de DBO/DQO < a 0.2 contaminantes es de naturaleza no biodegradable y la relación de DBO/DQO > 0.6 contaminantes es de naturaleza biodegradable (Ugarte *et al.*, 2001). No existe un dato que establezca la concentración ideal de la relación entre estas dos variables.

En los sulfatos se registró una media de 325.99 mg/l, con un valor mínimo de 262.0 y un valor máximo de 472.0. El sulfato presente en las aguas en sí, no es tan tóxico como el sulfuro de hidrógeno que es la forma más tóxica, ya que el aumento de las emisiones en forma de gas de este compuesto daña a la atmósfera al mezclarse con otros gases existentes en la misma, a su vez

formando aún compuestos más tóxicos, aparte de ser un compuesto de olor desagradable y ser un compuesto bastante corrosivo y deteriora las conducciones de alcantarillado (Rodríguez, *et al.*, 2002). El límite máximo permisible de este parámetro es de 250 mg/l de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996, y lo registrado esta por encima de los límites máximos permisibles.

Los detergentes presentan una media de 12.53, con un valor mínimo de 8.01 y un valor máximo de 20.0. Los jabones y detergentes son compuestos orgánicos utilizados para la eliminación de suciedad en diversos tipos de superficies. Debido a que son capaces de reducir la tensión superficial del líquido en el cual se encuentran dispersos, también son denominados surfactantes. Esta característica es la responsable de la formación de espuma (UNCFI, 2010). No existe un dato que establezca la concentración ideal de los detergentes.

CUADRO 2 Valores estadísticos básicos de las variables medidas en el influente de agua residual en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacios, Durango. 2010.

Variable	Unidades	N*	Media	Desviación Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Límite máximo permisible según NOM-001-SEMARNAT-1996
DQO	mg/l	11	465.43	200.85	292.00	1030.40	N/A
pH		11	6.56	1.83	1.07	7.54	6 – 9
CE	(µmohos)	11	1729.72	94.43	1542.00	1855.00	2000
DBO	mg/l	11	259.63	95.73	169.90	510.60	P.M. 75
DQO/DBO	s/u	11	1.80	0.35	1.20	2.45	N/A
S	mg/l	11	325.99	55.99	262.00	472.00	250
DET	mg/l	11	12.53	3.65	8.01	20.00	N/A

*N= numero de datos analizados.

*DQO= demanda química de oxígeno del agua, pH= potencial hidrógeno, CE= conductividad eléctrica, DBO= demanda biológica de oxígeno, DQO/DBO= relación demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno, S= sulfatos, DET= detergentes.

Modelo de predicción

El mejor modelo encontrado fue el que consideró la DQO como variable dependiente. El Cuadro 3 incluye el modelo de regresión y el análisis de varianza para la predicción de la DQO.

En el Cuadro 3 se aprecia que el modelo de predicción obtenido es altamente significativo ($P < 0.01$) con un coeficiente de determinación de 0.99, por lo que de acuerdo al análisis, el 77 % de la variación del DQO es explicado por las diferencias entre los valores de pH, CE, DBO, DQO/DBO, S Y DET obtenidos antes del tratamiento del agua, el valor del coeficiente de determinación obtenido, considera al modelo bastante aceptable para este tipo de sistemas.

En relación con las variables independientes, el pH presentó un valor altamente significativo ($P < 0.01$). Las demás variables tuvieron poca significancia.

CUADRO 3. Modelo de regresión y análisis de varianza para la predicción de la DQO de agua residual en la planta tratadora en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio, Durango. 2010.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Probabilidad Mayor de F	R ²
Modelo	6	403044.81	67174.13	691.859	0.0001	0.99
Error	4	388.36	97.09			
C Total	10	2.11				

Variable	Grados de libertad	Parámetros estimados	Error Estándar	Probabilidad mayor de T
Intercepto	1	-507.53	62.41	0.0012
PH*	1	-10.37	2.29	0.0106
CE*	1	0.12	0.04	0.0612
DBO*	1	1.76	0.09	0.0001
DQO/DBO*	1	193.48	17.25	0.0004
S*	1	0.42	0.16	0.0676
DET*	1	-9.41	1.30	0.0020

*DQO= demanda química de oxígeno del agua, pH= potencial hidrógeno, CE= conductividad eléctrica, DBO= demanda biológica de oxígeno, DQO/DBO= relación demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno, S= sulfatos, DET= detergentes.

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 cerque 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 4 se observa que la mayor correlación que existe entre los parámetros analizados es la que obtuvo la DQO con relación al S con un valor de coeficiente de correlación de 0.91, seguida por la DQO con relación a la DBO con un valor de coeficiente de correlación de 0.87. En ambas correlaciones se corrobora que efectivamente los S y la DBO son las que mas influyen en el modelo de predicción mencionado. Posteriormente se encuentra correlación entre la DQO y DBO con un coeficiente de correlación de 0.87, siguiendo la DBO con respecto a los S con un coeficiente de correlación de 0.85, y por ultimo la CE con respecto a la relación DQO/DBO con un coeficiente de correlación de 0.55.

CUADRO 4. Correlación simple entre las variables medidas en la planta tratadora de agua residual en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio, Durango. 2010.

PARES DE VARIABLE	COFICIENTE DE CORRELACION (R2)	VALOR DE P
DQO* – DET*	0.08	0.80
DQO* – CE*	0.42	0.18
DQO* – DBO*	0.87	0.00
DQO*-DQO/DBO*	0.35	0.28
DQO* – S*	0.91	0.00
PH* – DQO*	-0.17	0.60
PH* – CE*	-0.05	0.87
PH* – DBO*	-0.13	0.69
PH* – DQO/DBO*	-0.10	0.75
PH* – S*	-0.103	0.76
PH* – DET*	-0.49	0.11
CE* – DBO*	0.19	0.57
CE* – DQO/DBO*	0.55	0.07
CE* – S*	0.41	0.20
CE* – DET*	0.22	0.49
DBO* – DQO/DBO*	-0.11	0.73
DBO* – S*	0.85	0.00
DBO* – DET*	0.27	0.40
DQO/DBO* – CE*	0.55	0.07
DQO/DBO* – S*	0.25	0.44
DQO/DBO* – DET*	-0.20	0.55
S* – DET*	0.26	0.42

*DQO= demanda química de oxígeno del agua, pH= potencial hidrógeno, CE= conductividad eléctrica, DBO= demanda biológica de oxígeno, DQO/DBO= relación demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno, S= sulfatos, DET= detergentes.

Corroborando lo mencionado por (Pérez, 2005), y observando los valores de correlación y probabilidad de las variables descritas en el Cuadro 4, efectivamente entre mayor sea la correlación menor será la probabilidad, como ejemplo están la correlación entre la DQO y los S, teniendo un coeficiente de correlación de 0.91 y una probabilidad de 0. Por el contrario, esta la correlación entre el pH y la CE, que tiene una correlación de -0.05 y una probabilidad de 0.87.

V. CONCLUSIONES

El agua residual no tratada en la PTAR de Gómez Palacio, Durango presenta datos que indican que las aguas residuales requieren ser tratadas, ya que algunas variables como son: pH, CE, se encuentran dentro de los LMP, mientras que la DBO, y lo S, alcanzan valores de alta contaminación que rebasan los límites máximos permisibles.

El valor del coeficiente de determinación ($R^2= 0.99$) del modelo encontrado, permite que pueda ser considerado bastante aceptable para este tipo de sistemas.

El mejor modelo encontrado fue el que consideró la DQO como variable dependiente. Y la variable que más influye es la DBO.

La mayor correlación que existe entre los parámetros analizados se puede apreciar en varios de ellos pero la que más influye fue la que obtuvo la DQO con relación al S.

VI. RECOMENDACIONES

Los parámetros analizados en esta investigación están incompletos, por lo tanto se debería de hacer un estudio de todos los parámetros como son: temperatura, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos, nitrógeno total, grasas y aceites, etc. Para tener valores precisos y representativos pero sobre todo confiables.

Dar un mantenimiento adecuado al agua que es descargada a la planta de aguas residuales.

VII. LITERATURA CITADA

- Álvarez B., D., S. M. Contreras R. y H. M. Poggi V. 2002. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales por Aplicación al Suelo. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del CINVESTAV. Avance y perspectiva. pp. 21, 333-340.
- Alzaba, A. A. 1998. Necesidad de modificación de parámetros de dirección usando agua de calidad baja. Gestión del agua agrícola. p 36.
- Anónimo. 2007. Utilización de microorganismos en tratamiento de residuos microbiología general. p 5.
- Bahri. 1999. La reutilización agrícola de aguas negras y la gestión del agua global bebe la Tecnología Ciencia. p 40.
- Barrenechea, M. A. 2000. Manual sobre aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Vol. I. pp. 3-55.
- Buitrón, M. G., G. Moreno R. y J.A. Moreno P. 2006. Tratamiento de aguas residuales industriales. p 177.
- Call, E. R. 1999. Arizona Master Gardener Manual. College of Agriculture. The University of Arizona. Tucson, Az. USA. p 17.
- Carabias, J. 2006. El agua en México: Contaminación del agua. Instituto Nacional de Ecología, México. p 67.
- Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI). 2006. Niñas Mazahuas, tomando agua de lluvia purificada”Lluviatl” Edo de México. p 3.
- CNA .2005a. 3. El recurso hídrico en México. En *Estadísticas del agua en México 2005 – Síntesis*. [En línea]. Comisión Nacional del Agua (México). Consulta el 26/06/2006. URL: http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Estadisticas/Central/Cap_3_EAM_2005.pdf

- CNA. 2000. Región VII de Cuencas Centrales del Norte de la Comisión Nacional del Agua. Revisado en 14 de octubre de 2004. [En línea] http://www.cna.gob.mx/publicaciones/PNH0106/El_agua_recurso_4.pdf
- CNA. 2005b. 6. Saneamiento, calidad del agua y aspectos de salud. En Estadísticas del agua en México 2005 – Síntesis. [en línea]. Comisión Nacional del Agua (México). Consulta el 26/06/2006. URL: http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Estadisticas/Central/Cap_6_EAM_2005.pdf
- CNA. 2005c. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2004 [en línea]. Comisión Nacional del Agua. Consulta el 26/06/2006. URL: http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Organismos/Central/Estadisticas/Subsector_2004.htm
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Principal, Estados de Durango y Coahuila. Comisión Nacional del Agua-Gerencia de Aguas Subterráneas – Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México, D. F.
- Conant, J. 2005. Agua para vivir ¿Cómo proteger el agua comunitaria?. Fundación Hesperian. p 4 - 5.
- Cornell Waste Management Institute (CWMI). 2003. Características químicas: biosólidos crudos. p 5.
- Correa B., A. J. y A. Arroyo M. 2000. Tratamiento de las aguas residuales. p 20.
- Crites, R., T. George, C. Miller, P. y M. Guillermo. 2000 a. Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Editorial McGraw-Hill Interamericana, S.A., Bogotá, Colombia. pp. 1, 50.
- Dyna. 1998. Tratamiento de aguas Residuales e Industriales. p 10.
- Echarri L. 2007. Asignatura: Población, ecología y ambiente. Universidad de Navarra. 2p.

- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, BR). 2000. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Bettiol W; Camarg, OA. (Eds.) Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. II ed. Jaguariúna, BR. p 312.
- Enciclopedia of Environmental Science. 1980. Mc. Graw-Hill Book company Second Edition. Sybil p. Parker Edition in Chief. Philippines.
- Enciso, A. 2003. El agua en México, "Revela CNA problemas en abasto nacional de agua". p 47.
- Fagundo C., J. R., P. González. H. 1999. Aguas naturales, minerales y mineromedicinales. p 2.
- García, S. M. 2003. El ahorro del agua. El agua, motor de desarrollo rural. II CONGRESO REGIONAL DEL AGUA. p 5.
- Global Water Partnership (GWP). (2000). Manejo Integrado de los Recursos Hídricos. <http://www.cepis.org.pe/bvsarg/e/fulltext/mirh4/mirh4.pdf>. p 2.
- 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. p 799.
- Hammer, M. 1986. Agua y Tecnología de Aguas negras. Second Edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs. New Jersey. p 11.
- <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/inicio.aspx>.
- <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-ECOL-002.pdf>. Consultado el 20/10/2007.
- Islas R., S. 1993. Respuestas y Calidad de la Lechuga (Láctica sativa L.) al Riego con Aguas Negras. Tesis Profesional. UAAAN, Buenavista Saltillo Coahuila.
- Jefe, S. 1856. La contaminación ambiental. p 6.
- Jiménez C., B. E. 2001. La contaminación ambiental en México. Causas, efectos y tecnología apropiada. Editorial Limusa, México, D. F. pp. 33 y 300.

- King, L. 1986. Agricultural use of Municipal and industrial sludge in the Southern United States. Southern Cooperative Series. North Carolina State University, North Carolina, United States. p 51, 52.
- Korbut S., Q.F. 1972. Contaminación en agua. Londres. pp. 9, 11, 14.
- Lapeña B., M. R. 1998. Tratamiento de Aguas Industriales: aguas de proceso y residuales. p 17.
- Luters, A. y J.C. Salazar L.P. del. 2000. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. USDA. SIA. SCR.N. Instituto de Calidad de Suelos. p 13.
- Maldonado, J. M. 2002. Proyectos de Tratamiento de Aguas Residuales domesticas Municipales. Bogotá, D. C. – Colombia. p 10.
- Mara, D. D. 1976. Artificial freshwater environments: Waste stabilization ponds. In: Biotechnology. p 12.
- 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, B.J. 1999. Irrigación con agua residual; Ventajas e Impacto medioambiental. Gestión del agua Agrícola. p 40.
- Metcalf & Eddy. 1996 a. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento vertido y reutilización. Tomo 1. Editorial Mc Graw-Hill (3ª edición). México, D.F. pp. 1-10, 191.
- Mujica A. V.; Figueroa L. J. 1986. Contaminación ambiental causas y control. Primera edición. Universidad Autónoma Metropolitana México. p 33.
- Nebel, B. J. y Wright R. T. 1996. Ciencia Ambiental: De Camino los Trabajos Mundiales. 5a Edición, Prentice Hall. Estados Unidos. p 23, 26.
- Norma Mexicana NMX-AA-007-1997. Determinación de la Temperatura en Aguas Naturales y Residuales.
- Norma Mexicana NMX-AA-008-1997. Análisis de Agua-Determinación de pH. p 3.

- Norma Mexicana NMX-AA-045-1981. Análisis de agua - determinación de color (escala platino - cobalto). p 6.
- Norma Mexicana NMX-AA-083-1982. Para la determinación de Análisis de agua - determinación de olor. p 3.
- Norma Mexicana NMX-AA-093-1997. Análisis de Agua-Determinación de la Conductividad Electrica. p 6.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2003. World Water Development Report [en línea]. URL: http://www.unesco.org/bpi/wwdr/WWDR_chart1_eng.pdf.
- Orozco, C. y A. Pérez S. 1998. Contaminantes orgánicos en aguas. Miembros del Departamento de Química de la EPS de la Universidad de Burgos. p 2.
- Pérez L., C. 2005. Métodos Estadísticos Avanzados con SPSS. Editores Cengage Learning, Estados unidos de Norte de América. pp. 775.
- Pérez, J; Espigares, M. 1999. Estudio Sanitario del Agua. Segunda edición. Universidad Granada, España. p 454.
- Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-AA-051-1999-SCFI. Análisis de Agua-Determinación de Metales por Absorción atómica en Aguas Naturales, Potables y Residuales.
- Robert, S; Persky C.; Cisek, P. 1999. Aplicación de los métodos de análisis químico clásico análisis físico químico de aguas. Editorial Díaz de Santos. Ediciones Martínez Roca. S.A. p 23.
- Rodríguez F., A. A., P. L. García, R. R. García, M. D. Valiño, S. V. Fernández y J. M. S. García. 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid, España. p 6, 10.
- Rodríguez M., J.; S. Y. Martínez A.; Y. G. García. 2002. Desnitrificación, sulfato reducción y metanogénesis durante la biomineralización de aguas residuales de la industria farmacéutica. Departamento de

Biotecnología, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, correo electrónico*: jrodrigu@alpha1.sal.uadec.mx. p 1.

Rolim, S. 2000. Sistemas de laguna de estabilización. Medición de las Concentraciones de Contaminantes en Aguas Residuales. McGRAW HILL INTERAMERICANA, S.A. Avenida de las América 46-41. Santa Fe Bogota, D.C. Colombia. p 370.

Romero R., J.A. 1999. Calidad del agua. Alfaomega grupo editor, S.A. de C.V. (vol. 2), México, D.F. pp. 63-80, 191-195.

Sáenz, P. y Chaco. 2002. El agua. Republica de Honduras. ARGENTINA. p 3.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2007 (a). (En línea). Leyes y Normas. Disponible en:

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2007 (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.bog.mx/leyesynormas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-001-ECOL.pdf> consultado 20/10/2007.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2007 (c). (En línea). NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Disponible en:

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2007 (d). (En línea). NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al publico. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-ECOL-003.pdf>. Consultado el 20/07/2007.

- Seoanes, C. M. 1990. Ingeniería del Medio Ambiente aplicada al medio natural continental. Segunda edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. p 45.
- Seoanes, C.M. 1998. Aguas Residuales Urbanas. Tratamientos Naturales de bajo costo y Aprovechamiento. Editorial, MUNDI-PRENSA. p 10.
- Silva Z., Claudio; M. Salinas. 2006. Modelos de Regresión y Correlación. Artículo de Educación. p 186.
- Singer, J. E., José E. Salcedo, Adrian Colina. 2006. Contaminación del agua. República Bolivariana de Venezuela. p 5.
- Spellman, F. 2002. Protozoa and Other Microorganisms *In* Microbiology for Water/Wastewater Operators. Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster, Pennsylvania. p. 63-93.
- Stott, R. J., Shabana M. y May E. 1997. Aguas negras en Egipto Ismailia las implicaciones para empleo de aguas negras. Beba la Tecnología Sciencie. p 35.
- Street F., N.W. 2003. El agua: impurezas y contaminación del agua. Washington, D.C. 20006, USA. p 9.
- Sybil, P. P. 2010. Medición de Turbidez en la Calidad del Agua. Editorial McGraw-Hill. p 6.
- Tamayo, R. 2004. Contaminación del agua. Contaminación por Materia Orgánica. Revisado el 3 de Febrero del 2004. Disponible en línea: http://www.sagangea.org/hojared_AGUA/paginas/16agua.html. p 3
- Taucher, E. 1997. Bioestadística. 1a ed. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. Capítulos 21 y 22. p 3.
- Torres, V. I. 2000. Contaminantes del Agua. Química ambiental. p 3.
- Tortolero, V. A. 2000. El agua y su historia. México y sus desafíos hacia el siglo XXI. Umbrales de México. México, D.F. 168 pp.
- Ugarte, S; Fernández, J; Herrero, C; Denita, L; Arreghini, M. 2001. Parámetros de Diseño para el Tratamiento Biológico Aerobio de Efluentes de la

Industria Vitivinícola (en línea). Grupo de Estudios para el Tratamiento de Aguas Residuales (G.E.S.T.A.R.), Instituto de Medio Ambiente Facultad de Ingeniería (D.E.T.I.). U.N. Cuyo, AR. Consultado el 14 agosto 2004. Disponible en: <http://mail.inenco.net/7Easadedit/avermas/averma4/06-47.pdf>

Universidad Nacional de Cuyo Facultad de Ingeniería (UNCFI). 2010. Determinación de Detergentes en Aguas Residuales. p 8.

Vargas M., J. E. 2005. Método de regresión lineal simple, Incluye ejemplo demostrativo. México D.F., Mc. Graw Hill. p 2.

Villareal, F. 2005. Regresión Lineal Simple. Universidad Nacional, curso Estadística. Lima- Perú. p 3.

www.sagan-gea.org. Contaminación del Agua. [En línea]: http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/17agua.html. 20/01/2010.

VIII. APÉNDICE

CUADRO 5. Base de datos del año 2010, de la PTARS de la ciudad de Gómez Palacio, Durango, utilizada en este trabajo.

MESES	DQO	Ph	CE	DBO	DQO/DBO	S	DET
ENERO	406.4	7.1	1676	338.5	1.2	336.8	20
FEBRERO	460.6	7.15	1752	238.1	1.93	315.7	11
MARZO	552.1	1.07	1755	292.4	1.89	337.3	18.2
ABRIL	1030.4	7.02	1845	510.6	2.02	472	11.8
MAYO	436	6.92	1627	245.2	1.78	282.5	8.01
JUNIO	478	6.99	1855	194.9	2.45	364.3	14.6
JULIO	409	6.89	1542	225.3	1.82	318	9.73
AGOSTO	341.9	7.08	1712	228.5	1.5	299	10.2
SEPTIEMBRE	360.7	6.92	1735	188.6	1.91	300	10.9
OCTUBRE	292	7.54	1702	224	1.3	298.3	12.2
NOVIEMBRE	352.7	7.48	1826	169.9	2.08	262	11.2

Variación de las características fisicoquímicas del influente en el periodo de estudio.

En las siguientes gráficas se presenta el comportamiento de las distintas variables (DQO, pH, CE, DBO, DQO/DBO, S Y DET) que fueron 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.

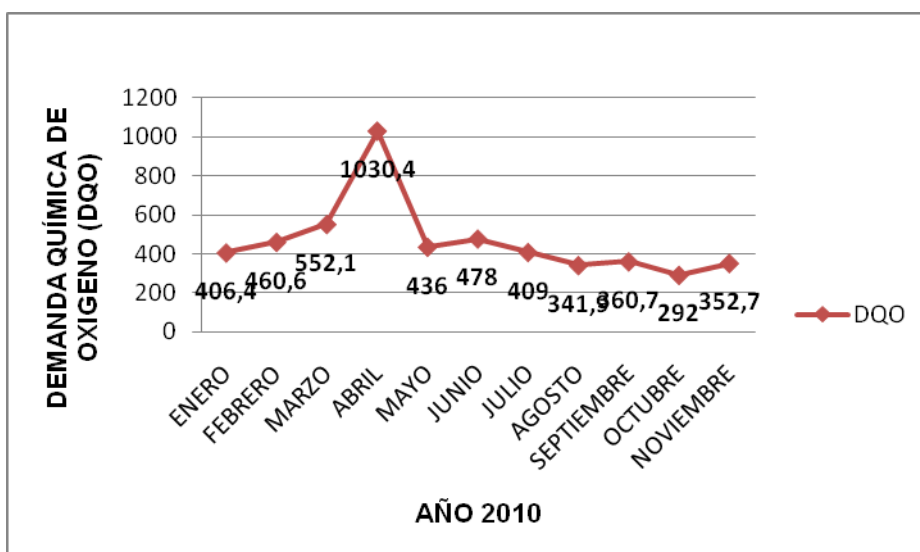


Figura 1. Comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO).

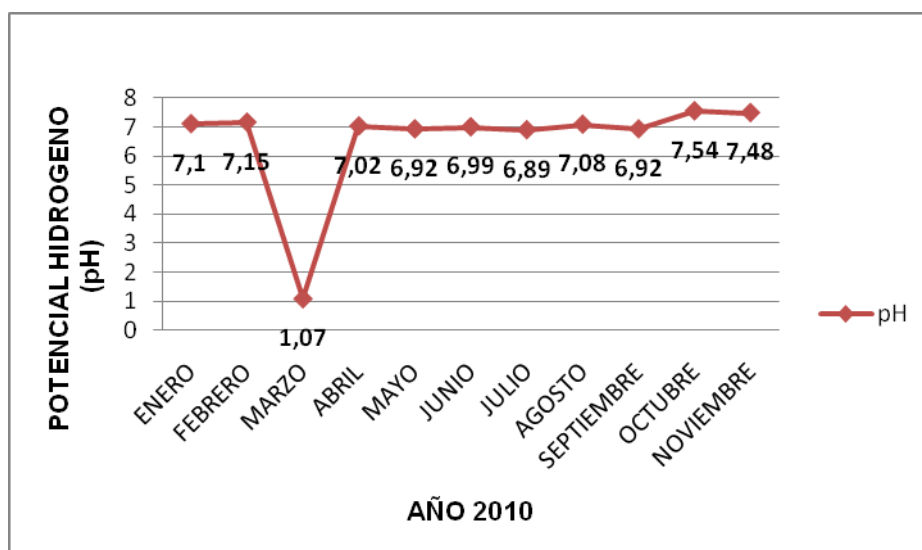


Figura 2. Comportamiento del potencial hidrogeno (pH).

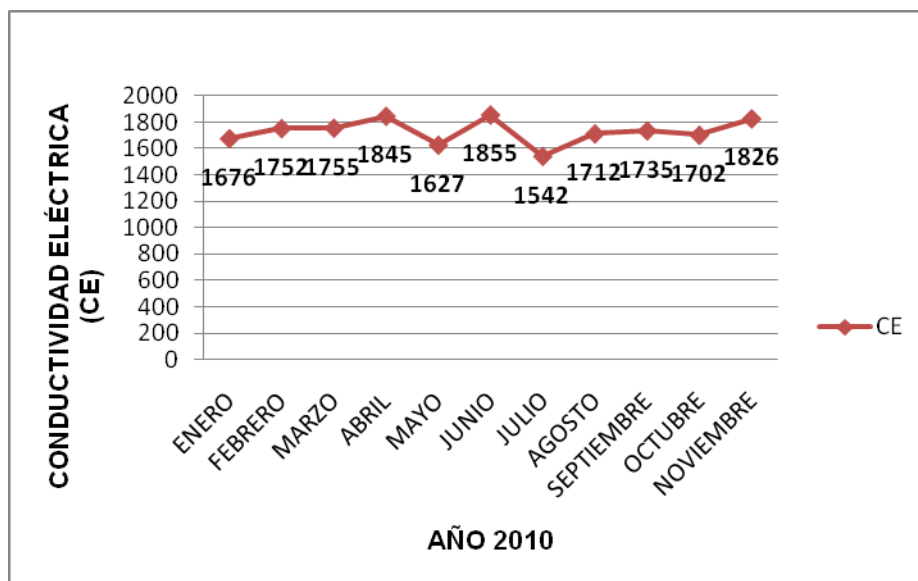


Figura 3. Comportamiento de la conductividad eléctrica (CE).

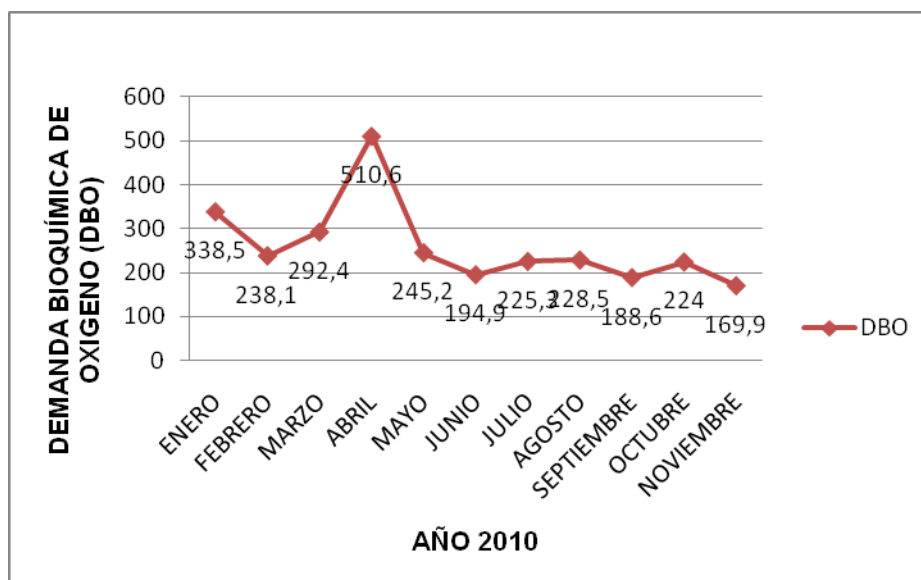


Figura 4. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

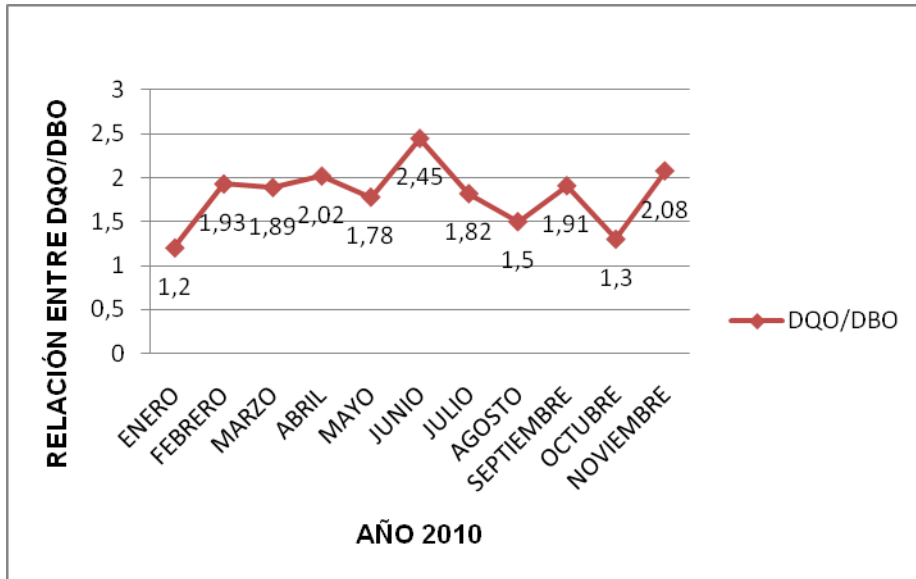


Figura 5. Comportamiento de la relación entre DQO/DBO.

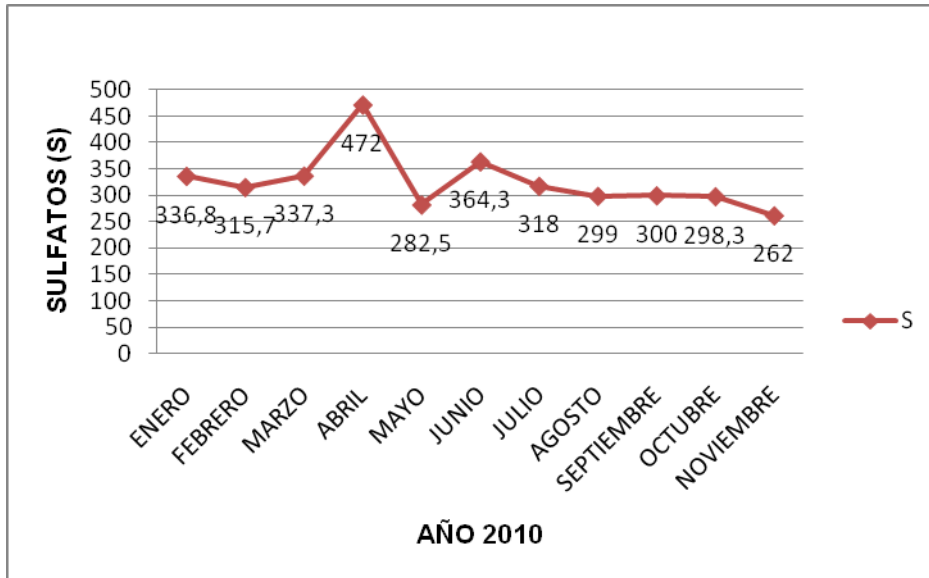


Figura 6. Comportamiento de los Sulfatos (S).

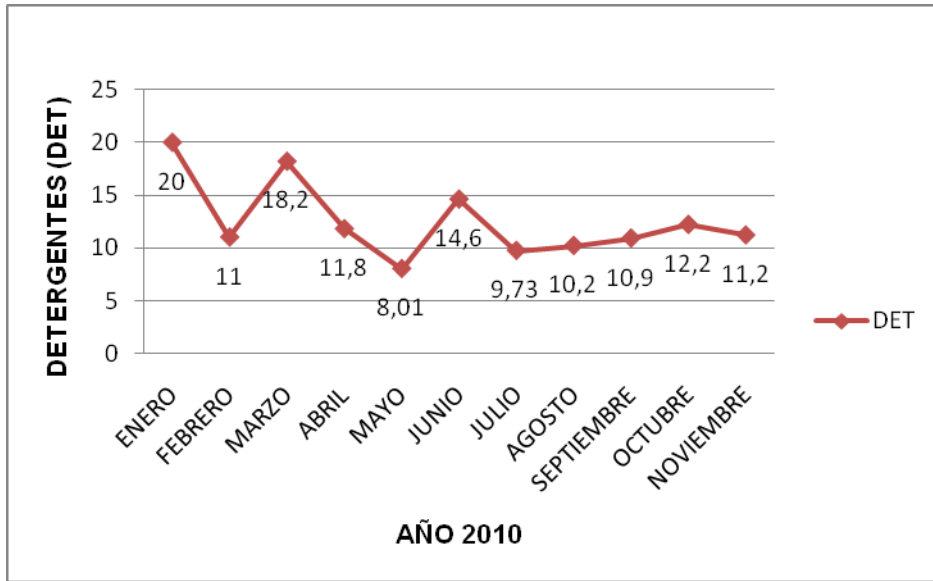


Figura 7. Comportamiento de los detergentes (DET).