

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE LAS
AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR-UAAAN**

Por

JORGE ANIBAL VAZQUEZ MALDONADO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO

DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO 2021

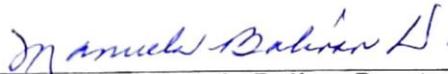
UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

POR
JORGE ANIBAL VAZQUEZ MALDONADO

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN


Dra. Manuela Bolívar Duarte

Asesor principal


Ing. Carlos Rojas Peña
Coasesor

PA- 
Ing. Rolando Sandino Salazar
Coasesor




M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

DEDICATORIAS

A mi familia:

Agradezco a mis padres Jorge Vázquez Díaz y María Lilia Maldonado Hernández en la confianza y apoyo brindado, por brindarme la oportunidad de salir de casa a cumplir mis objetivos, son los mejores padres y mi mayor orgullo, los amo.

A mi pareja Elisena López López por el amor, el apoyo y la confianza incondicional que me has brindado en el tiempo que Dios nos ha otorgado.

A mi descendiente Jorge Aarón Vázquez López por ser mi mayor motivación e inspiración para seguir adelante y no rendirme en el proceso.

A mis hermanos Fernando, Armando y Andris por su confianza brindada en su servidor, sin importar las circunstancias en que nos encontráramos. Sé que siempre puedo contar con ustedes.

A mis sobrinos Sofía, Fernanda y Fernando por los buenos momentos que me han regalado.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y la oportunidad de poder concluir mis estudios, permitir que mi familia esté a mi lado y por brindarme buenos amigos, por guiarme por el camino del bien y proporcionarme la sabiduría necesaria.

Gracias a mi familia por su amor y apoyo brindado durante mi carrera profesional, por estar en esos momentos críticos cuando todo parecía nunca culminar, a mis hermanos Fernando, Armando, Andris por su apoyo incondicional.

A mi “ALMA MATER” por cobijarme en sus brazos de sabiduría, conocimiento y brindarme la oportunidad de culminar mis estudios.

Gracias a la Dra. Manuela Bolívar Duarte por brindarme su apoyo en este proyecto, por compartir sus conocimientos y brindarme su confianza. Doctora mi más grande admiración hacia usted como persona y profesionista.

Gracias a la Q.F.B. Ana Paola Moreno Garza por su tiempo brindado, su apoyo y colaboración proporcionados.

Gracias a mis profesores que formaron mi carrera profesional, dedicando su tiempo y transmitiendo sus conocimientos.

Gracias a mis mejores amigos Juan López, Mireya Maricela, Rubicel García, a mis amigos y compañeros de clases gracias por acompañarme en este lapso de tiempo.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Calidad y Tratamiento del Agua Residual	4
2.2. Clasificación del Agua	5
2.2.1. Agua Cruda o en Estado Natural	5
2.2.2. Agua Residual	6
2.2.3. Agua Tratada	6
2.3. Propiedades del Agua Residual	7
2.3.1. Características Físicas	7
2.3.1.1. Turbiedad	7
2.3.1.2. Sólidos	7
2.3.1.3. Sólidos Disueltos Totales (TSD)	7
2.3.1.4. Sólidos Totales (ST)	7
2.3.1.5. Sólidos Totales Volátiles (STV)	7
2.3.1.6. Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	7
2.3.1.7. Sólidos Suspendidos Totales (SST)	8
2.3.1.8. Sólidos Sedimentables (SS)	8
2.3.1.9. Color	8
2.3.1.10. Olor	8
2.3.1.11. Temperatura	8
2.3.2. Características Químicas	9
2.3.2.1. pH	9
2.3.2.2. Alcalinidad	10
2.3.2.3. Oxígeno Disuelto (OD)	10
2.3.2.4. Demanda de Oxígeno	10

2.3.2.5.	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	11
2.3.2.6.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	11
2.3.2.7.	Nitrógeno (N)	11
2.3.2.8.	Fósforo (P).....	11
2.3.2.9.	Cloruro (Cl).....	12
2.3.2.10.	Grasas y Aceite (G y A)	12
2.4.	Componentes de las Aguas Residuales	12
2.4.1.	Agua Residual Doméstica	12
2.4.2.	Agua Residual Industrial	12
2.4.3.	Infiltración y Aportaciones Incontroladas.....	13
2.4.4.	Aguas Pluviales.....	13
2.5.	Clasificación de Operaciones y Procesos Unitarias.....	13
2.5.1.	Tratamiento Primario.....	13
2.5.2.	Tratamiento Secundario	14
2.5.3.	Tratamiento Terciario	14
2.6.	Clasificación de Lodos	14
2.6.1.	Arena.....	14
2.6.2.	Lodos primarios o crudos	14
2.6.3.	Lodos secundarios	15
2.6.4.	Lodos Terciarios.....	15
2.7.	Biomasa suspendida.....	15
2.8.	Lodos Activados	16
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1.	Lugar de Muestreo.....	18
3.2.	Proceso de la Planta Tratadora Agua Residual UAAAN (PTAR-UAAAN).	19
3.3.	Análisis del Agua Residual	21
3.3.1.	Sólidos Sedimentables (SS).....	21
3.3.2.	pH y CE.....	21
3.3.3.	Sólidos Totales y Volátiles (ST y STV).....	22
3.3.5.	Sólidos Disueltos Totales (SDT).....	23
3.3.6.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	24
3.3.7.	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	25

3.3.8.	Grasas y Aceites (G y A).....	26
3.3.9.	Coliformes Totales y Fecales (CT y CF)	27
3.3.10.	Calcio (Ca^{2+}).....	27
3.3.11.	Magnesio (Mg^{2+}).....	27
3.3.12.	Carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$)	28
3.3.13.	Bicarbonatos (HCO_3^{-}).....	28
3.3.14.	Cloruros (Cl^{-}).....	29
3.3.15.	Sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$).....	29
IV.	RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	30
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	37

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. DESCRIPCIÓN DE CADA UNA DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.	20
CUADRO 2. RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO.....	30
CUADRO 3. RESULTADOS DEL EFLUENTE COMPARADOS CON LA NOM-001-SEMARNAT-1996 Y NOM-003-SEMARNAT-1997.....	33
CUADRO 4. ANIONES Y CATIONES DEL EFLUENTE.....	34
CUADRO 5. PARÁMETROS CONSIDERADOS EN LA CLASIFICACIÓN AGRONÓMICA DEL AGUA DE RIEGO.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ACTIVIDAD BIOLÓGICA RESPECTO A TEMPERATURA (CONAGUA, 2019).	9
FIGURA 2. PARÁMETRO DE PH RESPECTO ACTIVIDAD BIOLÓGICA (CONAGUA, 2019).	10
FIGURA 3. ESQUEMA DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADO CONVENCIONAL (METCALF Y EDDY, 1995).	17
FIGURA 4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PTAR-UAAAN (GOOGLE EARTH PRO, 2020).....	18
FIGURA 5. FLUJO DE TRATAMIENTO PTAR-UAAAN.	19
FIGURA 6. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SS).	21
FIGURA 7. TOMA DE PH Y CE.....	22
FIGURA 8. EVAPORACIÓN DE LA MUESTRA PARA SU DETERMINACIÓN DE ST.Y STV.....	22
FIGURA 9. FILTRADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS SST.....	23
FIGURA 10. DETERMINACIÓN DE LOS STV.	23
FIGURA 11. OBTENCIÓN DE PESO	24
FIGURA 12. INTRODUCCIÓN DE MUESTRAS A INCUBADORA.....	24
FIGURA 13. MEDICIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN MUESTRAS.	25
FIGURA 14. APARATO DE REFLUJO. PARÁ DETERMINAR DQO.....	25
FIGURA 15. TITULACIÓN PARA OBTENCIÓN DQO.	26
FIGURA 16. SOXHLET UTILIZADO PARA DETERMINAR G Y A.	26
FIGURA 17. OBTENCIÓN DE GRASAS Y ACEITES.....	26
FIGURA 18. CALDO LACTOSADO ESTÉRIL.	27
FIGURA 19. CALDO LACTOSADO BILIS VERDE BRILLANTE.....	27
FIGURA 20. TITULACIÓN PARA OBTENCIÓN DE MAGNESIO	28
FIGURA 21. OBTENCIÓN DE BICARBONATOS.....	28

FIGURA 22. OBTENCIÓN DE CLORUROS (NMX-AA-073-SCFI-2001)	29
FIGURA 23. MUESTRAS EN LA PARRILLA.....	29
FIGURA 24. RELACIÓN DQO/DBO ₅	32

RESUMEN

El agua es un recurso natural que tiene importancia en los seres vivos y plantas, a pasar de los años esta misma se ha contaminado de agentes contaminantes nocivos para la salud del ser vivo, la que lo convierte en un recurso obsoleto en las condiciones mencionadas.

Por la problemática que esta causa al ser contaminadas con el tiempo se ha evolucionado con su tratamiento mediante plantas tratadoras de aguas residuales. Existe diferentes plantas tratadoras de aguas residuales como son físicas-químicas y biológicas.

El presente estudio se realizó dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) de la cual cuenta con una planta tratadora de aguas residuales de lodos activados, la evaluación en cada etapa del proceso y, el cumplimiento con las NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997. Evaluando la eficiencia del proceso biológico de la PTAR-UAAAN.

Se tomaron muestras del influente, zona anóxica, clarificador secundario y efluente; se realizaron las pruebas en el laboratorio; los resultados obtenidos evaluaron que se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y parcialmente a la NOM-003.SEMARNAT-1997, ya que un problema con el desnatador. La eficiencia de la planta es viable respecto a los resultados obtenidos en cada etapa del proceso de PTAR-UAAAN.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural que está presente en el planeta, líquido del que dependemos como parte de nuestra vida, como la sustancia vital; han pasado generaciones de las cuales procedemos. La siguiente generación será partícipe de los diferentes cambios que presente, implícitamente estamos sobrevalorando este vital líquido, dándole usos incorrectos y destruyendo su vida útil. Claramente no se destruye, pero se transforma en un agente contaminante y su percepción será de menor aprovechamiento.

En nuestro planeta, el 97 por ciento del agua es salada y sólo el tres por ciento es agua dulce. Pero aún este tres por ciento no es directamente utilizable por el hombre, pues el 79 por ciento está congelada en los casquetes polares y en los glaciares, el 20 por ciento está en acuíferos de difícil acceso, y sólo el uno por ciento en aguas en la superficie de la tierra. Y en este pequeño uno por ciento hay que distinguir, todavía, entre el 38 por ciento que se encuentra en la humedad de la tierra; el uno por ciento en los organismos vivos; el ocho por ciento en la atmósfera; el 52 por ciento en lagos y el uno por ciento en los ríos. A primera vista parecería que es muy poca el agua dulce disponible para la población mundial y, sin embargo, esta pequeña cantidad de agua dulce bastaría para abastecer a unos 13,000 millones de personas, más del doble de la población actual del mundo (Baudes, 2003).

Principalmente la falta del agua a los seres vivos se debe a su mala distribución, donde existe mayor porcentaje y en otras partes con la mínima cantidad. Esto implica que la podemos encontrar tanto superficialmente como subterránea, en la cual su aprovechamiento difiere de la necesidad de utilizarla, además del uso incorrecto que se le da, contaminándola.

El agua puede provocar fuertes problemas a la población como consecuencia de su contaminación química y biológica, lo que se produce por los residuos domésticos e industriales que, a través del agua de la lluvia, de los escurrimientos y de las filtraciones, alcanzan los cursos fluviales que abastecen a la sociedad. Por ello el consumo y el contacto de agua o de productos agropecuarios regados con ella, si está contaminada se convierte en un medio para transmitir una amplia variedad de infecciones y enfermedades (García, 2001).

El reúso de las aguas residuales, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, se ha incrementado en los últimos años. Este hecho se asocia principalmente a problemas de escasez de agua. El reúso del agua residual se puede llevar a cabo en forma directa o indirecta en otro uso distinto del primero o ubicado en otro lugar (Manga *et al.*, 2001).

A lo largo de los años según Noyola *et al.* (2000) se han desarrollado una gran variedad de métodos para el tratamiento de agua residual. El principal objetivo del tratamiento es producir un efluente que pueda ser descargado sin causar daño al medio ambiente. Estos contaminantes del agua residual pueden ser eliminados por medios físicos, químicos o biológicos. Este último consiste en la remoción de los contaminantes que se realiza a través de la oxidación biológica de la materia orgánica.

La importancia de las plantas tratadoras de aguas residuales es proporcionar la desinfección del agua contaminada preservando el ambiente y disponibilidad del recurso en la cual existen normatividades para cumplirlas, del cual depende de su uso final al ser reutilizada.

Por lo anteriormente descrito se plantean los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos

1. Determinar la eficiencia de remoción de contaminantes en cada etapa del proceso de tratamiento del agua residual.
2. Determinar calidad del agua tratada según la NOM-001-SEMARNAT-1996
3. Determinar calidad del agua tratada según la NOM-003-SEMARNAT-1997

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Calidad y Tratamiento del Agua Residual

La contaminación del agua se ve reflejada cuando no es apta para el medio ambiente, ya que es inadecuado para su uso final. Entonces la calidad del agua se ve afectada por agentes externos que producen efectos sobre la salud humana, lo que son concentraciones orgánicas e inorgánicas, que se debe a la introducción del hombre de manera directa o indirectamente de sustancias.

Según Noyola *et al.* (2000) todas las aguas contienen sustancias disueltas en concentraciones que fluctúan de unos cuantos miligramos por litro. Por lo general, las aguas residuales contienen la mayoría de los constituyentes del agua suministrada, más las impurezas adicionales provenientes del proceso productor de desechos.

Por lo que respecta a la calidad del agua se podrá determinar o evaluar la condición del agua residual, estableciéndose las normas para darle un reúso posterior a lo que se establezca o su propósito final dependiendo de las necesidades humanas.

De acuerdo a con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2018) la evaluación de la calidad del agua se lleva con base a cuatro indicadores: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) Demanda Química de Oxígeno (DQO) Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Coliformes Fecales (CF).

La DBO₅ indica la cantidad de materia orgánica biodegradable; la DQO indica la cantidad total de materia orgánica y los SST miden la cantidad de Sólidos Sedimentables, Sólidos Totales y Materia Orgánica (M.O) en suspensión.

El tratamiento del agua residual ha tenido un gran desarrollo con el paso del tiempo para su tratamiento para obtener un producto final de calidad según Noyola *et al* (2000) en muchos casos se combinan varios procesos dependiendo de la calidad del agua residual que se va a tratar y de las características que deba tener al final del tratamiento.

Existen diferentes tratamientos para la eliminación de los agentes contaminantes del agua residual, como son los procesos físicos, químicos y biológicos. Antes de discutir las propiedades y características del agua se dice que se puede analizar la calidad del agua de acuerdo a su estado en la que se hace distinción entre agua cruda, residual y tratada.

2.2. Clasificación del Agua

Según Sierra (2011) el agua residual se clasifica como muestra a continuación:

2.2.1. Agua Cruda o en Estado Natural

Se puede hacer referencia al agua cruda, es la que no ha sido alterada en el estado en que se encuentra por decir: lluvia, superficial, subterránea, etc. Además de no ser modificada con tratamientos en su estado natural. Podemos extender el concepto en forma de comprobar que el agua en estado natural es la que procede del ciclo hidrológico; es el producto de filtración del agua subterránea de mejor calidad debido a que no reciben la cantidad de contaminantes que se retienen en el suelo, en comparación con la superficial o la de la lluvia que al caer al suelo y seguir su curso, se adhieren elementos que pueden modificar su calidad debido a la actividad humana.

Las aguas superficiales presentan condiciones que varían de una cuenca a otra; los ríos tienen características de calidad diferentes a las de los embalses. La calidad del agua de las fuentes superficiales varía con el tiempo; las aguas subterráneas son más mineralizadas porque tienen un gran poder para disolver los estratos del suelo.

2.2.2. Agua Residual

El agua residual es aquella que ha tenido un uso de beneficio al ser humano como son; doméstico, industrial y comercial. Podemos destacar que, en su uso, se pudieron combinar bacterias, virus, grasas y aceites, Sólidos, entre otros, a diferentes concentraciones, las cuales cambian el estado del agua, a un agua residual.

2.2.3. Agua Tratada

Es la que ha modificado sus características físicas, químicas y biológicas, para su determinado reuso, tanto para consumo humano, riego agrícola, humedales naturales, dependiendo el uso que se designe.

La calidad del tratamiento se regirá en base a las normas vigente de cada país.

2.3. Propiedades del Agua Residual

2.3.1. Características Físicas

Éstas se describen a continuación según Metcalf y Eddy (1995):

2.3.1.1. Turbiedad

Medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

2.3.1.2. Sólidos

Es la materia sólida que se encuentra adherida al agua residual.

2.3.1.3. Sólidos Disueltos Totales (TSD)

Es el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporar y secar una muestra previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 1.5 μm a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.3.1.4. Sólidos Totales (ST)

Es el residuo que permanece en una cápsula después de evaporar y secar una muestra a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.3.1.5. Sólidos Totales Volátiles (STV)

Cantidad de materia orgánica e inorgánica que se volatiliza por el efecto de la calcinación a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.3.1.6. Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)

Son aquellos Sólidos Suspendidos que se volatilizan en la calcinación a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.3.1.7. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Es el material soluble 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 a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.3.1.8. Sólidos Sedimentables (SS)

Se define como aquéllos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (Cono Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos.

CONAGUA (2019) describe los siguientes parámetros físicos:

2.3.1.9. Color

Indicativo de un lodo viejo o saludable: un lodo activado aireado 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.

2.3.1.10. 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 cuales pueden eliminarse si se acondiciona con una preaireación.

2.3.1.11. Temperatura

Las temperaturas elevadas en el agua pueden ser indicadores de actividad biológica, química y física; lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica de un cuerpo de agua, por lo que es necesario medir la temperatura como un indicador de presencia de compuestos y contaminantes. 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 e inversamente a menor temperatura, menor actividad bacteriana como se muestra en la figura 1 (CONAGUA,2019).

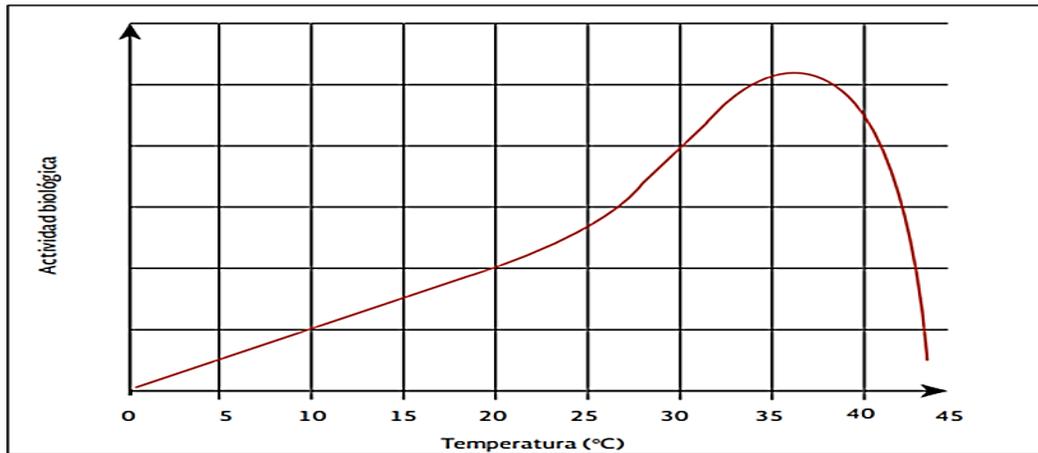


Figura 1. Actividad biológica respecto a temperatura (CONAGUA, 2019).

2.3.2. Características Químicas

2.3.2.1. pH

La concentración del ión Hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia, tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. Según CONAGUA (2019) para asegurar la actividad y el desarrollo de los microorganismos que son de interés en el proceso de lodos activados, es indispensable que el agua residual se mantenga en un pH entre 6.0 y 8.5 unidades, mostrado en la figura 2.

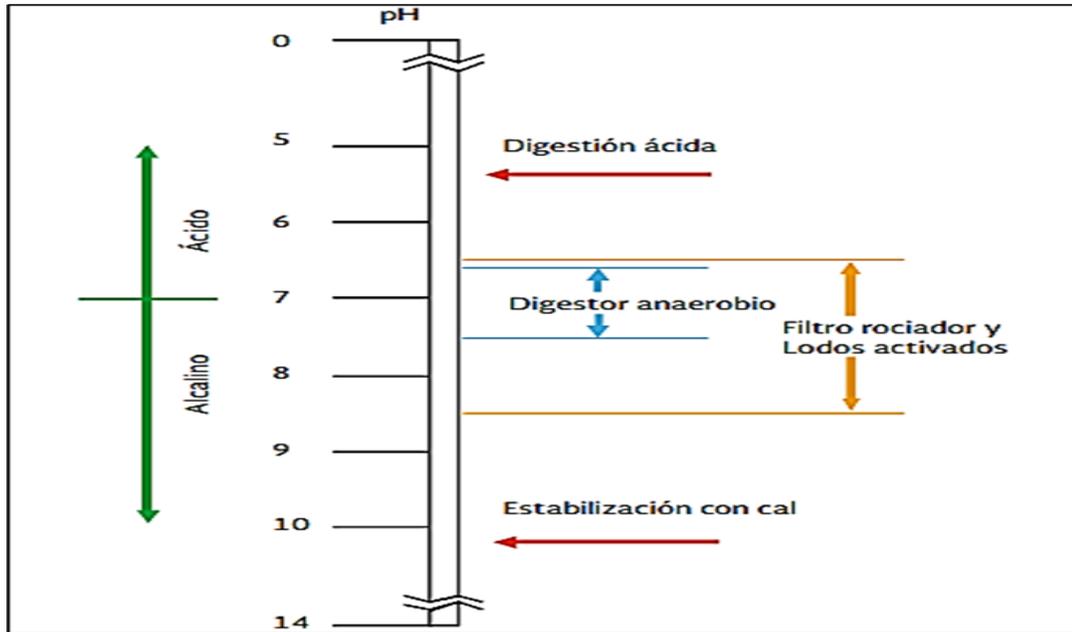


Figura 2. Parámetro de pH respecto actividad biológica (CONAGUA, 2019).

2.3.2.2. Alcalinidad

Provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio o el NH_3 . La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producidos por la adición de ácidos (Metcalf y Eddy ,1995).

2.3.2.3. Oxígeno Disuelto (OD)

Es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el Oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: (1) solubilidad de gas (2) presión parcial del gas en la atmosfera (3) temperatura, y (4) pureza del agua (Metcalf y Eddy, 1995).

2.3.2.4. Demanda de Oxígeno

Los compuestos orgánicos por lo regular son inestables y pueden oxidarse biológica o químicamente para obtener productos estables

finales; relativamente inertes, tales como CO_2 , NO_3 , H_2O . La cantidad del contenido orgánico de un desecho se obtiene al medir la cantidad de Oxígeno que se requiere para su estabilización (Noyola *et al.*,2000).

2.3.2.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El autor anterior conceptualiza este parámetro que es el Oxígeno consumido por una muestra de agua residual de Dicromato de Potasio después de 2 ó 3 hr de reflujo con ácido sulfúrico concentrado. Casi todas las sustancias orgánicas se oxidan en su totalidad, con excepción de compuestos como la piridina, el benceno o el tolueno. El valor de la DQO da una idea del contenido de materia oxidable orgánica e inorgánica.

2.3.2.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Es una estimación de la cantidad de Oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el Oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de Oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos (Diario Oficial de la Federación-DOF-2020).

2.3.2.7. Nitrógeno (N)

El Nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas y en que cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos (Metcalf y Eddy ,1995).

2.3.2.8. Fósforo (P)

Noyola *et al.* (2000) señala que este elemento fue requerido para la reproducción y síntesis de nuevos tejidos celulares y su presencia es necesaria para el tratamiento biológico; el agua residual doméstica es relativamente rica en Fósforo, debido a su alto contenido de desechos humanos y detergentes sintéticos.

2.3.2.9. Cloruro (Cl)

El autor anterior considera que este elemento es responsable del sabor salobre en el agua; es un indicador de posible contaminación del agua residual debido al contenido de cloruro de amoníaco presente en la orina.

2.3.2.10. Grasas y Aceite (G y A)

Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como solvente. Este parámetro debe monitorearse tanto en aguas residuales municipales como industriales, 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 (2019).

2.4. Componentes de las Aguas Residuales

Conocer los diversos orígenes del agua residual de su sistema de recolecta, implica poder emplear los diferentes métodos de tratamiento que se le dará para su posible reúso, debido a sus diversos componentes de origen tal como menciona Metcalf y Eddy (1995) en la que clasifica los componentes del agua residual:

2.4.1. Agua Residual Doméstica

Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas y similares.

2.4.2. Agua Residual Industrial

Agua residual en la cual predominan vertidos industriales.

2.4.3. Infiltración y Aportaciones Incontroladas

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, desalojada de edificios y tapas de pozos de registro.

2.4.4. Aguas Pluviales

Agua resultante de la escorrentía superficial.

2.5. Clasificación de Operaciones y Procesos Unitarias

Hace referencia de los diferentes tratamientos y la unión que existen, con la finalidad de cumplir con lo que se requiere hacia su reúso final en la cual se clasifica como indica Metcalf y Eddy (1995) que se conoce como operaciones unitarias aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza en base a procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios. En la actualidad, las operaciones y procesos unitarios se agrupan entre sí para constituir los así llamados tratamientos primarios, secundarios y terciarios.

2.5.1. 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.

2.5.2. Tratamiento Secundario

Procesos biológicos y químicos los que se emplean para eliminar la mayor parte de la materia orgánica.

2.5.3. Tratamiento Terciario

Se emplean combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias con el fin de eliminar otros componentes, tales como Nitrógeno y el Fósforo, cuya reducción con tratamiento secundario no es significativa.

2.6. Clasificación de Lodos

Según Valdez y Vázquez (2003) hacen la clasificación de los lodos antes de abordar cualquier procedimiento donde se desee disponerlos, se debe conocer las diferentes fuentes y la naturaleza de los mismos, con la finalidad de poder clasificar y plantear los procedimientos de que se deberán realizar para cada tratamiento. Su posible uso, dependerá de las variables, debido a que parte de ellos pueden regresar como componente de restauración hacia el suelo, de igual manera pueden perjudicar el mismo.

2.6.1. Arena

La arena, trozos de vidrios, tuercas, tornillos y otros materiales densos que retienen en los desarenadores no son realmente lodos, pues no tienen consistencia fluida. Este material se desagua fácilmente y es relativamente estable a la actividad biológica, es decir, no es biodegradable.

2.6.2. Lodos primarios o crudos

El lodo que se concentra en el fondo del sedimentador primario contiene de tres a ocho por ciento de sólidos (1 por ciento de Sólidos \cong

1 g de Sólidos/100 ml de volumen de lodos); de estos aproximadamente 70 por ciento son de naturaleza orgánica. Este lodo adopta condiciones anaerobias rápidamente y es putrefacto.

2.6.3. Lodos secundarios

Este lodo es el desecho del proceso de tratamiento secundario; contiene microorganismos y materiales inertes. El 90 por ciento de los sólidos son de naturaleza orgánica. Cuando se suprime el suministro de aire adopta condiciones anaerobias putrefacto, si no se le trata antes de disponerlo. El contenido de sólidos depende de la fuente, por ejemplo, es de 0.5 a 2.0 por ciento en lodos activados desechos y de dos a cinco por ciento en el lodo de filtros percoladores. En algunos casos, los lodos secundarios contienen precipitados químicos en gran cantidad debido a que el tanque de aireación es usado como tanque de reacción para la adición de sustancias químicas, necesarias para la remoción de Fósforo.

2.6.4. Lodos Terciarios

La naturaleza del proceso de tratamiento terciario influye en las características de los lodos generados. Por ejemplo, la remoción de Fósforo produce lodos químicos difíciles de manejar y tratar. Cuando la remoción de Fósforo se realiza en el proceso de lodos activados. Este lodo químico se combina con el biológico, propiciando que este último sea más difícil de tratar. La remoción de Nitrógeno por desnitrificación produce un lodo biológico con propiedades muy similares a las de los lodos activados desechos.

2.7. Biomasa suspendida

Los procesos de biomasa suspendida se caracterizan porque los organismos encargados de la transformación bioquímica de la materia se encuentran dispersos (debido a fuerzas que generan turbulencia y mezcla) en el

medio sometido a tratamiento. Los ejemplos más comunes de tratamiento con biomasa suspendida son el de lodos activados, lagunas aireadas, reactor anaerobio de mezcla completa, etc. En el caso de los lodos activados la incorporación de aire también permite la generación de turbulencia lo que mejora la transferencia de masa y, en consecuencia, la eficiencia del proceso biológico (CONAGUA, 2019).

2.8. Lodos Activados

El proceso de lodos activados en el proceso biológico puede ser el más amplio en el tratamiento de aguas residuales, además de ser uno de los sistemas más utilizados, según Quiroga y López (2008) una planta de lodos activados es un sistema de mezcla completa, el ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de aireadores mecánicos que pueden estar ubicados en el lecho o superficie del mismo, ofrece una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales ya que poseen una gran variedad de microorganismos capaces de remover materia orgánica, patógenos y nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) el objetivo según CONAGUA (2019) el proceso de lodos activados tiene como objetivo remover la materia orgánica, en términos de DBO_5 , de las aguas residuales y la combinación de microorganismos y agua residual se conoce como lodos activados.

Los lodos en el reactor biológico están sujetos a un proceso de autooxidación, conocido como respiración endógena, proceso que también consume Oxígeno. El Oxígeno requerido para el funcionamiento del proceso se suministra por medio de aireadores mecánicos o difusores. Los aireadores mecánicos o difusores (Metcalf y Eddy, 1995).

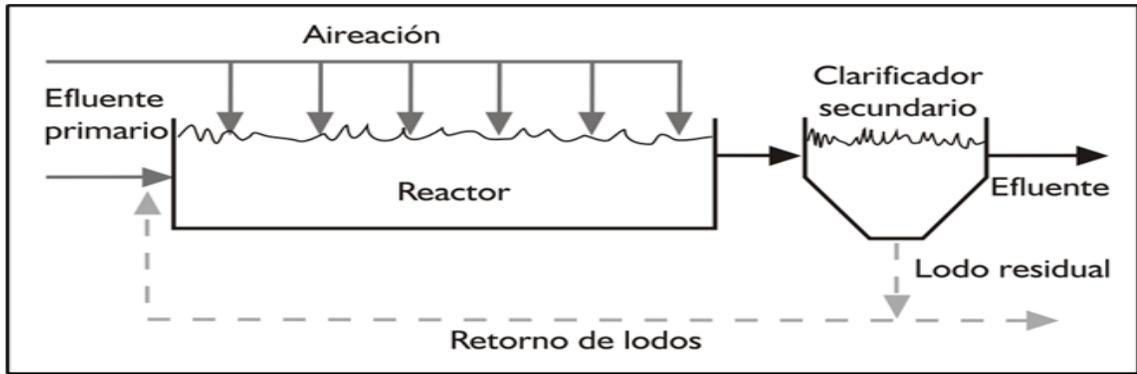


Figura 3. Esquema del proceso de lodos activado convencional (Metcalf y Eddy, 1995).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de Muestreo

El trabajo de investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que se ubica al Sur de la Ciudad de Saltillo, Coah. Localizada en la Latitud $25^{\circ}21'4.21''$ N, Longitud $101^{\circ}2'9.77''$ W y altitud de 1,775 msnm (figura 4) (Google Earth pro, 2020).

El muestreo se realizó en las diferentes etapas del proceso del tratamiento: influente, zona anóxica, clarificador secundario y efluente. Posteriormente las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de esta Universidad.



Figura 4. Ubicación geográfica de la PTAR-UAAAN (Google Earth pro, 2020)

3.2. Proceso de la Planta Tratadora Agua Residual UAAAN (PTAR-UAAAN).

El tratamiento del agua residual utilizada es el de lodos activados con aireación extendida de burbuja fina su secuencia mostrada en el diagrama de flujo (Figura 5) y en el Cuadro 1 se describe cada una de las etapas.

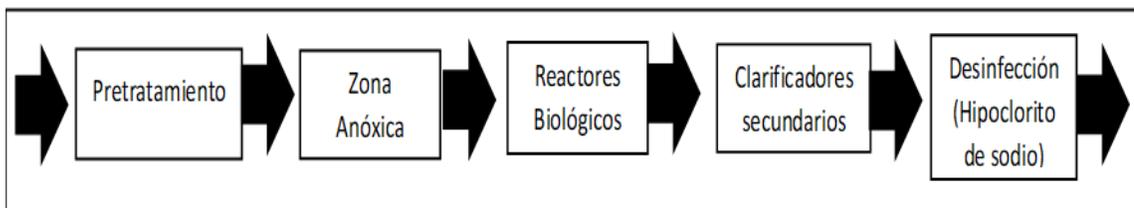


Figura 5. Flujo de tratamiento PTAR-UAAAN.

Cuadro 1. Descripción de cada una de las etapas del proceso de tratamiento de las aguas residuales.

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Pre tratamiento	Tipo manual, eliminación de material grueso, remoción de arenas retenidas, fácil extracción y mantenimiento sencillo.
Zona Anóxica	Es un área de llegada de aguas residuales para eliminar los NO_3^-
Tratamiento secundario: Reactores Biológicos y Clarificadores Secundarios.	Proceso consta de la floculación para remoción de sedimentos (flóculos).
Sistema de desinfección (Cloro residual)	Remoción de patógenos con dosis de hipoclorito de sodio causando el mayor daño a la pared de los microorganismos e inhibir actividad enzimática.
Digestores	Estabilización de lodos secundarios en condiciones aeróbicas en tiempos prolongados siendo el tiempo de retención constante normalmente de 30 días dependiendo de la temperatura ambiente.

3.3. Análisis del Agua Residual

3.3.1. Sólidos Sedimentables (SS)

Su determinación se hizo con el método del cono Imhoff como se observa en la figura 6 aplicando la NMX-AA-004-SCFI-2013



Figura 6. Determinación de Sólidos Sedimentables (SS).

3.3.2. pH y CE.

Estos parámetros se determinaron con equipo de mesa Marca HANNA, aplicando la NMX-AA-008-SCFI-2016 (figura 7).



Figura 7. Toma de pH y CE

3.3.3. Sólidos Totales y Volátiles (ST y STV)

Aplicando la NMX-AA-034-SCFI-2015 (publicado por el DOF en diferentes años, según el caso) respectivamente (figura 8).



Figura 8. Evaporación de la muestra para su determinación de ST.y STV.

3.3.4. Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles (SST y STV)

Estos sólidos se evaluaron, conforme la norma anterior, mostrándose en la figura 9 y 10.



Figura 9. Filtrado para la determinación de los SST



Figura 10. Determinación de los STV.

3.3.5. Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Estos sólidos se evaluaron de acuerdo a la NMX-AA-034-SCFI-2015 (figura 11).



Figura 11. Obtención de peso

3.3.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Al igual que para la determinación de los parámetros anteriores, se determinó este parámetro mediante la aplicación de la NMX-AA-028-SCFI-2001 (figuras 12 y 13).



Figura 12. Introducción de muestras a incubadora.



Figura 13. Medición de Oxígeno disuelto en muestras.

3.3.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En las figuras 14 y 15 se muestran parte del proceso de la prueba de DQO aplicando la NMX-AA-030/1-SCFI-2012.



Figura 14. Aparato de reflujo. Para determinar DQO.



Figura 15. Titulación para obtención DQO.

3.3.8. Grasas y Aceites (G y A)

Para su determinación se aplicó la NMX-AA-005-SCFI-2013 como se muestra en las figuras 16 y 17.



Figura 16. Soxhlet utilizado para determinar G y A.

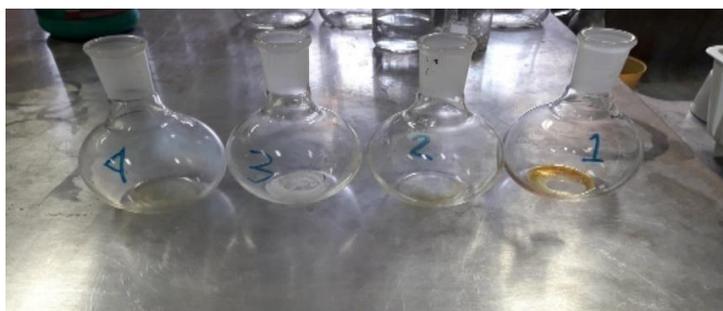


Figura 17. Obtención de Grasas y Aceites.

3.3.9. Coliformes Totales y Fecales (CT y CF)

En las figuras 18 y 19 se observan los medios de cultivo utilizados para la determinación de estos microorganismos, atendiendo la NMX-AA-042-SCFI-2015.



Figura 18. Caldo lactosado estéril.



Figura 19. Caldo lactosado Bilis Verde Brillante.

3.3.10. Calcio (Ca^{2+})

En determinación de este parámetro se utilizó el método titulación con EDTA cumpliendo la NMX-AA-072-SCFI-2001.

3.3.11. Magnesio (Mg^{2+})

En la figura 20 se muestra parte del método de titulación con EDTA utilizado para la determinación de este parámetro. (NMX-AA-072-SCFI-2001).



Figura 20. Titulación para obtención de Magnesio

3.3.12. Carbonatos (CO_3^{2-})

El método utilizado para su determinación es llamado titulación.

3.3.13. Bicarbonatos (HCO_3^-)

En la figura 21 se muestra parte del método de titulación utilizado.



Figura 21. Obtención de Bicarbonatos.

3.3.14. Cloruros (Cl⁻)

Método de titulación se utilizó para obtener este parámetro (figura 22) cumpliendo con la NMX-AA-073-SCFI-2001.



Figura 22. Obtención de Cloruros (NMX-AA-073-SCFI-2001)

3.3.15. Sulfatos (SO₄⁼)

Estos fueron cuantificados (figura 23) utilizando el método gravimétrico (NMX-AA-074-SCFI-2014).



Figura 23. Muestras en la parrilla

IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

Los datos de la muestra en cada etapa del proceso se ven en el Cuadro 2 correspondiente al influente, zona anóxica, clarificador secundario y efluente; así como la relación DQO/DBO₅ (en la figura 24) los procesos en cada etapa tienen como finalidad analizar cada uno de los resultados obtenidos para la eficiencia de remoción y el cumplimiento con las normas predefinidas.

Cuadro 2. Resultados obtenidos en las diferentes etapas del proceso.

Parámetro / Lugar		Influente	Zona Anóxica	Clarificador Secundario	Efluente
Sólido Sedimentables (SS)	ml/l	3	35	70	Imperceptible
Sólidos Totales (ST)	mg/l	1,185	1,125	1,720	920
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	190	400	970	20
Sólidos Suspendidos Totales Volátiles (SSTV)	mg/l	180	250	670	Imperceptible
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	ppm	1017	717	717	755
Sólidos Totales Volátiles (STV)	mg/l	1,855	725	875	710
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	570	439	405	39

Cuadro 2 Continuación.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	760	530	1,000	230
Grasas y Aceites (G y A)	mg/l	33,020	930	1,735	1,155
Coliformes Totales (CT)	NMP/100 ml	1,600	24	15	4.5
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100 ml	1,600	24	15	4.5
pH	Unidades	7	7.4	7.4	7.5
CE	$\mu\text{S/cm}$	1,590	1,220	1,220	1,180
Calcio (Ca^{2+})	Meq/l	9.2	11.6	10.6	11.1
Magnesio (Mg^{2+})	Meq/l	9.3	7.4	10	8.7
Carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$)	Meq/l	2.24	1.3	0.56	0.56
Bicarbonatos (HCO_3^-)	Meq/l	16.4	7.5	7.4	6.3
Cloruros (Cl^-)	Meq/l	4	4.4	3.7	3.7
Sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$)	Meq/l	6.3	6.4	4.9	0.21

Los datos que se reflejan en la figura 24 se observa la relación existente entre DQO y DBO_5 , realizando la relación entre influente y efluente, así mismo la importante relación 2:1 que se espera obtener en cada etapa mencionada. La relación que existe del influente es de aproximadamente 1.3:1 y en el efluente de 6:1, esta relación determina que la oxidación por microorganismos es adecuada en relación a la química.

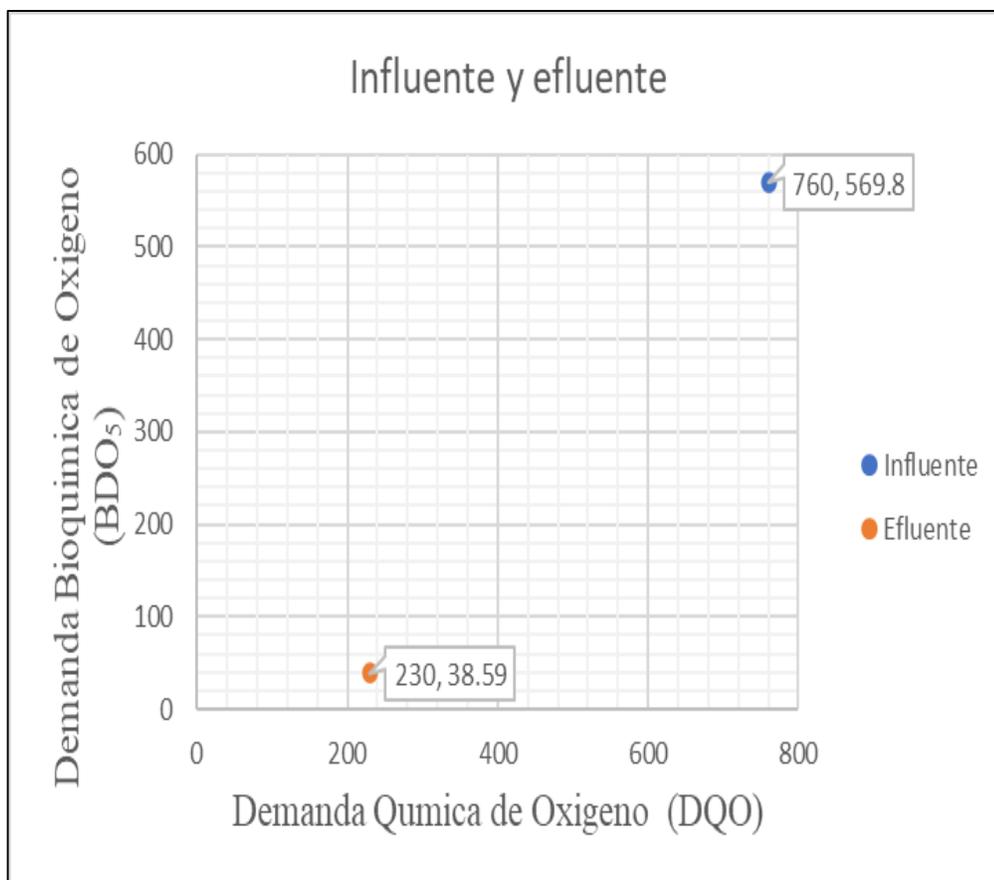


Figura 24. Relación DQO/DBO₅.

En el Cuadro 3 se comparan los resultados obtenidos en el efluente con las NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1996 donde se observan que los SST cumplen con ambas; así como la DBO₅ cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996, siendo caso contrario en la NOM-003-SEMARNAT-1997, la que corresponde al uso agrícola, reflejando la cantidad de M.O. (sin oxidar). Respecto a G y A, se obtienen como valores elevados, indicando posibilidades en el desnatador no trabaja adecuadamente.

Aunque dichas normas no se consideran los Sólidos Disueltos Totales, desde el punto de vista agrícola específicamente, es un parámetro muy importante para la selección de los cultivos por establecer.

Cuadro 3. Resultados del efluente comparados con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.

		Lugar		Límites Máximos Permisibles (LMP)	
		Efluente		NOM-001-SEMARNAT-1996	NOM-003-SEMARNAT-1997
Parámetros	Unidad	Resultado			
Sólido Sedimentables (SS)	ml/l	Imperceptible	1		N/A
Sólidos Totales (ST)	mg/l	920	N/A		N/A
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	20	150		30
Sólidos Suspendidos Totales Volátiles (SSTV)	mg/l	Imperceptible	N/A		N/A
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	ppm	755	N/A		N/A
Sólidos Totales Volátiles (STV)	mg/l	710	N/A		N/A
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	38.59	150		30
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	230	N/A		N/A
Grasas y Aceites (G y A)	mg/l	1155	15		15
Coliformes Totales (CT)	NMP/100 ml	4.5	N/A		N/A
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100 ml	4.5	N/A		1000
pH	Unidades	7.5	6.5 a 8.5		7.5
CE	µS/cm	1180	N/A		N/A

Los datos en el Cuadro 4 son resultados del análisis con la que se obtuvo aniones y cationes contenidos en la etapa del efluente, en los resultados arrojados se ejecutó la clasificación agronómica.

Cuadro 4. Aniones y cationes del efluente.

Aniones y Cationes		Efluente
Calcio (Ca)	Meq/l	11.1
Magnesio (Mg)	Meq/l	8.7
Carbonatos (CO ₃)	Meq/l	0.56
Bicarbonatos (HCO ₃)	Meq/l	6.27
Cloruros (Cl)	Meq/l	3.7
Sulfatos (SO ₄)	Meq/l	0.2056
CE	μS / cm	1,180
pH		7.5

La clasificación agronómica se obtuvieron los datos que se observan en el Cuadro 5. En los resultados del Agua se determinó ser C3 alta en sales y baja en sodio (S1) (se ve reflejado el contenido de este elemento en el pH); por la SE es condicionada para cultivos tolerantes (SP). Se realiza recomendación a cultivos en riego superficial además se debe establecer la infraestructura suficiente de drenaje evitando el ensalitramiento de suelos por las sales, además de tener conocimiento de reuso y manejo del agua en el riego, no es recomendable el riego por aspersión debido a que se quemaría el follaje por el Cl. Se debe conocer las características de los cultivos que toleren los parámetros reflejados principalmente a la CE evitando los cultivos sensibles a la misma.

Cuadro 5. Parámetros considerados en la clasificación agronómica del agua de riego.

Parámetros	resultado	Clasificación
CE $\mu\text{S/cm}$	1180	C3, Alta en sales
pH	7.5	Neutro
SE Meq/l	12.76	Condicionada
SP Meq/l	3.3	Condicionada
CSR Meq/l	0	Buena
Cl	3.7	Condicionada

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La PTAR cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996 lo que indica que se puede descargar el arroyo sin problemas parcialmente en la NOM-003-SEMARNAT-1997 por el contenido de G y A por lo que se recomienda un pretratamiento más eficiente.
- Es importante ajustar el desnatador del lado Universidad, ya que en ocasiones el nivel del agua evita que haya un retorno de grasas adecuado.
- Su reúso es viable de manera directa u ocasional lo que se puede aprovechar para riegos agrícola y jardines, cuidando el posible taponamiento de los emisores por el contenido de SST.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Baudes, G. R. L. 2003. El planeta agua. *Revista de Fomento Social*. P. 682-782.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2018. Estadísticas del Agua en México. México, D.F.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2019. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. México, D.F.
- Comisión Nacional del agua-CONAGUA-2019. Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: lodos activados. México, D.F.
- Diario Oficial de la Federación 2003. NOM-001-SEMARNAT-1996. *México*.
- García, J.O.G. 2001. La agricultura de riego y el riego con aguas negras. *Economía y Sociedad*, 6(10), 155-180.
- Manga, J., N. Logreira., y J, Serralt. (2001). Reuso de aguas residuales: un recurso hídrico disponible. *Ingeniería y desarrollo*, (9), 12-21.
- Metcalf & Eddy, inc. 1995. Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización, McGraw-Hill. Tercera edición, España.
- Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013. Análisis de agua – medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-004-SCFI-2000).

- Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013. Análisis de agua – medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la NMX-AA-005-SCFI-2000).
- Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013. Análisis de agua – medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (cancela la NMX-AA-007-SCFI-2000).
- Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de agua. - medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - método de prueba- (cancela a la NMX-AA-008- SCFI-2011).
- Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua – determinación de la demanda bioquímica de Oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la NMX-AA-028-1981).
- Norma Mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Análisis de agua - medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - método de prueba - parte 1 - método de reflujó abierto - (cancela a la NMX-AA-030-SCFI-2001).
- Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-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).
- Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua - enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termo tolerantes) y escherichia coli – método del número más probable en tubos múltiples (cancela a la NMX-AA-42-1987).
- Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA072-1981).
- Norma Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-073-1981).
- Norma Mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014. Análisis de agua – medición del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba - (cancela a la NMX-AA-074-1981).

- Noyola, R. A., E. G. Vega., H. Ramos J y C. Mólgora C. 2000. pp total-Subcoordinación de Editorial y Gráfica. México, D.F.
- Quiroga, J. A. V., y, F. E. D. López 2008. Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de tecnología*, 7(2). Colombia.
- SEMARNAT. (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. *Diario Oficial de la Federación*.
- Sierra, R, C. A. 2011. Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico. Sello Editorial de la Universidad de Medellín, Colombia.
- Valdez, E., y A. Vázquez 2003. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. *Fundación ICA, AC México DF México*.