

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**Calidad de Agua de Descarga de la PTAR Hacienda Narro,
Saltillo, Coahuila.**

Por

JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ DÍAZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, septiembre de 2020.

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

Calidad de Agua de Descarga de la PTAR Hacienda Narro, Saltillo,
Coahuila.

Por:

JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ DÍAZ

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito para
obtener el título de:

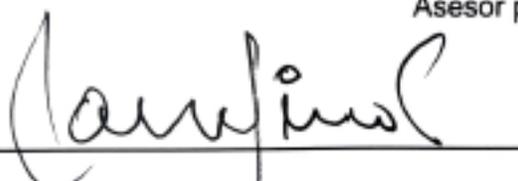
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por:



Dra. Manuela Bolívar Duarte

Asesor principal



Ing. Rolando A. Sandino Salazar

Coasesor



M.C. Edmundo Ramírez R.

Coasesor




M.C. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de Ingeniería

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México, septiembre, 2020

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la vida y la fe para seguir esforzándome cada día más por mis metas, también por no dejarme nunca solo en mis luchas.

A mi Alma Terra Mater, **la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por permitirme formar parte de la institución y darme las bases de mi preparación en experiencias, conocimientos, anécdotas, conceptos, sabiduría, prácticas, etc.

A la **Dra. Manuela Bolívar Duarte** por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, por sus consejos, sus pláticas, sus conocimientos, por poder ser su alumno y tesista, gracias por su paciencia, su amistad y la confianza que tuvo hacia mí.

A la **QFB. Ana Paola Moreno Garza** por el apoyo brindado para realizar las muestras de laboratorio, por la paciencia y sobre todo, por el tiempo dedicado.

A mis **Profesores** que se tomaron el tiempo de enseñarnos, para que fuéramos ingenieros de excelencia, gracias por el tiempo dedicado para nosotros.

Al Departamento de **Riego y Drenaje** por permitir ser parte de ese maravilloso departamento, por el gran ambiente que se vive en la instalación.

Al **Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho** por el apoyo que brindó en primer día de tutorías, a sus consejos que me ayudaron a mi formación dentro de esta Institución.

A mis **Compañeros** de generación **CXXVII y CXXVIII**, por ser parte de mi familia, gracias por sus amistades. Les deseo éxito en su vida profesional.

A mis **amigos** que sin ustedes yo no habría llegado hasta esta etapa, los quiero mucho, sin duda haberlos conocido fue uno de los tesoros más raros de encontrar. A **Dulce Roblero** por sus consejos para poder redactar mejor. A **Fátima del Rosario** por su amistad, gracias por la compañía.

DEDICATORIA

A **mis padres María del Carmen Díaz Pérez y Diego Gómez Pérez**, por nunca dejarme solo a pesar de mis tropiezos y confiar siempre en Mí. Muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye éste. Gracias por haberme forjado como la persona que soy. Mamá, gracias por siempre estar disponible para Mí, por tus consejos que siempre me ayudaron, por tus desvelos cuando me enfermaba. Papá, gracias por el esfuerzo que hiciste para yo poder seguir estudiando, gracias por la educación estricta que hubo en casa, gracias a ello siempre luché por mis metas. Ustedes son el motor de mi existencia.

A **mis hermanos** por el apoyo que me han dado, por Ustedes me estoy esforzando cada día más, Ustedes me han impulsado a llegar donde yo estoy. Le doy gracias a Dios por haberme dados a unos hermanos tan maravillosos y luchadores.

A **mi hermano José Rafael Gómez Díaz** por compartir mayor parte de mi vida, por tus regaños, tus consejos y experiencias. Gracias por ser mi gemelo.

A **mis tías** que siempre confiaron en mí, también este logro se los debo a Ustedes. Gracias por apoyo incondicional.

A **mi abuelita Dominga (+)**, por su amor, su ejemplo, sus sueños. Siempre te llevaré en mi corazón.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo.....	2
1.2. Hipótesis.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Tratamiento de Aguas Residuales.....	3
2.2. Ciclo Urbano del Agua.....	4
2.3. Lodos Activados	4
2.4. Indicadores	5
2.4.1. Indicadores Sensoriales:	5
2.4.1.1. Color.....	5
2.4.1.2. Olor	6
2.4.1.3. Espumas y Natas	6
2.4.1.4. Algas	6
2.4.1.5. Rocío en Aireadores	6
2.4.1.6. Turbiedad del Efluente	6
2.4.1.7. Burbujas	6
2.4.1.8. Material Flotante	7
2.4.1.9. Acumulación de Sólidos	7
2.4.1.10. Trayectoria de Flujos.....	7
2.4.1.11. Turbulencias y Mezcla.....	7
2.4.2. Indicadores Analíticos:	7
2.4.2.1. Temperatura.....	7
2.4.2.2. pH	8
2.4.2.3. Oxígeno Disuelto.....	9

2.4.2.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	9
2.4.2.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	9
2.4.2.6. Sólidos Suspendedos Totales y Volátiles (SST y SSV)	9
2.4.2.7. Grasas y Aceites (G y A).....	10
2.5. Calidad de agua en México	10
2.6 Ley de Aguas Nacionales (LAN).....	10
2.7. Composición de las Aguas Residuales.....	14
2.8. Aplicación del Lodo Residual en el Suelo.....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Descripción del Sitio de Estudio	16
3.1.1 Proceso de la Planta Tratadora de Aguas Residuales Hacienda Narro .	17
3.2 Muestreo y Análisis del Agua Residual.....	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28
6. BIBLIOGRAFÍA.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Escalas de clasificación de la calidad del agua	11
Cuadro 2. Categorías de los procesos utilizados en el tratamiento de AR	17
Cuadro 3. Resultados de las muestras en relación con la NOM-001- SEMARNAT-1996 ..	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases del ciclo urbano del agua	4
Figura 2. Esquema del proceso de lodos activado	5
Figura 3. Relación de temperatura y actividad biológica.....	8
Figura 4. Escala de pH y procesos biológicos	8
Figura 5. Ubicación de la PTAR Hacienda Narro.....	16
Figura 6. Descripción de las etapas del proceso de tratamiento del AR de la Hacienda Narro.....	17
Figura 7. Toma de muestra del influente (alcantarilla).....	18
Figura 8. Toma de muestra del efluente	18
Figura 9. Muestras en el cono de Imhoff (SS)	19
Figura 10. Muestras en la cápsula de porcelana (ST)	19
Figura 11. Enfriando el crisol en el desecador	19
Figura 12. Aplicación de vacío a la muestra	19
Figura 13. Evaporación de la muestra en la parrilla	20
Figura 14. Pesado de muestra.....	20
Figura 15. Medición de las muestra.....	21
Figura 16. Muestras con sus reactivos.....	21
Figura 17. Ebullición de las muestras en el aparato de reflujo.....	21
Figura 18. Medidor de oxígeno Disuelto.....	22
Figura 19. Toma de lectura de las muestras.....	32
Figura 20. Incubación de las muestras.....	22
Figura 21. Lectura de positivos y negativos.....	22
Figura 22. Muestras con el caldo LBVB.....	23
Figura 23. Muestras con el caldo lactosado.....	23
Figura 24. Relación de DBO ₅ y DQO del influente.....	25
Figura 25. Relación de DBO ₅ y DQO del efluente.....	26
Figura 26. Relación de DBO ₅ y DQO.....	27

RESUMEN

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida, pero lamentablemente este vital líquido se está contaminando de forma severa, es por eso por lo que existe la gran necesidad de que las aguas residuales municipales e industriales se traten para su reutilización. La finalidad del trabajo fue determinar la calidad de agua de descarga en la planta tratadora Hacienda Narro. La presente investigación se realizó en la planta tratadora del Fraccionamiento del mismo nombre, donde se tomaron dos muestras: efluente e influente, fueron evaluadas en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje. Los parámetros físicos, químicos y biológicos que se evaluaron fueron: Potencial de Hidrógeno (pH) Conductividad Eléctrica (CE) Sólidos Sedimentales (SS) Sólidos Totales (ST) Sólidos Suspendidos Totales (SST) Sólidos Totales Volátiles (STV) Sólidos Disueltos (SD) Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) Demanda Química de Oxígeno (DQO) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) Grasas y Aceites (G y A) Coliformes Totales (CT) Coliformes Fecales (CF) Análisis de Aniones y Cationes. Los resultados que se obtuvieron en las muestras fueron permisibles de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, el agua que están descargando de la PTAR no afecta al medio ambiente.

Palabras clave: reutilización, calidad, análisis, parámetros.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida. Este preciado recurso está progresivamente amenazado por la falta de cultura de las personas, también por el alto crecimiento de la población al nivel mundial. Por ello es necesario ponerle máxima atención, ya que sin ella no existiríamos. Es el principal componente del cuerpo humano.

El agua cubre más del 71 por ciento de la superficie del planeta; se encuentran en océanos, lagos, ríos; en el aire, en el suelo. Es la fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima del mundo. Posee propiedades únicas que la hacen esencial para la vida (Gómez, et al. 2010).

Es una de las sustancias más nobles que existen en la naturaleza. Puede presentarse en los tres estados de la materia (líquido, sólido, vapor) y mantenerse durante largo tiempo (años) conservando su calidad, si no es afectada por contaminación. El volumen total de agua en nuestro planeta no ha variado en los últimos 30 a 40 mil años, pero sí ha sufrido la calidad un deterioro notorio, debido al crecimiento de la población y a las actividades asociadas (Auge, 2007).

La calidad del agua se determina en función del uso que se le vaya a dar. Existen composiciones ideales y diferentes ya sea para agua potable, riego, uso industrial u otros (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, UICN, 2018).

La forma más común de evaluar la calidad del agua es comparando las mediciones de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos con los rangos establecidos por las líneas directivas o normas de calidad de agua (Montalvo, et al. 2019).

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014) en México existen 4,904 plantas de tratamiento, de las cuales 2,287 están instaladas en áreas urbanas y 2,617 tratan aguas residuales industriales. Este número de sistemas de tratamiento solo tratan el 50 por ciento de las aguas residuales urbanas y 29 por ciento de las industriales.

El tratamiento biológico más usado para las aguas residuales son los lodos activados, ya que permite una depuración natural en la que los organismos se encargan de limpiar el agua contaminada a su estado natural.

El propósito final del tratamiento del agua residual en una planta de tratamiento es la remoción de partículas contaminantes solubles y no solubles y la separación y el tratamiento de la biomasa generada en un proceso biológico (CONAGUA, 2015).

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo del siguiente trabajo fue:

1.1. Objetivo

Determinar la calidad de agua de descarga de la PTAR Hacienda Narro dando cumplimiento a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

1.2. Hipótesis

La hipótesis se planteó para conocer la calidad de agua de descarga de la PTAR Hacienda Narro, en función a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Ho: La calidad de descarga de agua no cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996

Ha. La calidad de descarga de agua cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Tratamiento de Aguas Residuales

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2018a) la calidad de agua puede definirse como una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito. Para la evaluación de la calidad del agua se utilizan tres indicadores principales: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST). La DBO₅ se utilizan para medir la materia orgánica biodegradable; la DQO mide la materia orgánica generada, sobre todo, por descargas de agua residuales industriales, mientras que los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión de suelo.

En las aguas residuales existen varios tratamientos para la eliminación de los contaminantes mediante procesos químicos o biológicos, que a continuación se mencionan:

El tratamiento primario contempla el uso de operaciones físicas tales como la sedimentación y el desbaste para la eliminación de los sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual. En el secundario son procesos biológicos y químicos los que se emplean para eliminar la mayor parte de la materia orgánica. En el terciario (tratamiento avanzado) se emplean combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias con el fin de eliminar otros componentes, tales como el Nitrógeno y el Fosforo (Metcalf y Eddy, 1998).

De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (DOF, 1996) la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, establece los límites máximos

permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

2.2. Ciclo Urbano del Agua

La tierra está conformada sobre todo de agua que se encuentran naturalmente en los ríos, lagos, aguas subterráneas y mares. Se han invertido infraestructura para la conducción, distribución y tratamiento. Este ciclo se aplica a toda la comunidad humana sin importar su tamaño, como se muestra en la figura 1 (Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión, INCyT, 2019)

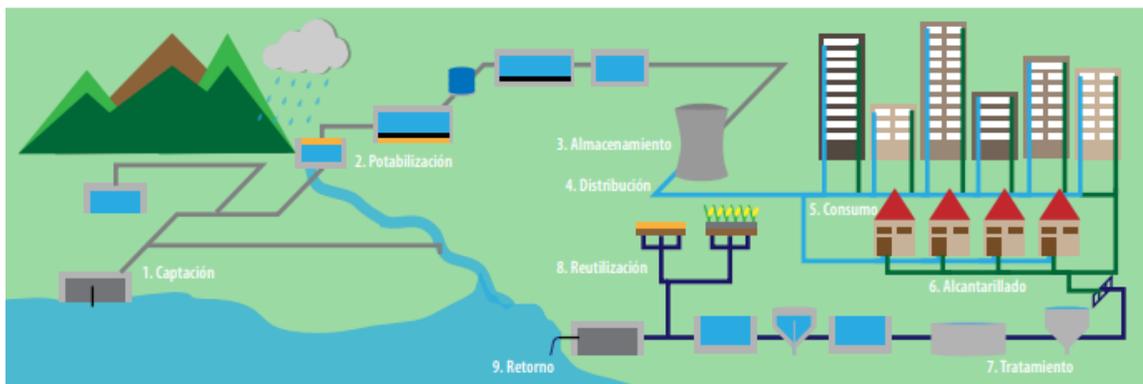


Figura 1. Fases del ciclo urbano del agua (INCyTU 2019).

2.3. Lodos Activados

Es el sistema más usado actualmente para dejar el agua residual según reportan Méndez et al (2004) en su estado original. Una planta de lodos activados es un sistema de mezcla completa. Su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo en medio aerobio. Este método está provisto de un sistema de recirculación y eliminación de lodos. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de

aereadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido en estado de mezcla completa, mostrado en la figura 2.

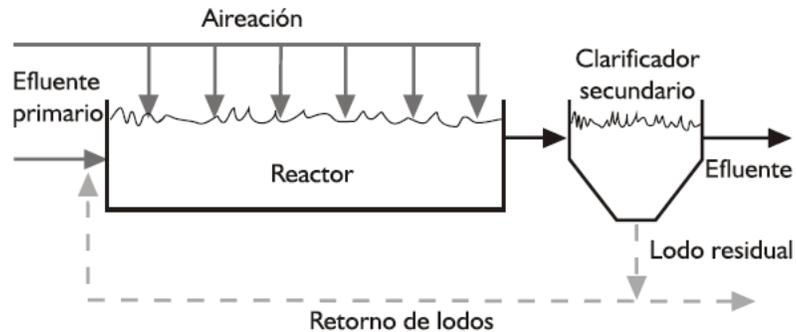


Figura 2. Esquema del proceso de lodos activado convencional (Metcalf & Eddy, 1998)

2.4. Indicadores

Para el buen manejo de una planta tratadora de agua residual es necesario que se operen de manera correcta, (CONAGUA, 2016) establece indicadores (sensoriales y analíticos) para monitorear los parámetros que necesitan alguna medición o determinación de laboratorio. A continuación, se presentan los parámetros:

2.4.1. Indicadores Sensoriales:

2.4.1.1. Color

El color puede ser indicativo de un lodo viejo o de uno saludable; un lodo activado aerado en buenas condiciones presenta un color café achocolatado. Un lodo oscuro o negro podrá indicar que no se transfiere el suficiente oxígeno al tanque de aireación y que el lodo es anaerobio.

2.4.1.2. Olor

El olor puede indicar si el proceso de tratamiento está trabajando bien. Una planta bien operada no debe generar olores desagradables, excepto en el cárcamo de llegada, los cuáles pueden eliminarse si se acondiciona con una preaireación.

2.4.1.3. Espumas y Natas

La espuma indica que los niveles de sólidos no son adecuados, o bien que el lodo no tiene la edad requerida. El tipo de espuma es indicador de las condiciones de operación de la planta de tratamiento y que se relaciona directamente con la presencia o ausencia de microorganismos.

2.4.1.4. Algas

El excesivo crecimiento de algas en las paredes de los tanques o en las canaletas recolectoras indica que el afluente de la planta tiene altos niveles de nutrientes.

2.4.1.5. Rocío en Aireadores

Los aireadores mecánicos fijos o flotantes deben de estar sumergidos a una profundidad adecuada para generar un rocío óptimo en el rociador.

2.4.1.6. Turbiedad del Efluente

Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario es una indicación obvia del mal funcionamiento de la planta.

2.4.1.7. Burbujas

Las burbujas en el sedimentador secundario denotan que el lodo es retenido durante mucho tiempo y que se debe incrementar la recirculación. Esto propicia una condición anóxica, por lo que los microorganismos (lodo biológico) empiezan a desnitrificar, notándose un ligero burbujeo debido al nitrógeno gas que es liberado y que arrastra lodo de color café hacia la superficie.

2.4.1.8. Material Flotante

El material flotante o capa de lodos del sedimentador secundario es indicador de altas concentraciones de grasas y aceites en el influente a la planta.

2.4.1.9. Acumulación de Sólidos

La acumulación de sólidos, sobre todo en las esquinas, en zonas intermedias entre aireadores o zonas profundas indica un mezclado ineficiente del licor mezclado del tanque de aireación.

2.4.1.10. Trayectoria de Flujos

Un cortocircuito se presenta cuando el influente pasa al tanque directamente de la estructura de entrada a la estructura de salida.

2.4.1.11. Turbulencias y Mezcla

La turbulencia en el tanque de aireación puede usarse para identificar problemas; un tanque completamente mezclado debe presentar una turbulencia homogénea.

2.4.2. Indicadores Analíticos:

2.4.2.1. Temperatura

CONAGUA (2016) considera que la temperatura es un parámetro muy importante de operación debido a que tiene un efecto directo en el nivel de actividad de las bacterias en los sistemas de lodos activados. El rango óptimo de temperatura para la actividad bacteriana aerobia es entre 25 y 32 °C. A altas temperaturas las bacterias se vuelven más activas, inversamente a menor temperatura menor actividad bacteriana, mostrada en la figura 3.

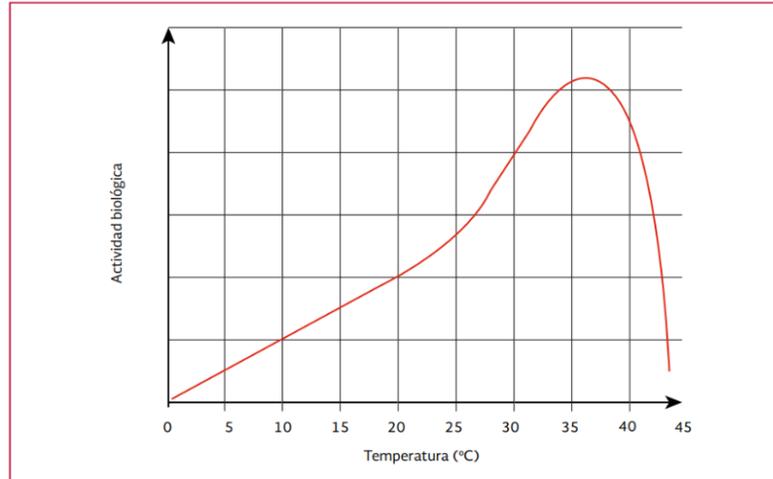


Figura 3. Relación de temperatura y actividad biológica (CONAGUA, 2016).

2.4.2.2. pH

El autor anterior considera que es necesario este parámetro para asegurar el desarrollo de los microorganismos en la planta tratadora de agua; indica el grado de acidez o alcalinidad del agua. El rango óptimo de pH es entre 6.0 y 8.5 unidades, aunque las bacterias pueden sobrevivir en el rango de pH entre 5.0 y 10.0 pero no pueden reproducirse, como se muestra en la figura 4.

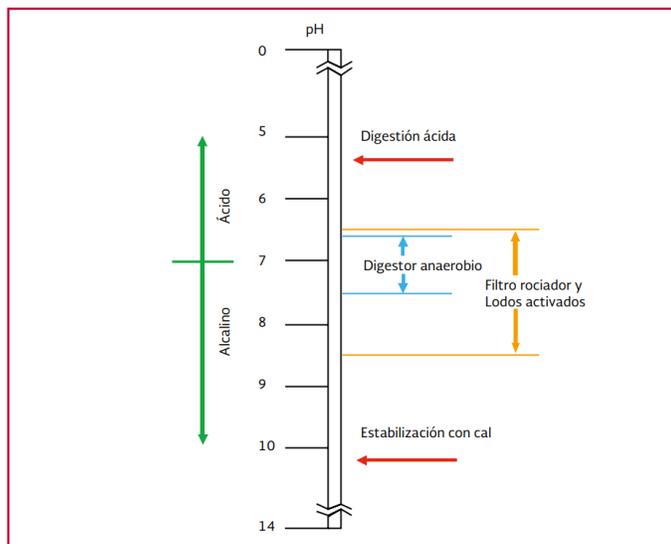


Figura 4. Escala de pH y procesos biológicos. CONAGUA, 2016.

2.4.2.3. Oxígeno Disuelto

Es la cantidad de Oxígeno disperso que se encuentra en el agua, así como se encuentra en el aire y que las especies vegetales, animales y microorganismos necesitan para vivir. Muestra las actividades físicas, químicas y bioquímicas que suceden dentro del curso de agua, por tal motivo es un buen indicador de contaminación. El Oxígeno Disuelto (OD) se mide en miligramos de Oxígeno Disuelto por litro de agua (mg/l) (UICN, 2018).

2.4.2.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es una medida de la cantidad de Oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte. Específicamente representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por Dicromato en solución ácida (León, 2009).

2.4.2.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ se define como la cantidad de Oxígeno requerido por los microorganismos, para estabilizar el material orgánico biodegradable presente en el agua, en condiciones aerobias (Navarro et al. 2005).

2.4.2.6. Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles (SST y SSV)

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST): son el material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 μm secado y llevado a masa constante a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV): Son aquellos sólidos suspendidos que se volatilizan en la calcinación a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Norma Mexicana, NMX, 2015).

2.4.2.7. Grasas y Aceites (G y A)

Este parámetro debe monitorearse tanto en aguas residuales municipales, como en industriales, sobre todo cuando se conoce su existencia. Las grasas y aceites interfieren en la transferencia de materia orgánica soluble a través de la pared celular de los microorganismos al envolverlos, por lo cual mueren por falta de alimento (CONAGUA, 2016).

2.5. Calidad de agua en México

En 2019 la red de agua superficial estuvo constituida por 2,764 sitios. El análisis de la calidad del agua superficial consideró ocho indicadores: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅) Demanda Química de Oxígeno (DQO) Sólidos Suspendidos Totales (SST) Coliformes Fecales (CF), *Escherichia coli*, (E.coli), Enterococos (ENTEROC), Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD) y Toxicidad (TOX). Los resultados para 2019 mostraron una calificación de excelente para 42.6 por ciento de los sitios considerando DBO₅, 15.8 por ciento para DQO, 61.7 por ciento para SST, 28.0 por ciento para CF, 40.8 por ciento para E. coli, 85.4 por ciento para ENTEROC, 44.2 por ciento para OD. El resto de los sitios obtuvieron una calificación que varió de buena calidad a fuertemente contaminada. En el caso de toxicidad 90.4 por ciento de los sitios no presentaron toxicidad. (CONAGUA, 2019).

2.6 Ley de Aguas Nacionales (LAN)

Es la Ley que norma y rige las atribuciones de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2818b) marca como obligaciones:

- Mantener actualizado y hacer público periódicamente el inventario de las aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes y de la infraestructura hidráulica federal.
- Elaborar balances en cantidad calidad del agua por regiones y cuencas hidrológicas.

- Establecer el Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua como instrumento básico y uno de los principios de la política hídrica nacional, mostrada en el cuadro 1.

Cuadro 1. Escalas de clasificación de la calidad del agua (CONAGUA, 2018b)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (mg/l)						
0	<	DBO ₅	<=	3	Excelente	No contaminada Azul
3	<	DBO ₅	<=	6	Buena Calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable Verde
6	<	DBO ₅	<=	30	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente Amarillo
30	<	DBO ₅	<=	120	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal Naranja
120	<	DBO ₅	-	-	Fuertemente Contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales Rojo

Cuadro 1..... Continuación

Demanda Química de Oxígeno (DQO)						
(mg/l)						
0	<	DQO	<=	10	Excelente	No contaminada Azul
10	<	DQO	<=	20	Buena Calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable Verde
20	<	DQO	<=	40	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente Amarillo
40	<	DQO	<=	200	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal Naranja
200	<	DQO	-	-	Fuertemente Contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales Rojo
Sólidos Suspendedos Totales (SST)						
(mg/l)						
0	<	SST	<=	25	Excelente	Clase de excepción, muy buena calidad Azul
25	<	SST	<=	75	Buena Calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable Verde

Cuadro 1..... Continuación

75	<	SST	<=	150	Aceptable	Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido	Amarillo
150	<	SST	<=	400	Contaminada	Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido	Naranja
400	<	SST	-		Fuertemente Contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces	Rojo
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100ml)							
0	<	CF	<=	100	Excelente	No contaminada o condición normal. No hay evidencia de alteración en los valores de la calidad bacteriológica para el cuerpo de agua superficial	Azul
100	<	CF	<=	200	Buena Calidad	Aguas superficiales con calidad satisfactoria para la vida acuática y para uso recreativo con contacto primario, así como para otros usos. Indicios de alteración de la calidad bacteriológica	Verde

Cuadro 1..... Continuación

200	<	CF	<=	1,000	Aceptable	Aguas superficiales con calidad admisible como fuente de abastecimiento y para riego agrícola. Muestra bajos niveles de alteración como resultado de la actividad humana	Amarillo
1,000	<	CF	<=	10,000	Contaminada	Aguas superficiales con contaminación bacteriológica. Indica alteración substancial con respecto a la condición normal	Naranja
10,000	<	CF	-	-	Fuertemente Contaminada	Aguas superficiales con fuerte contaminación bacteriológica. Alteración severa	Rojo

2.7. Composición de las Aguas Residuales

Tal como lo señala Metcalf y Eddy (1996) existen varios tipos de aguas residuales con sus diversos orígenes:

- Agua residual doméstica (o sanitaria). Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas y similares.
- Agua residual industrial. Agua residual en la cual predominan vertidos industriales.
- Infiltración y aportaciones incontroladas (I/I). Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas, o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.
- Aguas pluviales. Agua resultante de la escorrentía superficial.

2.8. Aplicación del Lodo Residual en el Suelo

El uso de lodo residual para la agricultura es importante ya que contienen un gran contenido de nutrientes y materia orgánica que ayudan al suelo agrícola. Uno de los problemas que presenta México es el empobrecimiento de suelo, una de las alternativas es aplicar lodos al suelo, pero para ello se necesita que se tenga un control en las aplicaciones del mismo y que se busquen métodos prácticos al campo.

Los lodos o biosólidos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante el tratamiento de aguas residuales. Esto incluye, pero no se limita, a sólidos removidos en tratamientos primarios, secundarios o terciarios y material derivado de lodos sanitarios (Castro, et al. 2007).

El reciclaje de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. Éstos mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. También provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el Nitrógeno y el Fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el Níquel, el Zinc y el Cobre. Los biosólidos pueden servir también como una alternativa o sustituto, al menos parcial, de los costosos fertilizantes químicos (CONAGUA, 2015).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del Sitio de Estudio

La planta tratadora donde se determinó las calidades del influente y efluente se encuentra localizada al Sur de Saltillo en el Fraccionamiento Hacienda Narro, Saltillo, Coah (Ver figura 5) en las coordenadas geográficas 25°21'57.30" de Latitud Norte, 101° 2'2.63" Longitud al Oeste y una altura de 1,728 metros sobre el nivel de mar (msnm) (Google Earth Pro, 2017).



Figura 5. Ubicación de la PTAR Hacienda Narro (Google Earth Pro, 2017)

El proceso que se utiliza es el de lodos activados como se muestran en el cuadro 2.

3.1.1. Proceso de la Planta Tratadora de Aguas Residuales Hacienda Narro

El proceso utilizado en esta planta se muestra a continuación, así como las categorías del proceso:

Cuadro 2. Categorías de los procesos utilizados en el tratamiento de AR

PROCESO	VENTAJAS Y DESCRIPCIÓN
Tratamiento primario	Eliminar material grueso
Tratamiento secundario, componentes mecánicos.	Sencillo mantenimiento, trabajo a baja velocidad, mínimo desgaste; reducción completa por engranes.
Desinfección, cloración con pastillas.	Alta remoción de patógenos, sencilla y económica operación.
Almacenaje integral y tratamiento de lodos.	Las mínimas cantidades de lodos producidos serán parcialmente estabilizadas y se almacenarán a largo plazo dentro de la planta.

Por lo tanto, el flujo para el tratamiento de aguas se expone en la figura 6.

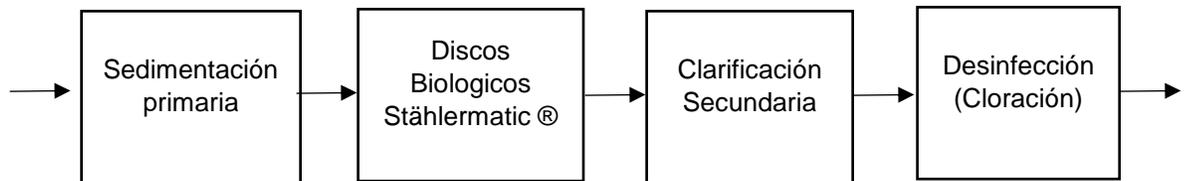


Figura 6. Descripción de las etapas del proceso de tratamiento del AR de la Hacienda Narro

3.2. Muestreo y Análisis del Agua Residual

De las muestras del agua que se obtuvieron en el influente (Figura 7) y efluente (Figura 8) se llevaron al Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje, lo primero que se les determinó fue el potencial de Hidrógeno (pH) y Conductividad Eléctrica (CE) para el influente y efluente, utilizando un equipo Thermo Scientific.



Figura 7. Toma de muestra del influente (alcantarilla)



Figura 8. Toma de muestra del efluente

Posteriormente se determinaron los Sólidos Sedimentables (SS); se tomó un litro de cada muestra y se vertió en el cono de Imhoff (figura 9). Enseguida se analizó Sólidos Totales (ST) como se aprecia en la figura 10, se llevaron a peso constante las cápsulas de porcelana por una hora a 550°C ; se enfriaron en el desecador para después pesar en la balanza analítica (peso 1); se tomó una muestra para agregarla a la cápsula, se evaporó hasta quedar un pequeño volumen, el ejemplar se puso a la estufa, una vez terminado se pesó para obtener el peso 2.



Figura 9. Muestras en el cono de Imhoff (SS)



Figura 10. Muestras en la cápsula de porcelana (ST)

Se determinaron Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) se llevó a peso constante el crisol Gooch por 2 horas a 550°C, ya con el filtro de fibra de vidrio. Asimismo, se dejó enfriar el material en el desecador (figura 11); se instaló el crisol en el matraz Kitasato para aplicar el vacío, mojando con agua destilada para fijar el filtro en el crisol (figura 12).



Figura 11. Enfriando el crisol en el desecador



Figura 12. Aplicación de vacío a la muestra

También se determinaron los Sólidos Disueltos (SD) donde se realizaron los mismos procedimientos a los Suspendidos (SS), pero en este caso se evaporó la muestra en una parrilla eléctrica (Figura 13); se dejó enfriar y después se pesaron para obtener el resultado (Figura 14).

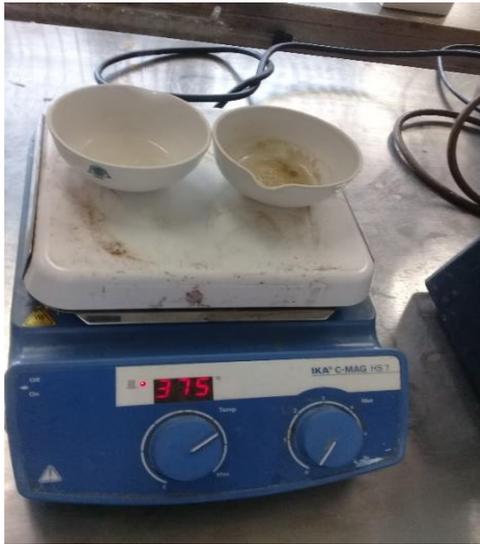


Figura 13. Evaporación de la muestra en la parrilla



Figura 14. Pesado de la muestra

Se determinaron los parámetros de DQO y DBO₅; se tomaron 20 ml de cada muestra (influyente y efluente) como se puede ver en la figura 15, se agregaron reactivos a la muestra, 25 ml de Dicromato de Potasio y una pisco de Sulfato de Mercurio (Figura 16) una vez terminado se llevaron los matraces al aparato de reflujo (Figura 17).



Figura 15. Medición de las muestras



Figura 16. Muestras con sus reactivos



Figura 17. Ebullición de las muestras en el aparato de reflujo.

Para la DBO₅ se determinó con un medidor de Oxígeno Disuelto (marca HANNA modelo HI 9146) como se señala en la figura 18; se tomaron tres lecturas (figura 18) para cada muestra y se calculó la media.



Figura 18. Medidor de Oxígeno Disuelto

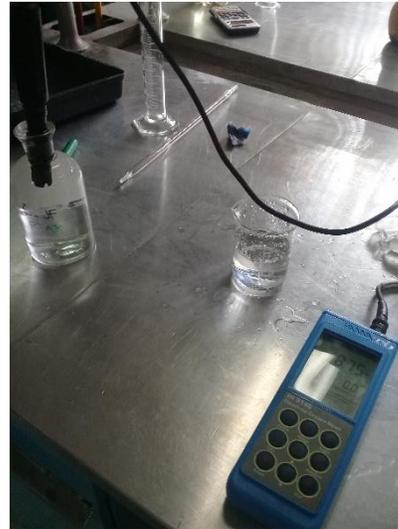


Figura 19. Toma de lectura de las muestras

Así mismo se analizaron Coliformes Totales (CT) y Fecales (CF) en ambas muestras; se prepararon las soluciones esterilizadas, posteriormente se encubaron (figura 20) para observar positivos y negativos (figura 21).



Figura 20. Incubación de las muestras



Figura 21. Lectura de positivos y negativos

Por último, todas las muestras que dieron positivas se les realizó la prueba confirmatoria para Coliformes Totales (CT) y Fecales (CF). Se inoculan en los tubos el caldo Lactosa Bilis Verde Brillante (LBVB) (figura 22). De igual manera se inocularon las muestras con el caldo lactosado color amarillo (figura 23). Finalmente se determinaron grasas y aceites (G y A).



Figura 22. Muestras con el caldo LBVB



Figura 23. Muestras con el caldo lactosado

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos en el influente y efluente, donde se puede afirmar que cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1996). Todos los parámetros están en el rango permisible de dicha norma.

Como se puede apreciar en los resultados, algunos parámetros no aplican (N/A) en la Norma. Sin embargo, estos resultados nos ayudan a interpretar mejor la calidad de descarga de agua residual.

Cuadro 3. Resultados de las muestras en relación con la NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetro	Límites Máximos Permisibles (LMP)			
	NOM- 001- SEMARNAT-1996			
		Influente	Efluente	
	Unidad	Resultado	Resultado	
Parámetros Físico				
Químicos				
Sólidos Sedimentales (SS)	ml/ L	10	Imperceptible	1
Sólidos Totales (ST)	ml/ L	1586.666	856.666	N/A
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	ml/ L	330	50	150
Sólidos Totales Volátiles (STV)	ml/ L	2040	1220	N/A
Sólidos Disueltos (SD)	ml/ L	1130	170	N/A
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	ml/ L	420	70	N/A

Cuadro 3.....Continuación

Demanda Química de Oxígeno (DQO)	ml/ L	101.125	50.405	N/A
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	ml/ L	693.3	33.17	150
Grasas y Aceites (G y A)	ml/ L	124.14	3.06	15
Parámetros de Referencia				
pH	Unidades	7.852	6.973	5.0 a 10.0
CE	μS/cm	1716	1563	N/A

Observando la figura 24, la muestra del influente tiene un grado alto de contaminación, esto muestra que el agua residual aún no se ha tratado, la relación entre la DQO/DBO₅ es 1:7.

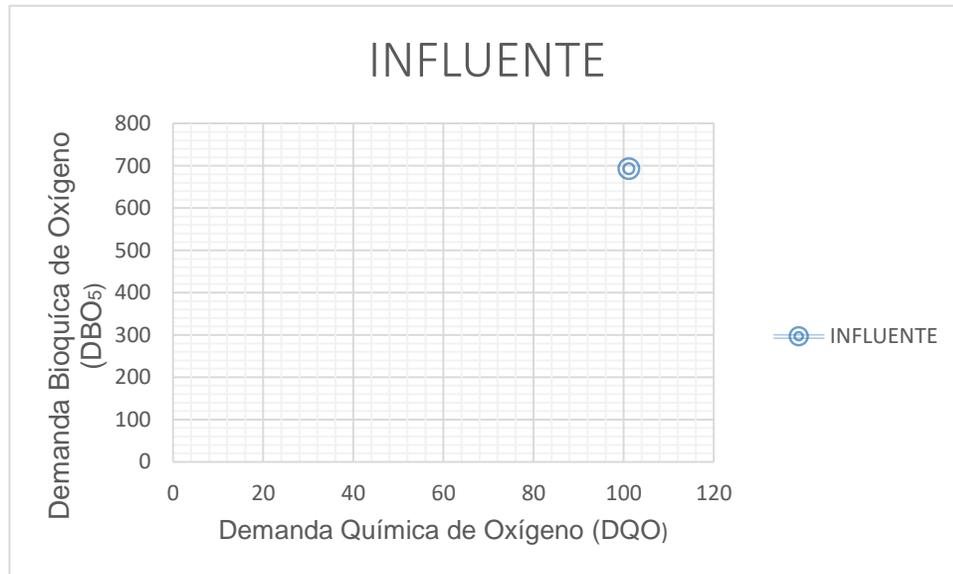


Figura 24. Relación de DQO y DBO₅ del influente

Como se puede observar en la figura 25, los resultados de la DQO y DBO₅ del efluente son más bajos con respecto al influente, porque el agua residual tuvo

su previo proceso de tratamiento antes de descarga hacia el arroyo. Cumpliendo con los parámetros de dicha Norma.

Puede observarse que la relación entre los parámetros anteriores bajo aproximadamente 1.5:1 cumpliendo con el objetivo del tratamiento.



Figura 25. Relación de DQO y DBO₅ del efluente

De los datos obtenidos, de la relación entre la DBO₅ y DQO de las muestras (figura 26) se puede observar la gran diferencia de un agua sin tratar y una tratada y también nos ayuda a conocer el nivel de contaminantes de las muestras (influyente y efluente) del agua residual. Esto nos plantea la necesidad de tratar toda el agua que se descarga en los ríos, suelo, mar, subsuelo, presa, u otro en particular.

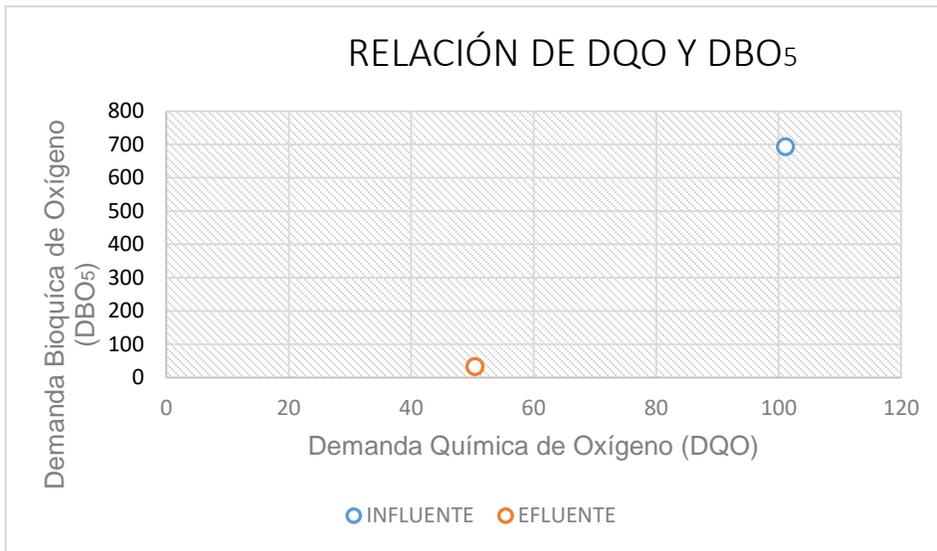


Figura 26. Relación de DQO y DBO₅

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La calidad de agua de descarga de la planta tratadora Hacienda Narro cumple con los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996; el agua tratada se puede usar para riego, después de todo, ayudan en el ahorro de fertilizantes, ya que son ricos en nutrientes. El agua tratada que se descarga al cuerpo receptor de agua no impacta negativamente al medio ambiente.
- En conclusión, es importante tratar las aguas residuales para no impactar drásticamente las superficiales y subterráneas, que son vitales para la vida en el planeta.
- Exhortar a que todas las aguas residuales que se descargan en aguas y bienes nacionales cumplan con los parámetros de acuerdo a la norma y que se estén supervisando por personas expertas en la materia.
- Dejar de descargar el agua tratada en el arroyo de manera que no se desperdicie y pueda generar un beneficio común.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Castro, C. P., O. Hernández y R. Freres, 2007. Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la región metropolitana de Santiago. *Revista de Geografía Norte Grande*, 37: 35-45 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2014. Comisión Nacional del Agua. Num3ragua.Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. P. 102.
- Diario Oficial de la Federación (DOF, 1996). NOM-001-SEMARNAT-1996. Semarnat. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Mexico.
- Gómez, G.M., B.C. Danglot, y F.L. Vega. 2010. Disponibilidad de agua para la salud y la vida. Lo que todos debemos saber. *Revista Mexicana*. Vol. 77.11 p.
- INCyT (Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión). 2019. Tratamiento de aguas residuales. Número 028. 6 p.
- L. Méndez, V. Miyashiro, R. Rojas, M. Cotrado y N. Carrasco. 2004. Tratamientos de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*. Vol. 7, N° 14. 83 p.
- León, C.A. 2009. Estandarización y validación de una técnica para medición de la demanda bioquímica de oxígeno por el método respirométrico y la demanda química de oxígeno por el método colorimétrico. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 103 p.

- Metcalf y Eddy, Inc. 1996. Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización. McGRAW-HILL. Tercera edición, volumen I.España. Pp. 18.
- Metcalf y Eddy, Inc. 1998. Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización. McGRAW-HILL. Tercera edición, volumen I. D.F. México. Pp. 3.
- Montalvo E. J. F., J. Romero L., T., Lozano M. A., & C. Tierra L. J. (2019). Calidad del agua del río Luyanó: aplicación de un índice de calidad del agua. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 40(3), 3–14. Cuba.
- Navarro, R. M., M. C. E. Lloréns., y J. G. M. Ruiz. 2005. Validación de La Determinación de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas y Aguas Residuales. Revista CENIC Ciencias Químicas, 36, 1–8.
- Norma Mexicana (NMX, 2015). Análisis de agua - medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la nmx-aa-034-scfi-2001). NMX-AA-034-SCFI-2015. 20 P.

Páginas de Internet Consultadas

- Auge, M. 2007. Agua Fuente de Vida. Departamento de Ciencias Geológicas. Universidad de Buenos Aires. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/AguaFuenteVida.pdf> . (05, marzo, 2020).

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2015. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. <http://cmx.org.mx/wp-content/uploads/MAPAS%202015/libros/SGAPDS-1-15-Libro32.pdf> . (25 febrero, 2020).

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2016. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y Mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lodos Activados. <http://cmx.org.mx/wp-content/uploads/MAPAS%202015/libros/SGAPDS-1-15-Libro51.pdf>. (27, febrero, 2020).

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2018a. Calidad del agua. Sistema Nacional de Información del Agua. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php#>. (29 de enero 2020).

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2018b. Calidad del agua (nacional). Sistema Nacional de Información del Agua. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=reporte&o=5&n=nacional>. (05 de febrero 2020).

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2019. Calidad de agua en México. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>. (10 de septiembre 2020).

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2018. Guía de Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua. <https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia-monitoreo-participativo-calidad-agua-digital.pdf> . (19, febrero, 2020).