

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AGRONÓMICA DEL AGUA RESIDUAL
DEL GRAN BOSQUE URBANO (GBU) EN SALTILLO, COAHUILA.**

Por:

DIEGO EDUARDO LÓPEZ GUTIÉRREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coah.

Abril, de 2017.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DEL GRAN
BOSQUE URBANO EN SALTILLO, COAHUILA.

POR

DIEGO EDUARDO LÓPEZ GUTIÉRREZ

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA

ASESOR(A) PRINCIPAL

Manuela Bolívar D.

DRA. MANUELA BOLÍVAR DUARTE

COASESOR

[Firma]
Ph. D. VICENTE DE PAÚL ÁLVAREZ

COASESOR

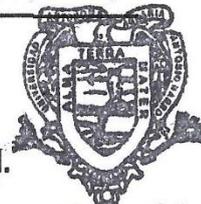
[Firma]
ING. ROLANDO A. SANDINO SALAZAR

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

[Firma]
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

DR. LUIS SAMANIEGO MORENO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAH.



ABRIL DE 2017

Coordinación de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

A DIOS Y A MI VIRGENCITA: Porque estuvieron siempre conmigo, porque me dieron la dicha de concluir esta etapa de mi vida, por iluminar mi camino desde el cielo, por ayudarme a superar todas las pruebas que me hicieron crecer como persona y permitirme dar lo mejor de mí.

A MI ALMA MATER (UAAAN): Por ser parte de su historia, por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente.

A LA DRA. MANUELA BOLÍVAR DUARTE: Por darme la confianza y el apoyo en todo momento, por compartir sus conocimientos y su valioso tiempo para realizar este trabajo. Gracias Dra. Manuelita que Dios la cuide y la bendiga a usted y a toda su familia.

A MIS ASESORES: El Ph.D. Vicente de Paúl Álvarez y al Ing. Rolando Sandino S. gracias por el tiempo y la dedicación que le dieron a este trabajo de tesis, que Dios los bendiga a cada uno de ustedes.

A LAQFB. ANA PAOLAMORENO GARZA por su apoyo incondicional para la realización de este proyecto, por el tiempo invertido, por su paciencia y comprensión para realizar este trabajo. Muchas gracias.

Al Ing. LUIS CARLOS RÍOS ÁLVAREZ por darme la oportunidad de realizar este proyecto, ya que fue muy amable al dejarme tomar muestras.

DEDICATORIA

A MIS PADRES: Orlando y María del Socorro. Por su gran apoyo, sus consejos, su responsabilidad y porque gracias a ustedes he podido cumplir mi sueño, les dedico este trabajo, por ser hijo de un hombre increíble y de una mujer extraordinaria, un ejemplo a seguir gracias por todo los quiero mucho papás.

A MIS ABUELO(A) S: Abelardo, Blanca y Zenaida. Gracias por todo el apoyo, los consejos, por todo el cariño. Gracias porque siempre estuvieron al pendiente de mí, que Diosito los bendiga y les siga dando larga vida.

A MIS TIOS: Magdalena, Ángel y Carlos. Por el cariño que siempre me han tenido y por el apoyo económico que me brindaron, porque siempre estuvieron al pendiente de mí, muchas gracias los quiero mucho, que Diosito los cuide y los proteja siempre.

Blanca Rosario, Abisai, Arim, Abraham, Verónica, Gloria y Patricia. Gracias por el cariño y el aprecio que siempre me han tenido, por los consejos y porque siempre están al pendiente de mí, gracias porque son unos excelentes tíos.

Laurentino y Delia. Un agradecimiento especial por el apoyo que siempre me brindaron, porque estuvieron cuando más los necesitaba y porque siempre están al pendiente de mí para que me forme muy bien como un buen ser humano.

A MIS HERMANAS: María de Lourdes y Blanca Isela. Porque siempre están conmigo; a Ti hermana mayor como una segunda mamá, por el apoyo incondicional, la confianza, por el amor, eres un ejemplo a seguir, te quiero mucho hermana, y a ti, Isela por ser la más pequeña, gracias por tu cariño y apoyo, te quiero mucho

A MIS AMIGOS: Alexis, Rodihel, Felipe, Juan Antonio, José Alejandro, Wilson, Aldoris, Ady, Jérica. Gracias por el apoyo que siempre me brindaron, porque son como mi segunda familia y lo mejor, gracias por su amistad son unos excelentes amigos siempre los llevare en mi corazón.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN.....	9
PALABRAS CLAVE.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
Objetivo General.....	11
Objetivo Especifico.....	11
REVISIÓN DE LITERATURA	12
Composición y Estructura del Agua	12
Origen de la Contaminación de las Aguas	12
Definición del Agua Residual.....	13
Fuentes de Agua Residual.....	13
Drenaje Sanitario.....	13
Drenaje Doméstico.....	13
Aguas Residuales Industriales	14
Arrastres de Lluvia.....	14
Infiltraciones	14
Agua Disponible.....	14
Escasez del Agua.....	15
Reúso del Agua Residual en México	16
Evaluación de la Calidad del Agua.....	16
Parámetros que Determinan la Calidad del Agua Residual	16
Características Químicas Inorgánicas.....	16
Potencial de Hidrógeno (pH).....	16
Nitrógeno.....	17
Fósforo	17
Alcalinidad.....	18
Cloruros.....	18
Azufre	19

Características Químicas Orgánicas:.....	19
Conductividad Eléctrica	19
Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 Días (DBO ₅).....	19
Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	20
Carbono Orgánico Total (COT)	20
Grasas y Aceites.....	20
Tensoactivos	21
Características Biológicas:.....	22
Organismos Coliformes	22
Microorganismos Específicos	22
Técnica de Muestreo	22
Muestreos en Tomas	22
Muestreos en Descargas Libres	22
Muestreo en Canales y Colectores.....	23
Procedimiento de Muestreo	23
Muestreo Manual	23
Muestreo Automático	25
Parámetros de Calidad de las Aguas.....	25
Efectos en el Suelo por la Irrigación con Aguas Residuales	26
Identificación de Las Muestras.....	26
Hoja de Registro	27
Procedimiento	27
MATERIALES Y METODOS	28
Localización del Sitio Experimental	28
Procedimiento de Muestreo	28
Muestreo Manual	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Parámetros Físico-Químicos	30
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
LITERATURA CITADA	37

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados de la calidad del influente	30
Cuadro 2. Resultados de la calidad del efluente	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Molécula del agua	12
Figura 2. Localización del sitio de muestreo del influente y efluente de la PTAR del Gran Bosque Urbano	28
Figura 3. Recolección de la muestra	29
Figura 4. Identificación de las muestras	29
Figura 5. Traslado de las muestras.	29

RESUMEN

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. La siguiente investigación se llevó a cabo en el Gran Bosque Urbano (GBU) ubicado en Saltillo, Coah. La muestra se realizó en el influente y efluente del agua residual. El muestreo realizado fue por el método manual. El resultado del análisis de detección de bacterias Coliformes Fecales (CF) se comparó con la NOM-003-ECOL-1997. Se observa que en el influente es mayor el número de coliformes fecales que en el efluente. Este último se encuentra dentro de los límites máximos permisibles de la Norma Oficial Mexicana. Para el contenido de Grasas y Aceites (GyA) Comparándolo con la NOM-003- ECOL-1997, sobrepasa el límite permitido tanto el influente como el efluente. Los valores de DBO_5 se compararon el influente y el efluente con la NOM-003-ECOL-1997 se compararon los resultados obtenidos del efluente con los límites máximos permisibles de la NOM. De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis y al compararlos con la NOM-003-ECOL-1997 podemos concluir que el agua del efluente cumple con la mayoría de los parámetros analizados. Se puede utilizar riego por aspersión, siempre y cuando se coloquen filtros de arena para evitar que se taponeen los aspersores. Se recomienda hacer un monitoreo frecuente de la calidad del agua residual, con el fin de detectar si la calidad varía de modo que se pueda utilizar en el riego del Gran Bosque Urbano.

PALABRAS CLAVE: Agua Residual, Clasificación, Muestreo

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son el resultado de su utilización del agua para distintos fines. Como consecuencia de este uso, el agua recoge materias en suspensión y disueltas que alteran sus propiedades. Dependiendo de uso, las aguas residuales presentan características muy diferentes. En especial, existe una gran diferencia entre las aguas residuales urbanas o domésticas, originadas en el uso del agua en las casas y las aguas residuales industriales, provenientes de instalaciones fabriles. Entre estas últimas la diversidad es muy variada, ya que la alteración de propiedades del agua resultante del uso industrial puede variar entre contaminación puramente física (como ocurre en la contaminación térmica que presentan las aguas de refrigeración) hasta contaminación bioquímica de gran complejidad (aguas que reciben efluentes de industrias farmacéuticas o químicas). La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Éstas modifican las características de las aguas, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos.

El crecimiento exponencial puesto de manifiesto en todos los núcleos poblacionales del mundo, trae aparejado la generación de efluentes en forma directamente proporcional, que aunado a la incontrolada industrialización y sobre todo urbanización, determinaron la saturación de la capacidad asimiladora de la naturaleza conduciendo en muchos casos, a perturbaciones irreversibles del equilibrio ecológico. Por esto, es importante tomar conciencia que la contaminación es un problema de todos los habitantes de cualquier comunidad.

Es un hecho que la descargade aguas residuales sin tratar ocasiona daños, en ocasiones irreversibles al medio ambiente, afectando tanto a ecosistemas acuáticos como riparios. Por otro lado, la descarga de aguas residuales no tratadas supone riesgos para la salud pública, como podemos comprobar a diario a través de los medios de comunicación. Es por esto por lo que es preciso el tratamiento de estas aguas antes de su descarga.

En el tratamiento de las aguas residuales se someten a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen por objeto reducir la concentración de los contaminantes y permitir la descarga de los efluentes tratados, minimizando los riesgos tanto para el medio ambiente, como para las poblaciones.

Por la importancia de lo expuesto anteriormente los objetivos planteados en este trabajo fueron:

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el tratamiento de las aguas residuales urbanas con fin de reducir el impacto ambiental y planificar su reutilización agrícola o recreativa.

OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar la calidad agronómica del agua residual del Gran Bosque Urbano (GBU) en Saltillo, Coah.

REVISIÓN DE LITERATURA

Composición y Estructura del Agua

Carbajal y González (2003) describe al agua como una molécula sencilla formada por átomos pequeños, dos de Hidrógeno y uno de Oxígeno, unidos por enlaces covalentes muy fuertes que hacen que la molécula sea muy estable. Tiene una distribución irregular de la densidad electrónica, pues el Oxígeno, uno de los elementos más electronegativos, atrae hacia sí los electrones de ambos enlaces covalentes, de manera que alrededor de éste se concentra la mayor densidad electrónica (carga negativa) y cerca de los Hidrógenos la menor (carga positiva). La molécula tiene una geometría angular (los dos átomos de Hidrógeno forman un ángulo de unos 105°) lo que hace de ella una molécula polar que puede unirse a otras muchas sustancias polares como se muestra en la figura 1.

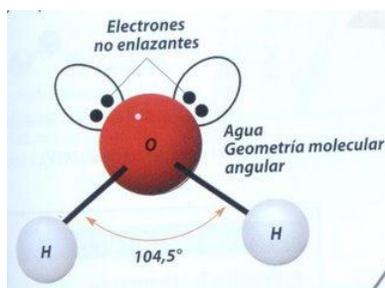


Figura 1-Molécula del agua (Carbajal y González, 2003).

Origen de la Contaminación de las Aguas

La contaminación de las aguas procede de diferentes fuentes. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran

generación de residuos, muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transportes fluviales y marítimos que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas. También se consideran las fuentes naturales y antropogénicas de contaminación, estudiando dentro de estas últimas las industriales, los vertidos urbanos, las procedentes de la navegación y de las actividades agrícolas y ganaderas. El agua que contiene todos estos contaminantes son llamadas aguas residuales o aguas negras. (<http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120P rocC.htm>)

Definición del Agua Residual

En la Legislación Mexicana de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996) se consideran como aguas residuales a las “Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (DOF, 1996)

Fuentes de Agua Residual

Drenaje Sanitario

Es la descarga de agua desechada por la comunidad (Maskew *et al.*, 1968).

Drenaje Doméstico

Las aguas residuales provenientes de cocinas, baños, lavabos, sanitarias y lavanderías. Metcalf & Eddy (1996) dividen el origen las aguas residuales domésticas:

Zonas residenciales: abarcan apartamentos y casas.

Zonas comerciales: aeropuertos, bares, oficinas, restaurantes, etc.

Centros institucionales: son las aguas que se generan en instituciones públicas.

Aguas Residuales Industriales

Los autores anteriores consideran que estas aguas varían en su composición de acuerdo con el tipo y tamaño de la industria, a veces son aguas relativamente limpias otras con mucha materia orgánica y otras con sustancias tóxicas, flamables o corrosivas.

Arrastres de Lluvia

Al caer la lluvia sobre la superficie ya sea en zonas urbanas o campos agrícolas depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella lava la superficie llevando partículas presentes (polvo, arena, hojas y otras basuras) que son arrastradas hasta los cuerpos receptores, (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 2007 y Seoáñez, 1999).

Infiltraciones

A veces en zonas verdes urbanas, por la composición de su suelo y en la agricultura por el exceso de fertilizantes, según Seoáñez (1999) permiten el paso del agua a los acuíferos poniendo en riesgo su calidad.

Agua Disponible

Según una de las estimaciones más aceptadas (Comisión Nacional del Agua -CNA, 2011) poco más del 97 por ciento del volumen de agua en nuestro

planeta es agua salada y está contenida en océanos y mares; mientras que apenas algo menos del tres por ciento es agua dulce o de baja salinidad. Del volumen total de agua dulce, estimado en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, poco más del 75 por ciento está concentrado en casquetes polares, nieves eternas y glaciares; el 21 por ciento está almacenado en el subsuelo y el cuatro por ciento restante, corresponde a los cuerpos y cursos de agua superficial (lagos y ríos). El agua dulce almacenada en el subsuelo es muy superior a la existente en las corrientes superficiales; pero sólo es aprovechable en parte, debido a limitaciones físicas y económicas. Gran parte del agua dulce aprovechable transita y se almacena en los primeros 1,000 m a partir de la superficie del terreno, donde se alojan los acuíferos de mayor permeabilidad, de renovación más activa, económicamente accesibles y con agua de buena calidad.

Escasez del Agua

En la actualidad la escasez de agua en el planeta es cada día más común, ya sea por el crecimiento de la población, el mal uso del vital líquido, la contaminación y probablemente por cambios climáticos, esto ha orillado a la agricultura al uso de aguas residuales no tratadas. Desafortunadamente hay comunidades que la única fuente hídrica para uso agrícola son las aguas residuales, siendo ésta una fuente de ingresos. Si bien el uso de las aguas residuales en la agricultura aportan beneficios para las familias se tiene que tener un buen control en su manejo para no ocasionar problemas en la salud de las personas o de quien las maneja (Organización Mundial de la Salud –OMS-2005).

Reúso del Agua Residual en México

El reúso del agua residual según la CNA (2007) será una de las opciones más viables en la actualidad y en un futuro para combatir la escasez y disponibilidad del agua en México y en el mundo. Actualmente en México se reúsan $150 \text{ m}^3.\text{seg}^{-1}$, de los cuales el 70 por ciento corresponden a agua de origen municipal y el 30 por ciento a no municipal. El reúso de agua en la agricultura es una práctica conocida en el país. Sin embargo, el reúso en la industria, servicios municipales, usos secundarios y recarga de acuíferos, se práctica hoy en pequeña proporción.

Evaluación de la Calidad del Agua

La evaluación se determina a través de tres indicadores, la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5); la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST). La DBO_5 determina la cantidad de materia orgánica biodegradable, la DQO mide la cantidad total de materia orgánica. A medida que aumenta la concentración de estos parámetros el oxígeno disuelto (OD) en el agua disminuye afectando directamente a los ecosistemas acuáticos. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. (CNA, 2008).

Parámetros que Determinan la Calidad del Agua Residual

Características Químicas Inorgánicas

Crites y Tchobanoglous (2000) mencionan lo siguiente:

Potencial de Hidrógeno (pH)

La expresión usual para medir la concentración del ión Hidrógeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo de

la concentración de un ión hidrógeno (Seoáñez , 2003). El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9. Las aguas residuales son de valores de pH menores a 5 y superiores a 9, de difícil tratamiento mediante procesos biológicos. En las descargas de las aguas residuales si el pH no cumple con las normas, el cuerpo de agua receptor es muy probable que sea alterado.

Nitrógeno

Dado que el Nitrógeno es esencial para el crecimiento biológico, reciben el nombre de nutriente o bioestimulante. Es necesario conocer la presencia de nitrógeno en las aguas residuales a la hora de evaluar la tratabilidad de la misma por medio de procesos biológicos. En casos en los que la concentración de nitrógeno sea insuficiente para los cultivos será necesario adicionarlo para lograr que el agua residual sea tratable. El contenido total del nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

Cuando un efluente secundario deba ser recuperado para la recarga de acuíferos, la concentración de nitratos es importante. Debido a las normas que ha definido la EPA (Environmental Protection Agency). La concentración de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/l⁻¹ como N, dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación del tratamiento.

Fósforo

El exceso de fósforo en las aguas residuales propicia el crecimiento de algas y otros organismos biológicos sin control, por lo que es importante conocer su concentración.

Alcalinidad

La alcalinidad del agua se define como su capacidad de neutralizar ácidos (Standard Methods, 1995, citado por Crites y Tchobanoglous, 2000). En aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos $[\text{OH}^-]$, carbonatos $[\text{CO}_3^{2-}]$ y bicarbonatos $[\text{HCO}_3^-]$ de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o de ion amonio que aporta al agua la capacidad de reaccionar con ácidos neutralizando sus efectos (Seoáñez, 1999).

La alcalinidad en las aguas residuales ayuda a regular los cambios de pH causados por la adición de ácidos. Normalmente el agua residual es alcalina, propiedad adquirida de las aguas de abastecimientos, aguas subterránea y los materiales adicionado durante los usos domésticos.

Cloruros

La concentración de cloruros en aguas residuales es un parámetro importante relacionado con su reutilización. Los cloruros de aguas residuales provienen de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos; otra fuente potencial son las descargas de aguas residuales domésticas e industriales. En áreas costeras, las concentraciones de cloruros pueden provenir de la intrusión de las aguas salinas. Por ejemplo, las heces humanas aportan 6 g de cloruro por persona por día. Cuando los contenidos de cloruros sobrepasan los normales es un indicio que la fuente de agua está siendo usada para la descarga de las aguas residuales.

Azufre

El ión sulfato se encuentra en forma natural tanto en las aguas de abastecimiento como en las aguas residuales. El azufre es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas y por eso se libera cuando ocurre la degradación de las mismas.

Los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el desarrollo normal de los procesos biológicos si la concentración excede los 200 mg/l⁻¹. Afortunadamente estas condiciones no son comunes.

Características Químicas Orgánicas:

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) del agua es medida de la capacidad de una solución para conducir corriente eléctrica. Este parámetro ayuda a determinar la posibilidad de usarse como agua de riego. También la CE determina la cantidad de sales de un agua determinada (Crites y Tchobanoglous, 2000). Para Seoáñez (2003) la conductividad, que varía en función de la temperatura, está estrechamente ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza.

Las sales minerales son, en general, buenas conductoras; las materias orgánicas y coloidales tienen escasa conductividad. Por lo tanto, para las aguas residuales no da una idea precisa para la carga contaminante, aunque sí orienta en lo que se refiere a sus posibles usos en aplicaciones agrícolas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 Días (DBO₅)

La DBO₅ es la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos de las aguas negras o desechos

(Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1986). Es el método más usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. Si existe suficiente Oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho continuará hasta que el desecho se haya consumido (Crites y Tchobanoglous, 2000). Para Arce *et al.*, (2003) la DBO_5 es la estimación de la cantidad de oxígeno disuelto que requiere una población microbiana heterogénea para oxigenar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte. Para Metcalf y Eddy (1996) la DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales como naturales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido.

Carbono Orgánico Total (COT)

La prueba del COT es usada para medir el carbono orgánico total presente en una muestra acuosa (Crites y Tchobanoglous, 2000). Para Seoáñez (2003) nos menciona que el COT es un indicador en los compuestos orgánicos, fijos, volátiles o sintéticos, presentes en las aguas residuales (celulosa, azúcares, aceites, etcétera).

Grasas y Aceites

La expresión grasa y aceites son muy usados para referirse a aceites, grasas, ceras y otros constituyentes similares encontrados en las aguas residuales

(Metcalf y Eddy, 1996; Crites y Tchobanoglous, 2000). Debido a sus propiedades, la presencia de grasas y aceites en aguas residuales pueden causar muchos problemas en tanques sépticos, en sistemas de recolección y en el tratamiento de aguas residuales. La formación de natas sobre la superficie de tanques sépticos debe ser removida periódicamente; de no ser así, el espacio comprendido entre la superficie y la zona de lodos se ve reducido, provocando el arrastre de sólidos al segundo compartimiento o a los sistemas de descarga como campos de infiltración ocasionando una acumulación de sedimentos prematura.

Tensoactivos

Los tensoactivos o agentes de actividad superficial, son moléculas orgánicas grandes que se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico (insoluble en agua) y no fuertemente hidrofílico (soluble en agua). Su presencia en las aguas residuales proviene de la descarga de detergentes domésticos, lavanderías industriales y otras operaciones de limpieza. Los tensoactivos tienden a acumularse en la interface aire – agua y pueden causar la aparición de espumas en las plantas de tratamiento. Durante el proceso de aireación del agua residual, los tensoactivos se acumulan en la superficie de las burbujas de aire creando una espuma muy estable. La determinación de los elementos tensoactivos se realiza por el análisis de cambio de color de una muestra estándar de azul de metileno. Los tensoactivos también son llamados sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

Características Biológicas:

Organismos Coliformes: Estiman la presencia de bacterias patógenas y determinan la eficiencia de desinfección. Se cuantifican por número más probable (NMP).

Microorganismos Específicos: Estiman la presencia de bacterias, helmintos, protozoarios, virus con la operación de la planta de tratamiento (Serrano, 1997; Jiménez 2002, Citado por Sierra, 2006).

Técnica de Muestreo

Gómez y Mantilla (2000) mencionan los tipos de muestreos:

Muestreos en tomas

Cada toma de muestreo debe tener una válvula de cierre que permita el paso de las aguas residuales y de los materiales que pueden contener, además de proporcionar un cierre hermético de la toma. Esta válvula y los accesorios necesarios para su instalación, debe de ser de materiales similares a los de la toma o conductos en los que se instalen. La toma debe de tener un diámetro adecuado con la menor longitud posible, situando las válvulas de tal manera que las muestras sean representativas de la descarga. Para la toma se deja fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces la cantidad de la muestra y a continuación se llena el recipiente de muestreo.

Muestreos en descargas libres

Cuando las aguas residuales fluyen libremente en forma de chorro, debe emplearse el siguiente procedimiento:

-El recipiente muestreador se debe de enjuagar repetidas veces antes de efectuar el muestreo.

-Se introduce el recipiente muestreador en la descarga o de ser posible se toma directamente la muestra en su recipiente.

-La muestra se transfiere del recipiente muestreador al recipiente para la muestra, cuidando que ésta siga siendo representativa.

La muestra debe agitarse constantemente para que no se sedimente.

Muestreo en Canales y Colectores

Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector, de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.

Si se va a evaluar el contenido de grasas y aceites, se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad. El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar la toma de muestra. El recipiente muestreador o botella y sostenido con la mano, se introduce en el agua y se extrae la muestra a un tercio de la profundidad.

Procedimiento de Muestreo

Los mismos autores describen el procedimiento a seguir en el muestreo que se mencionan enseguida:

Muestreo Manual

El muestreo manual se realiza por una persona entrenada para recolectar las muestras en los sitios y tiempos definidos. Esto implica la necesidad de un desplazamiento continuo del muestreador durante el tiempo para generar las

muestras simples y / o las compuestas. El procedimiento general utilizado para el muestreo en corrientes es el siguiente:

Se localiza el sitio de acuerdo a su ubicación previa en el plano y se procede a la recolección de la muestra dependiendo del sitio del que se trate.

Los recipientes del muestreo deberán ser previamente identificados por medio de una etiqueta autoadherible e impermeable en el laboratorio con marcador a prueba de agua, de tal manera que en el momento de tomar la muestra correspondan a los sitios previamente seleccionados anotando la fecha y la hora en que se toma la muestra y los parámetros a analizar.

Se recomienda determinar primero el flujo en el centro de la corriente, midiendo con el estadal marcando la profundidad total y se procede a ajustar la posición del medidor de velocidad a un tercio de la profundidad total.

-En el mismo sitio y a la misma altura donde se mide el flujo, se introduce el recipiente muestreador en el agua.

-Suba el muestreador y enjuáguelo con el agua colectada.

-En seguida, tome la muestra y determine los parámetros de campo de acuerdo a lo indicado.

-La muestra se trasfiere al recipiente con ayuda de un embudo y se enjuaga tres veces antes de depositar el volumen adecuado.

-Se repite el procedimiento de muestreo hasta llenar el recipiente para los análisis de laboratorio, utilizando los procesos de preservación indicados.

Muestreo Automático

Los muestreadores automáticos son equipos que permiten la obtención de muestras compuestas proporcionales al flujo y a intervalos previamente programados. Los equipos existentes en el mercado, pueden incluir recipientes de diferentes capacidades, determinación de parámetros de campo incluyendo el gasto y la preservación a temperatura de refrigeración. Las ventajas de estos equipos es que permite reducir el error humano siendo su principal desventaja su costo. Se permite el empleo de muestreadores automáticos siempre y cuando se operen de acuerdo con las instrucciones del fabricante, además de darles el mantenimiento adecuado, asegurando de esta manera la obtención de muestras representativas. Se pueden utilizar en descargas libres, canales y colectores.

Parámetros de Calidad de las Aguas

La calidad del agua se define en relación con el uso o actividad a la que se la quiera dedicar. Y por ello no podemos hablar de buena o mala calidad en abstracto, si no que cada actividad exige una calidad adecuada. Para evaluar los cambios que las diferentes aplicaciones del agua puedan originar en su calidad, empleamos parámetros físicos, químicos y biológicos. A estos parámetros se los denomina indicadores de calidad del agua (Seoáñez, 1999).

El mismo autor considera que con el fin de poder establecer los límites dentro de los cuales una modificación de los componentes del agua pueda ser aceptada de manera que no resulte impropia para los distintos usos o para el medio mismo. En las reglamentaciones internacionales se establece distintas limitaciones:

- La concentración máxima recomendada representa un tope alcanzado. Si el agua se encuentra dentro de esta limitación se puede asegurar su excelente calidad.

- La concentración máxima aceptable representa un límite a partir del cual ya no se puede garantizar la calidad del agua, pues aparecen una serie de factores que resulta incómodos al consumidor.

- La concentración máxima admisible representa el punto a partir del cual las aguas no sólo representan características molestas para el consumidor, sino que su ingestión puede resultar peligrosa para la salud y por tanto el consumo de este tipo de aguas debe quedar prohibido.

Efectos en el Suelo por la Irrigación con Aguas Residuales

Seoánez (1999) menciona que al descargar aguas residuales en el suelo puede o no beneficiarlo en ciertas condiciones. Los componentes que tienen las aguas residuales aumentan su fertilidad, aunque otros ocasionaran problemas de toxicidad si la calidad del agua no es muy buena o el exceso de su uso y un mal drenaje.

Identificación de Las Muestras

Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información.

-Identificación de la descarga.

- Número de muestra.
- Fecha y hora de muestreo.
- Punto de muestreo.
- Temperatura de la muestra.
- Profundidad de muestreo.
- Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo.

Hoja de Registro

Se debe llevar una hoja de registro con la información que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permitan repetir el muestreo.

Procedimiento

Cualquiera que sea el método de muestreo específico que se aplique a cada caso, debe cumplir los siguientes requisitos.

Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él, las determinaciones correspondientes.

Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.

MATERIALES Y METODOS

Localización del Sitio Experimental

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Gran Bosque Urbano (GBU) ubicado en Saltillo, Coah. El aforo se realizó en la descarga del agua residual. Su localización geográfica es latitud 25°25'11.98"N y longitud 100°58'13.46"O y altitud 1592 msnm (Figura 2).

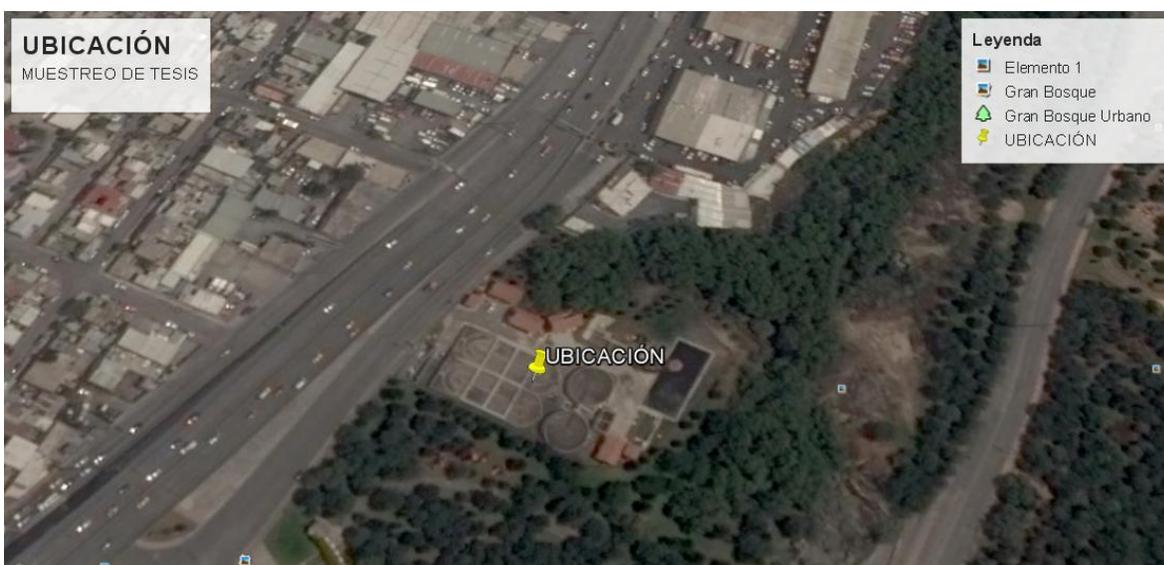


Figura 2. Localización del sitio de muestreo del influente y efluente de la PTAR del Gran Bosque Urbano.

Procedimiento de Muestreo

Muestreo Manual

La toma de muestras se llevó a cabo el día 08 de marzo de 2016. El muestreo realizado fue por el método manual. El procedimiento general para el muestreo fue el siguiente:

Se localizó el sitio dentro del Gran Bosque Urbano y se procedió a la recolección de la muestra (Figura 3)



Figura 3. Recolección de la muestra del influente y efluente

Los recipientes del muestreo se identificaron previamente por medio de una etiqueta autoadherible con marcador a prueba de agua, anotando la fecha de muestreo (Figura 4). Previamente se enjuagó el recipiente y la tapa tres veces con el agua problema.



Figura 4. Identificación de las Muestras

En seguida las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Calidad de Agua y Fertilidad de Suelos del Departamento de Riego y Drenaje para su análisis correspondiente (Figura 5).



Figura 5. Laboratorio de Calidad de Agua y Fertilidad de Suelos del Departamento de Riego y Drenaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros Físico-Químicos

En el cuadro No. 1 Se observa los resultados de la calidad del influente en función de la NOM-003-ECOL-1997 (DOF, 1997).

Cuadro 1. Resultados de la calidad del influente (DOF, 1997).

Parámetros	Laboratorio (calidad de agua residual)	NOM-003-ECOL-1997
pH	8.11	No Aplica
Conductividad Eléctrica (CE)($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) μs	1710 μs	No Aplica
Coliformes Totales (CT) (NMP)	>1600	No Aplica
Coliformes Fecales (CF) (NMP)	>1600	1000
Grasas y Aceites (GyA)($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	4723.3333	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	310	No Aplica
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	85.2	30
Sólidos Totales (ST) ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) mg/lit	1133.33	No Aplica
Sólidos Disueltos (SD) ($\text{m}\cdot\text{l}^{-1}$) mg/lit	680	No Aplica
Sólidos Suspendedos Totales (SST) mg/lit	120	30
Sólidos Suspendedos Volátiles(SSV) mg/lit	270	No Aplica
Calcio (Ca^{2+}) Meq/lit	2.08	No Aplica
Magnesio (Mg) Meq/lit	2.56	No Aplica
Cloruros (Cl^-) Meq/lit	4.968	No Aplica
Carbonatos (CO_3^{-2}) Meq/lit	1.1	No Aplica
Bicarbonatos (HCO_3^-) Meq/lit	9.1	No Aplica

La determinación de pH aunque no aplica en la norma es de gran importancia, ya que mide la intensidad de la reacción ácida o alcalina del agua. El

valor del ph 8.11 es ligeramente alcalina, por lo que es importante considerar el cultivo por establecer.

Al igual que el parámetro anterior La determinación de la Conductividad Eléctrica (CE) y Coliformes Totales (CT) no aplican, el valor de la primera es alta, pero puede ser utilizada para riego de jardines.

El resultado del análisis de detección de bacterias Coliformes Fecales (CF) en las muestras en comparación con la NOM-003-ECOL-1997, se observa que en el influente es mayor el número.

Para el contenido de Grasas y Aceites (GyA) Comparándolo con la NOM-003- ECOL-1996, sobrepasa los límites máximos permisibles de (15 mg/lit) ya que los valores encontrados fue de 4723.3333 mg/lit.

Como se puede observar los contenidos de DQO no aplica a la NOM-003-ECOL-1997. El valor obtenido en el análisis del influente fue 310 mg/lit .

Los valores de DBO₅ son de 85.2 mg/lit superando los 30 mg/lit de la norma, siendo normal ya que se trata del influente comparado con la NOM-003-ECOL-1997

El parámetro de Sólidos Totales (ST) no se considera en la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997) pero es importante conocerlo porque afecta la presencia de oxígeno en el agua residual al igual que los sólidos disueltos y volátiles.

Los análisis de aniones y cationes no están considerados en la NOM-003-ECOL-1997, pero son importantes para determinar la calidad agronómica del agua de riego..

En el cuadro No. 2 Se observa los resultados de la calidad del efluente en función de la NOM-003-ECOL-1997 (DOF, 1997)

Cuadro 2. Resultados de la calidad del efluente (DOF, 1997)

Parámetros	Laboratorio (calidad de agua residual)	NOM-003-ECOL- 1997.
pH	8.40	No Aplica
Conductividad eléctrica (CE)($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	1247 ms	No Aplica
Coliformes Totales (CT) (NMP)	2	No Aplica
Coliformes Fecales (CF)(NMP)	2	1000
Grasas y Aceites (GyA) ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	4556.6666	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	60	No Aplica
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO ₅)($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	6.51	30
Sólidos totales (ST) ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1003.33	No Aplica
Sólidos disueltos (SD) ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	296.66	No Aplica
Sólidos suspendidos totales(SST) mg/lit	30	30
Sólidos suspendidos volátiles (STV) mg/lit	120	No Aplica
Calcio. (Ca^{2+}) Meq/lit	3.04	No Aplica
Magnesio (Mg) Meq/lit	2.24	No Aplica
Cloruros (Cl^-) Meq/lit	4.048	No Aplica
Carbonatos (CO_3^{-2}) Meq/lit	0.6	No Aplica
Bicarbonatos (HCO_3^-) Meq/lit	4.2	No Aplica

La determinación de pH aunque no aplica en la norma es de gran importancia ya que mide la intensidad de la reacción ácida o alcalina del agua. El

pH subió de 8.11 del influente a 8.40 para el efluente, parámetro a considerar en función del cultivo por establecer.

La determinación de la Conductividad Eléctrica (CE) bajo de 1710 a 1247 no aplica a la NOM-003-ECOL-1997 pero es de gran importancia ya que nos indica la concentración de sales solubles en el agua.

El resultado del análisis de detección de bacterias Coliformes Fecales (CF) y totales (CT) se disminuyeron de más de 1600 a 2 en ambos casos lo que la hace útil para riego en jardines, cumpliendo con la e NOM-003-ECOL-1997.

Para el contenido de Grasas y Aceites (GyA) Comparándolo con la NOM-003- ECOL-1996, sobrepasa el límite (15 mg/lit) permitido ya que el valor encontrado en el efluente es de 4556.6666 mg/lit, lo que indica que el tratamiento, para este parámetro no es eficiente.

Aunque los parámetros DQO no aplican tanto ésta con la DBO₅ se reducen considerablemente, pasa la norma anteriormente mencionada. Como se puede observar los contenidos de DQO no aplica a la NOM-003-ECOL-1997. El valor obtenido en el análisis del efluente es de 310 mg/lit.

Los valores de DBO₅ son de 6.51 mg/lit en el efluente comparado con la NOM-003-ECOL-1997 se apega los resultados obtenidos del efluente a los límites máximos permisibles de la NOM que es de 30 mg/lit.

El parámetro de Sólidos Totales (ST) no se considera en la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997) pero es importante conocerlo porque afecta la presencia de oxígeno en el agua residual, observándose una reducción después del tratamiento; en lo que se refiere a sólidos disueltos también es importante la disminución ya que la conductividad eléctrica es baja lo que ayuda a la selección de mayor número de especies de jardín. Lo mismo pasa con SST y SSV que se manifiestan con valores bajos, permitiendo el uso del agua mediante la aplicación de cualquier sistema de riego, ya que no interfieren en el taponamiento de los accesorios.

Se observa que el contenido de Sólidos Volátiles (SV) presentes hay diferencias en los días que se muestrearon, este valor fue menor en el efluente con 120 mg/lit (cuadro 2)

En Los análisis de los datos de aniones y cationes, que aunque no aplican en esta norma se ven disminuidos el efluente, comparándolo con el influente con excepción del calcio, lo que no limita su uso para riego no están considerados en la NOM-003-ECOL-1997, los valores encontrados son más altos en el influente excepto para calcio es más alto en el efluente con un valor de 3.04 Meq/lit.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis y al compararlos con la NOM-003-ECOL-1997 podemos concluir que el agua del efluente cumple con la mayoría de los parámetros analizados, excepto para el parámetro de Grasas y Aceites que rebasa el límite máximo permisible.

El agua es aceptable para riego, si el drenaje del terreno es bueno. Es necesario utilizar sistemas de riego por gravedad o goteo y no utilizar sistema de riego por aspersión ya que se puede taponear los aspersores.

Se recomienda hacer un monitoreo frecuente de la calidad del agua residual, con el fin de detectar si la calidad varía de modo que se pueda utilizar en el riego del Gran Bosque Urbano y para que en todo momento se conozcan las necesidades, excesos y se opere en consecuencia para evitar daños a los visitantes y a la vegetación ahí establecida.

Se recomienda agregar bacterias específicas para grasas para evitar problemas posteriores como el taponamiento del drenaje y así bajar el contenido de grasas antes de su descarga.

LITERATURA CITADA

- Arce, V. A. L. 2003. Serie autodidáctica de medición de la calidad de agua: fundamentos técnicos para muestreo y análisis de la calidad de aguas residuales. México, DF. 73 p.
- Brenes R y L. F Rojas . El agua: sus propiedades y su importancia biológica. Acta Académica.2005.
- Carbajal A y González M. 2003. Funciones biológicas del agua en relación con sus características físicas y químicas. En:«Agua. El arte del buen comer». Academia Española de Gastronomía. Barcelona, España.pp:249-256.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2007. Estadísticas del Agua en México. 2007. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF.
- Comisión Nacional del Agua. Agua en el mundo. Editor Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera Edición. México 2008
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2011. Estadísticas del Agua en México. Subdirección General de Programación. Gerencia de Planeación. Hidráulica México, D,F.
- Crites, R. y G. Tchobanoglous, 2000. Sistema de Manejo de Aguas residuales: para Núcleos pequeños y Descentralizados. Tomo I. 1ªEdicion. Ed. McGraw-Hill. Colombia. 1043 p.

Departamento de Salinidad del Estado de Nueva York. 2007. Manual de Tratamiento de Aguas. Editorial Limusa, S.A. de C.V Grupo Noriega Editores. México D.F.

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

Diario Oficial de la Federación. 1980. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-34-1981. México D.F.

Gardon Masakew Fair, John Charles Geyer, Daniel Alexander Okun. 1968. Ingeniería Sanitaria de Aguas Residuales. Ed. Limusa. México

Gómez, N. A. y G. Mantilla, 2000. Técnicas de muestreo. Curso teórico de tratamiento de aguas residuales, municipales e industrial. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México, Pág. 42 y 43.

Metcalf y Eddy, (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. McGraw Hill.3ª Edición. México, D.F.

Maskew *et al*, 1968. Water and wastewater engineering: water purification and wastewater treatment and disposal. Editores wiley. . Vol. 2.

NOM-001-ECOL-1996 Diario Oficial de la Federación (DOF, 1996) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales.

Organización Mundial de la Salud (OMS) 2005 el uso de aguas residuales.

Robinson J. Water, electrolyte and acid-base balance. En: Essential of Human Nutrition. Mann J, Truswell S (eds), pp.113-128. Oxford University Press. 2002.

Seoánez C. Mariano. 1999. Aguas Residuales: Tratamiento por humedales artificiales. Colección ingeniería del medio ambiente. Ediciones Mundi-prensa. España.

Seoánez, C. M. 2003. Manual de tratamientos, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias. Ed. Mundi-Prensa. España. 465 p.

Sierra, L. L. F. 2006. Aplicación de *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de agua residual. Tesis de licenciatura, U.A.A.A.N. Torreón, Coahuila, México. Pp. 12-13.

PÁGINAS DE INTERNET CONSULTADAS

[.\(http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120P_rocC.htm\)](http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120P_rocC.htm)