

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Calidad de Biosólidos para Uso Agrícola Producidos por la Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR- UAAAN)

Por:

KARYME YULEM GUEVARA GARCÍA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Junio del 2022

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

TESIS

Calidad de Biosólidos para Uso Agrícola Producidos por la Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR- UAAAN)

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Realizado por:

KARYME YULEM GUEVARA GARCÍA

APROBADA

Dra. Manuela Bolívar Duarte

Asesor principal

M.C. Carlos Rojas Peña

Asesor

M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos

Asesor



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

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Junio del 2022

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, Por darme salud y permitirme concluir uno de mis proyectos más importantes.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por darme la oportunidad de formar parte de la Institución y ofrecerme todos los conocimientos.

De forma especial agradezco a la **Dra. Manuela Bolívar Duarte** por todo el apoyo y la confianza para realizar este proyecto, además de los consejos y orientaciones como Asesora.

A mis asesores **M.C. Carlos Rojas Peña** y el **M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos** por su colaboración durante el proyecto y sus aprendizajes en mi formación académica.

A los maestros del **Departamento de Riego y Drenaje** por ser parte de mi formación académica y estar presente durante mi estancia en la universidad.

A mis **primas (os)** por enseñarme que la familia puede apoyarte en todo momento y sus enseñanzas.

A mis amigos de carrera: **Alan Josué Rivera Amaro**, por todo su apoyo y amistad sincera, **Rosa María Ortiz Márquez**, por ser esa amiga que siempre está para apoyar y echar la mano sin importar la situación, **Antonio Ortiz Aldana**, por ser mi primer amigo al entrar en la universidad y apoyarme en el ámbito académico.

DEDICATORIAS

A mis padres **José Leopoldo Guevara Herrera** y **Beneranda García Salazar** por ser dos pilares importantes en mi vida y darme la oportunidad de tener mi formación académica, por todo su apoyo incondicional y por el amor gigante que me han regalado. Este será uno de los muchos éxitos que tendremos, LO LOGRAMOS.

A mi hijo **Leandro Iván Ramos Guevara**, por darme la fuerza y motivación para salir adelante y enfrentar toda situación, ser quien me alegra y hace sentir feliz siempre con el hecho de sentirlo a mi lado. Te amo Hijo, LO LOGRAMOS MI REY.

A **Leandro Ramos Mier** por todo su apoyo y formar parte de mi felicidad, por cada consejo y palabra de ánimo, gracias por estar a mi lado, por tu cariño y amor. Primeramente dios será uno de muchos éxitos.

A mis abuelitos **Irma Herrera Chávez** y **Leopoldo Guevara Córdova** (+) por compartir momentos inolvidables a lo largo de mi vida y enseñarme a salir adelante siempre, por todo su amor sincero.

A mis hermanos **Luis Mario** y **Loroamith Azeneth** por formar parte de mi vida y estar en todo momento apoyándome, doy gracias por tenerlos a mi lado y compartir esta etapa importante de mi vida junto a ustedes.

A mis tías **Olivia**, **Nancy** y **Rosaura**, por todos sus consejos a lo largo de mi vida, por apoyarme con Leandrito y quererlo mucho siempre les estaré agradecida.

A mi prima **Astrid** y **Diana**, por sus consejos y ayuda en todo momento por siempre motivarme a hacer las cosas y no rendirme y claro, por su gran amor hacia Leandrito me hace sentir afortunada el apoyo de ustedes (mi familia).

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
DECICATORIAS	ii
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. El Agua	4
2.2. Disponibilidad Natural Media per Cápita	4
2.3. Contraste entre el Desarrollo y la Disponibilidad de Agua	5
2.4. Escasez del Agua.....	6
2.5. Aguas Residuales.....	6
2.5.1. Importancia del Tratamiento de Aguas Residuales	6
2.5.3. Reúso de las Aguas Residuales en la Agricultura.....	7
2.6. Fuente de Aguas Residuales.....	8
2.6.1. Drenaje Sanitario	8
2.6.2. Drenaje Doméstico.....	8

2.6.3. Aguas Residuales Industriales	8
2.6.4. Arrastres de Lluvia.....	8
2.7. Clasificación de Aguas Residuales.....	8
2.7.1. Aguas Residuales Industriales	8
2.7.2. Aguas residuales Domésticas o Urbanas.....	9
2.7.3. Aguas de Reúso Agrícola	9
2.7.4. Aguas Pluviales	9
2.8. Ventajas y Limitaciones del Uso de las Aguas Residuales.....	9
2.9. Evaluación de la Calidad del Agua.....	10
2.10. Constituyentes de las Aguas Residuales.	10
2.11. Clasificación de los Compuestos Presentes en el Agua de Acuerdo a su Naturaleza.....	12
2.11.1. Físicos.....	12
2.11.2. Químicos.....	12
2.11.3. Biológicos.....	12
2.11.4. Sólidos.....	12
2.11.5. Turbiedad.....	13
2.11.6. Color.....	13
2.11.7 Olor	13
2.11.8. Materiales en Suspensión	14

2.11.9. Temperatura.....	15
2.11.10. Densidad.....	15
2.12. Parámetros que Determinan la Calidad del Agua Residual	15
2.12.1. Conductividad Eléctrica	15
2.12.2. Características Químicas Inorgánicas	16
2.12.3. Características Químicas Orgánicas.....	18
2.12.4. Características Biológicas	18
2.13. Productos del tratamiento del agua (Lodos).....	19
2.14. Caracterización de los lodos.....	19
2.15. Clasificación de Lodos Residuales	20
2.16. Tipos de Digestión de Lodos.....	21
2.17. Normatividad de las Aguas Residuales.....	23
2.18. Calidad Agronómica	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Localización del sitio experimental.....	28
3.2. Fecha de muestreo	29
3.4. Identificación de las Muestras.....	30
3.5. Preservación, Almacenamiento y Transporte de Muestras.....	31
3.6.1. pH y CE.....	31
3.6.2. Determinación Coliformes Totales (CT) y Coliformes Fecales (CF).....	32

3.6.3. Muestra de Calidad de Agua	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
VI. LITERATURA CITADA	41
ANEXO A	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Disponibilidad Natural Media por persona	5
Cuadro 2 . Calidad de Agua Tratada y su Reusó.....	11
Cuadro 3. Definiciones para sólidos encontrados en agua residual	14
Cuadro 4. Valores característicos de los parámetros más frecuentemente estudiados.....	20
Cuadro 5. Valores límites permisibles para metales pesados en los lodos ..	21
Cuadro 6. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos	24
Cuadro 7. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos	24
Cuadro 8. NOM-004-2002 Aprovechamiento de biosólidos.	25
Cuadro 9. NOM-004-2002. Frecuencia de muestreo y análisis para lodos ..	26
Cuadro 10. NOM-003-ECOL- 1997 Límites máximos permisibles de contaminantes.....	27
Cuadro 11. Parámetros de Calidad de Agua.....	34
Cuadro 12. Parámetros determinados y métodos utilizados.	35
Cuadro 13. Parámetros evaluados y comparados con su norma respectiva.	37
Cuadro 14. Calidad Agronómica del Agua.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de la PTAR-UAAAN (Google, 2016). .	29
Figura 2. Digestor Aerobio (PTAR-UAAAN, 2022).	30
Figura 3. Tornillo Prensa (PTAR-UAAAN, 2022).	30
Figura 4. Medición de pH y CE Marca HANNA.	32
Figura 5. Esterilización de Material	33
Figura 6. Muestra confirmativa E. Coli colocada.....	33
Figura 7.Muestra confirmativa Caldo Verde.....	34
Figura 8. Efluente de PTAR-UAAAN.	35
Figura 9. Resultados CT y CF.	38
Figura 10. Relación de los límites permisibles en CE.	38
Figura 11. Relación de los límites máximos permisibles en pH.	39

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el lugar donde se ubica la planta tratadora de aguas residuales (PTAR) realizándose un muestreo de lodo líquido, lodo deshidratado y agua tratada con el propósito de evaluar los parámetros de calidad de biosólidos y agua para uso agronómico.

Resultando que los parámetros evaluados fueron: CE,ph, CT, CF, aniones y cationes obtenidos en ambos lodos pasan la NOM-004-SEMARNAT-2002; los valores en el agua tratada se encuentran entre 6.8 y 7.9, siendo adecuado para los rangos permisibles en la mayoría de los cultivos. (NOM-003-ECOL-1997). Cabe mencionar que los valores de CT y CF se encuentran en un rango óptimo para el uso agronómico lo cual fue determinado por la norma correspondiente.

Ambos lodos se clasifican como tipo A, concluyéndose que pueden ser utilizados como biosólidos, recomendándose el cálculo de la dosis agronómica.

Palabras clave: Aguas residuales, biosólidos, parámetros de calidad, normatividad.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es el factor abiótico más importante de la tierra y uno de los principales constituyentes del medio en que vivimos y de la materia viva. Según Hernández (2010), expresa que un 71 por ciento de la superficie terrestre está cubierta por agua en estado líquido, que se distribuye por cuencas saladas y dulces, formando los océanos, mares, lagos y lagunas. El 97 por ciento del agua están en los océanos. Además presente como gas constituyendo la humedad atmosférica, las nubes y también en forma sólida como nieve y hielo.

El mismo autor menciona que la vida depende del agua para los seres vivos y para los ecosistemas auto terrestre. Los organismos vivos están compuestos de agua en una gran proporción, por lo tanto es el componente inorgánico más abundante de los seres vivos. El agua debida su composición química y su estructura bipolar, forma puentes de Hidrógeno que son los responsables de las características especiales que tiene y que han hecho posible la vida sobre la tierra.

La importancia del agua para el desarrollo económico de un territorio es evidente. Sin embargo al tratarse de un recurso limitado y en muchas zonas de México escaso, se hace necesario adoptar diversas estrategias para hacer más eficiente su uso.

México cuenta con una superficie aproximada de 18 millones de hectáreas usadas para la producción agrícola, de dicha superficie solamente un 22.9 por ciento está equipada para riego el cual depende en su gran mayoría de la extracción de agua subterránea y otro porcentaje de esta es extraída a través de aguas residuales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales –SEMARNAT- 2005).

En México ante la necesidad de encontrar un método uniforme y consistente para dar a conocer la calidad del agua de manera accesible a la población, se desarrolló un sistema estimativo de calidad del agua que requirió la medición física de los parámetros de contaminación del agua y el uso de una escala estandarizada de medición para expresar la relación entre la existencia de varios contaminantes en el agua y el grado de impacto en los diferentes usos del agua. A lo largo de estas décadas, el crecimiento poblacional y principalmente el crecimiento industrial ha impactado los cuerpos de agua con sus descargas, las cuales vierten una serie de contaminantes tóxicos, tales como los metales pesados y los compuestos orgánicos, por lo que la evaluación que se hace actualmente con dicho índice es parcial y no necesariamente corresponde a la realidad (SEMARNAT ,2005).

Por lo anterior, se plantean los siguientes objetivos:

- Determinar la calidad agronómica de los biosólidos
- Determinar la calidad agronómica del agua producida en la PTAR-UAAAN.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El Agua

El agua es una bien de primera necesidad para los seres vivos y un elemento natural imprescindible en la configuración de los sistemas medioambientales (Centro Americano de Derecho Ambiental et al.,- CEMDA-2006).

Según CEMDA et al. (2006) la sociedad recurre al agua para generar y mantener el crecimiento económico y la prosperidad, a través de actividades tales como la agricultura, la producción de energía, la reutilización del agua para la agricultura y la industria de aguas. El agua es esencial para los ecosistemas naturales y la regulación del clima, ya que por su continuo movimiento presente en diferentes etapas ayuda a darle uso en diferentes actividades para uso humano.

2.2. Disponibilidad Natural Media per Cápita

La disponibilidad natural media de agua por persona indica la cantidad de agua renovable promedio anual por persona. Las regiones en donde la disponibilidad es menor a $1,700 m^3$ por año se considera que presenta estrés hídrico, donde debido a esta situación puede presentarse escasez de agua con frecuencia. Por el contrario, cuando la disponibilidad es inferior a $1,000 m^3$ por año, se considera que pueden presentarse problemas para la producción de alimentos y el desarrollo económico los datos redactados

se presentan en el siguiente Cuadro 1 (Comisión Nacional del Agua- CONAGUA- 2017).
Agua, Indicados básico.

Cuadro 1. Disponibilidad Natural Media por persona
(CONAGUA, 2017).

AÑO	DISPONIBILIDAD PER CAPITA (miles de m³/hab/año)
1950	17.74
1960	10.99
1970	7.94
1980	6.17
1990	5.30
1995	5.01
2000	4.69
2010	4.09
2011	4.08
2012	4.03
2013	3.98
2014	3.74
2015	3.69
2016	3.69
2017	3.66

2.3. Contraste entre el Desarrollo y la Disponibilidad de Agua

CONAGUA (2008) reporta que el país se divide en dos grandes zonas en la cual la disponibilidad de agua, su desarrollo y la población es muy desigual entre ellas: la zona Norte, Centro y Noroeste, en la última mencionada se concentra el 77 por ciento de la población, pero únicamente ocurre el 31 por ciento del agua renovable y la zona sur y sureste, donde habita el 23 por ciento de la población y ocurre el 69 por ciento del agua renovable.

2.4. 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, 2018).

2.5. Aguas Residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, descargadas a un cuerpo natural de agua al sistema de alcantarillado. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental –OEFA-2014).

2.5.1. Importancia del Tratamiento de Aguas Residuales

El agua es el recurso para garantizar la vida de los seres vivos y ecosistemas. El acceso al agua es un derecho fundamental, sin embargo va en decreciente disponibilidad debido al incremento en la sociedad y la escasez presente de agua potable, del total de agua disponible en el planeta sólo un 2.5 por ciento es agua dulce y de esta cantidad solo el 4-5 por ciento es apta para el consumo humano. Dada la situación actual se recurre a

realizar métodos de tratamiento de agua para la reutilización de ella en actividades agronómicas, caseras y ganaderas. La finalidad de este proceso es obtener agua con características adecuadas al uso que se desea dar, siendo así el proceso de tratamiento de agua varia en las propiedades del agua y en el uso final que tendrá (Sánchez, 2019).

2.5.2. Reúso del Agua Residual en México

El reúso del agua residual 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 $150 m^3 \cdot seg^{-1}$, 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 (CONAGUA, 2017).

2.5.3. Reúso de las Aguas Residuales en la Agricultura

La cantidad de nutrientes que se encuentran en las aguas residuales y su disponibilidad ha propiciado su uso, beneficiando a los agricultores a obtener un mayor rendimiento en los cultivos. Sin embargo, se presenta riesgo de que el riego con aguas residuales facilite la transmisión de enfermedades relacionadas con nematodos intestinales y bacterias fecales a consumidores y agricultores (Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua- IMTA- 2016).

2.6. Fuente de Aguas Residuales

Según OEFA (2014) clasifica la fuente de aguas residuales en:

2.6.1. Drenaje Sanitario

Es la descarga de agua desechada por la comunidad.

2.6.2. Drenaje Doméstico

Las aguas residuales provenientes de cocinas, baños, lavabos, sanitarias y lavanderías. Son las aguas que se generan en instituciones públicas espacios y centros de recreo. Estos caudales dependen de la época del año.

2.6.3. Aguas Residuales Industriales

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, flaméales o corrosivas.

2.6.4. 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.

2.7. Clasificación de Aguas Residuales

Para IMTA (2016) la clasificación de Aguas Residuales se divide en:

2.7.1. Aguas Residuales Industriales

Son aquéllas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.

2.7.2. Aguas residuales Domésticas o Urbanas

Estas resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua procedente de casas, edificios comerciales e instituciones, zonas en las que no se efectúan, o sólo en muy poca escala, las operaciones industriales; junto con las aguas superficiales o de precipitación pluvial que puedan agregarse.

2.7.3. Aguas de Reúso Agrícola

Son las desechadas por la agricultura, en sus diferentes facetas, las cuales retornan a los cuerpos de agua más cercanos, una vez que la demanda de los suelos queda satisfecha.

2.7.4. Aguas Pluviales

Están formadas por los escurrimientos superficiales de las lluvias, mismas que fluyen desde los techos, pavimento y otras superficies naturales de terreno.

2.8. Ventajas y Limitaciones del Uso de las Aguas Residuales

La práctica del tratamiento de aguas residuales presenta grandes ventajas. Una de ellas es de tipo económico y otra de tipo social al ser de gran utilidad en lugares donde hay escasez de agua. El reúso es un tema de mucho interés a tal grado que se han hecho diversas investigaciones en cuestiones de irrigación en los cultivos, en usos industriales, domésticos y municipales (Cuadro 2) donde se muestra que algunas de las ventajas del uso del agua residual son: su disponibilidad permanente, los nutrientes que contienen y el incremento de los rendimientos de los cultivos. Sin embargo un mal manejo de las aguas residuales pueden causar problemas en la salud pública, al contaminar ríos, salinización en suelos, acumulación de elementos tóxicos. Otro de los aspectos de alto riesgo está

asociado al vertido de aguas residuales de industrias tales como la química, de curtiduría, de minería, sobre todo en países subdesarrollados. (Sánchez et al., 2015).

2.9. Evaluación de la Calidad del Agua

Para Pérez (2016) la evaluación de calidad es determinada a través de tres indicadores: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5); la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST).

Donde la DBO_5 determina la cantidad de materia orgánica biodegradable; la DQO mide la cantidad total de materia orgánica 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. (Zúñiga, 2016).

2.10. Constituyentes de las Aguas Residuales.

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. En el manejo de las aguas residuales es importante conocer una serie de parámetros de calidad, cada uno tiene un fin, basándose en el diseño de una planta de aguas residuales los parámetros más importantes son: los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos. Antes de considerar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, es conveniente tratar brevemente los procedimientos analíticos usados para la caracterización de las aguas residuales. (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Cuadro 2 . Calidad de Agua Tratada y su Reusó. (Álvarez et al., 2015).

Tipo de Uso	Tratamiento	Calidad del Agua
Urbana, irrigación de cultivos que se ingieren crudos y en áreas verdes.	Secundario, filtración y desinfección.	pH= 6.9, DBO 10mg/l, Coliformes fecales 2 NTU, ND 100 ml, Cl^2 residual 1mg/l.
Irigación de áreas de acceso restringido, construcción, reúso ambiental.	Secundario y desinfección.	pH= 6.9, DBO 30mg/l, 30 mg/l SST mg/l, Coliformes fecales 200/100 , 1 m/l Cl^2 residual.
Recarga de acuífero no potable por roció	Depende del sitio y del uso, tratamiento primario mínimo.	Depende del sitio y del uso.
Recarga de acuífero no potable por inyección	Depende del sitio y del uso y tratamiento secundario mínimo.	Depende del sitio y del uso.
Recarga de acuífero potable por roció	Depende del sitio y del uso y tratamiento secundario y desinfección mínimo.	Depende del sitio y de los estándares para agua potable después de percolación por la zona vadosa.
Recarga de acuífero potable por inyección, ampliación de superficies.	Secundario, filtración, desinfección, tratamiento avanzado.	pH= 6.5- 8.5, 2 NTU, ND coli.Fec. 100 ml, Cl^2 residual 1mg/l. Conociendo los estándares para agua potable.

2.11. Clasificación de los Compuestos Presentes en el Agua de Acuerdo a su Naturaleza

Para Jiménez (2002) los compuestos se clasifican en:

2.11.1. Físicos

Las propiedades del agua se mantienen en equilibrio en cambio cuando se rompe éste se alteran sus propiedades como son la temperatura, el color, el pH, etc. La procedencia de estas alteraciones y los efectos que puedan causar son diversos.

2.11.2. Químicos

Los compuestos químicos provienen de diferentes fuentes: desechos de fertilizantes solubilizados en la agricultura, descargas industriales, aguas residuales municipales, drenes de minas. Estos compuestos pueden ser descargados de manera directa, también se forman en el agua al reaccionar con otros compuestos, estos pueden ser de origen natural o sintético.

2.11.3. Biológicos

Los agentes suelen en algunos casos presentar enfermedades que entran al agua a través de las heces fecales de humanos o animales. La magnitud de este problema, estima que el 80 por ciento de todas las enfermedades y más de la tercera parte de los fallecimientos en países en vía de desarrollo, se debe al consumo de agua contaminada.

2.11.4. Sólidos

En el agua residual se encuentra un gran número de materiales sólidos. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar sólidos en la muestra. La clasificación de los diferentes tipos de sólidos identificados se encuentra en el Cuadro 3. Reportados por Crites y Tchobanoglous (2000).

2.11.5. Turbiedad

Seoanez (2003) considera que la turbidez del agua es ocasionada por materiales en suspensión finamente dividida: arcilla, limos, materia orgánica, etc. La abundancia de estos materiales es su grado de turbidez y es un indicador de interés en el control de la eficacia de los procesos tratamiento.

2.11.6. Color

El color de las aguas residuales causado por sólidos suspendidos se llama color aparente, mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero.

En forma cualitativa el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. Si el color es café claro, el agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga. Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección. Si el color es gris oscuro o negro, se trata en general de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias. (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.11.7 Olor

Para los autores anteriores el olor de un agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes estos son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), las aguas residuales tienen olores característicos generados por los materiales volátiles que contienen y por los procesos de la degradación de la materia orgánica presente.

Cuadro 3. Definiciones para sólidos encontrados en agua residual

(Crites y Tchobanoglous, 2000).

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Sólidos Totales (ST)	Residuo remanente después que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103- 105 °C).
Sólidos Volátiles Totales (SVT)	Sólidos que pueden ser volatizados e incinerados cuando los ST son calcinados (500 +- 50°C).
Sólidos Fijos Totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500 +- 50°C).
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	Fracción de ST retenido en un filtro medido después de ser secado.
Sólidos Suspendedos Volátiles (SSV)	Estos sólidos pueden ser volatizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500 +- 50°C).
Sólidos Suspendedos Fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST (500+- 50°C).
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados. La medida de SDT comprende coloides de (0.001 a 1µm) y solidos disueltos.
Sólidos Disueltos Volátiles (SDV)	Sólidos que pueden ser volatizados e incinerados cuando los SDT son calcinados (500 +- 50°C).
Sólidos Disueltos Fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcinar los SDT (500 +- 50°C).
Sólidos Sedimentales	Sólidos suspendidos, expresados con mililitros por litros que se sedimentan por fuera de la suspensión dentro de un periodo de tiempo específico.

2.11.8. Materiales en Suspensión

Estos materiales, según su densidad y las características del medio receptor, son depositados en distintas zonas de éste produciendo una contaminación mecánica.

2.11.9. Temperatura

La temperatura que tienen las aguas residuales es por lo general mayor que la de un suministro, en su tratamiento la temperatura juega un papel importante ya que los procesos biológicos dependen de ella. Este parámetro afecta directamente las reacciones químicas y la velocidad de reacción, también la vida acuática. La temperatura de un agua residual varía de 7 a 18 grados centígrados, mientras que en regiones cálidas la variación será de 13 a 30 grados centígrados. Para Metcalf y Eddy (2010), la temperatura media anual de agua residual varía entre 10 y 21 °C.

2.11.10. Densidad

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad, expresado en kg/m^3 . Esta característica física es de gran interés porque de ella depende la formación de corrientes de lodos sedimentados y otras instalaciones de tratamientos. (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.12. Parámetros que Determinan la Calidad del Agua Residual

2.12.1. Conductividad Eléctrica

Para (Crites y Tchobanoglous, 2000) la Conductividad Eléctrica (CE) del agua es medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Este parámetro ayuda a determinar la posibilidad de reusarse como agua de riego. También la CE determina la cantidad de sales solubles de un agua determinada, esta varía en función de la temperatura; está estrechamente ligada a la concentración de 18 sustancias disueltas y a su naturaleza. Las sales minerales son, en general, buenas conductoras; las materias orgánicas y coloidales tienen en escasas conductividad. Por lo tanto, para las aguas

residuales nos da una idea precisa para la carga contaminante, aunque sí orienta en lo que se refiere a sus posibles usos en aplicaciones agrícolas.

2.12.2. Características Químicas Inorgánicas

Los mismos autores mencionan lo siguiente:

2.12.2.1. pH

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.

2.12.2.2. Nitrógeno

Dado que el Nitrógeno es esencial para el crecimiento biológico, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. 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. El contenido total del Nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y Nitrógeno Orgánico (NTK).

2.12.2.3. 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.

2.12.2.4. Alcalinidad

En aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos (OH^-), carbonatos [CO_3^{2+}], y bicarbonatos HCO^- de elementos como Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio o ión amonio NH_4^+ que aporta al agua la capacidad de reaccionar con ácidos neutralizando sus efectos. 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 subterráneas y los materiales adicionado durante los usos domésticos.

2.12.2.5. Cloruros

Los Cloruros de aguas residuales provienen de 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 el vertiendo aguas residuales.

2.12.2.6. Azufre

El ión Sulfato ($SO_4^{=}$) 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. Afortunadamente estas condiciones nos son comunes.

2.12.3. Características Químicas Orgánicas

2.12.3.1. 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. La DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales como naturales, según Metcalf y Eddy (1996) describe que es susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de bicromato en medio ácido.

2.12.3.2. 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). El COT es un indicador en los compuestos orgánicos, fijos o volátiles o sintéticos, presentes en las aguas residuales (celulosa, azúcares, aceites, etcétera).

2.12.4. Características Biológicas

2.12.4.1. Organismos Coliformes

Estiman la presencia de bacterias patógenas y determinan la eficiencia de desinfección. Se cuantifican por número más probable (NMP/100ml).

2.12.4.2. Microorganismos Específicos

Estiman la presencia de bacterias, helmintos, protozoario, virus con la operación de la planta de tratamiento. (Jiménez 2002).

2.13. Productos del tratamiento del agua (Lodos)

Los principales constituyentes de las aguas residuales en las plantas de tratamiento están caracterizados por: basuras, arenas, espumas y lodos. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de aguas residuales generalmente es líquido o sólido con gran contenido en sólidos de entre 0.25 y 12 por ciento en peso. (CENIC, 2015).

Se llaman lodos a los residuos semisólidos remanentes de los procesos de tratamiento de aguas residuales, cuya composición se basa en materia orgánica no descompuesta, microorganismos patógenos, compuestos no biodegradables y/o potencialmente tóxicos (con contenido de metales pesados) y sales inocuas que han sido removidas de los procesos de tratamiento de aguas. (CENIC., 2015)

2.13.1. Lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residuales
Estos lodos son líquidos con concentraciones de sólidos que van desde el 0.5 al 10 por ciento que son generadas en distintas etapas del tratamiento de las aguas.

2.14. Caracterización de los lodos

CENIC (2015) establece que:

La caracterización de los lodos es indispensable para cuantificar las concentraciones de nutrientes para su aplicación en los suelos y de los compuestos dañinos que deben ser eliminados. Para el adecuado manejo de lodos debe ser evaluada la composición química (incluida la concentración de metales pesados), así como el contenido de patógenos y parásitos que lo conformen. (Cuadro 4).

Para la determinación de la demanda DQO y DBO₅ se aplican las NMX-003-ECOL-1997 y NMX-004-SEMARNAT-2002. El Nitrógeno Total emplea el método de Kjeldahl y para la determinación del Fósforo total es usado el método de cloruro de estaño. Los metales pesados se analizan mediante la absorción atómica.

Para la determinación de estos procesos se establece un grupo de indicadores, ya que se establece el grado de contaminación que presentan los lodos existe en un intervalo de valores para cada indicador, esta información permite realizar una adecuada elección del proceso de tratamiento desde el punto de vista medioambiental, con el fin de realizar su disposición segura.

Cuadro 4. Valores característicos de los parámetros más frecuentemente estudiados en los lodos (CENIC, 2015).

INDICADORES	MAXIMO	MINIMO
DQO total (mg/l)	90000	6000
DBO ₅ (mg/l)	30000	2000
Nitrógeno Total (mg/l)	1500	200
Fosforo Total (mg/l)	300	40
Sólidos Suspendidos totales (mg/l)	100000	7000
Sólidos Suspendidos Volátiles (mg/l)	60000	4000
Ph	8.5	7.0
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	10 ⁸	10 ⁶

2.15. Clasificación de Lodos Residuales

Se establecen dos diferentes clasificaciones por (Agencia de Protección Ambiental ,2013) así como los valores máximos permisibles de metales pesados (cuadro 5):

2.15.1. Peligrosos

Se les considera a los lodos cuyas concentraciones de contaminantes tóxicos supera lo establecido.

2.15.2. No peligrosos

En este las concentraciones de metales pesados son inferiores a los valores establecidos.

Cuadro 5. Valores limites permisibles para metales pesados en los lodos residuales (EPA-2013).

ELEMENTOS	Valores límite Mg/kg Materia seca	Tasa de carga acumulativa Kg/ha	Concentración del componente para una calidad excepcional (mg/kg)	Tasa de carga anual del elemento (kg/ha/año)
Arsénico	75	41	41	2.0
Cadmio	85	39	39	1.9
Cromo	-	-	-	-
Plomo	4300	1500	1500	75
Mercurio	57	17	17	0.85
Molibdeno	75	-	-	-
Níquel	420	420	420	21

2.16. Tipos de Digestión de Lodos

Las líneas de tratamiento de lodos residuales se enfocan fundamentalmente a la reducción del volumen de lodo generado, reducción del poder de fermentación lo que conduce a reducir o eliminar su potencial de putrefacción y por ende los malos olores. La elección del tipo de tratamiento para la estabilización de lodos residuales está en función de la cantidad, calidad y su disposición final.

Entre los procesos de estabilización de lodos residuales están según Cardona 2012):

2.16.1. Digestión Aerobia

Es un proceso en el cual se genera una aeración prolongada que produce una oxigenación por un periodo significativo de tiempo a una mezcla de lodo digerible, para

llevar a cabo el desarrollo de microorganismos aerobios. Cuando la disponibilidad de sustrato (alimento) haya agotado, estos microorganismos comenzaran a consumir su propio protoplasma a fin de obtener energía para las reacciones de mantenimiento de las células.

Mediante la digestión aerobia solamente el 75-80 por ciento del tejido celular puede ser oxidado, el 20 o 25 por ciento lo constituyen compuestos orgánicos y componentes inertes que no son biodegradables.

La digestión aerobia se emplea generalmente en plantas de tratamiento con capacidad inferior a $20,000 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$.

2.16.2. Digestión Anaerobia

Su principal propósito es la transformación del lodo a un estado estable, es decir que no esté sujeta a procesos de descomposición posteriores y que puedan ser causantes de consecuencias al disponerse en el medio.

Este tipo de tratamiento se comprende de dos fases; la primera fase se lleva a cabo principalmente mediante microorganismos saprofitos facultativos que transforman Ácidos Volátiles, mientras en la segunda fase bacterias Anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos. En el proceso de digestión Anaerobia, la materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios y secundarios se convierte en Metano (CH_4) y Dióxido de Carbono (CO_2).

La composición volumétrica del gas generado en la digestión anaerobia del lodo de aguas residuales contiene 65-70 por ciento metano (CH_4) 25-30 por ciento Dióxido de

carbono(CO_2) y la presencia de pequeñas cantidades de Nitrógeno, Hidrogeno, Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) y otros gases.

2.17. Normatividad de las Aguas Residuales.

2.17.1. Norma oficial mexicana NOM-004-semarnat-2002.

En las actividades de desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, así como en las correspondientes a la operación de las plantas potabilizadoras y de plantas de tratamiento de aguas residuales, se generan volúmenes de lodos que en caso de no darles una disposición final adecuada, contribuyen de manera importante a la contaminación de la atmósfera, de las aguas nacionales y de los suelos, afectando los ecosistemas del área donde se depositen.

Se ha considerado que los lodos por sus características propias o por las adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana o, en su caso, se dispongan en forma definitiva como residuos no peligrosos; para atenuar sus efectos contaminantes para el medio ambiente y proteger a la población en general. (NOM-004- SEMARMANT, 2002).

Especificaciones:

- a) Debe ser asignada una constancia de no peligrosidad para el aprovechamiento y disposición final de biosólidos que se refiere a la NOM-004-semarnat-2002.

- b) Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido, pueden ser manejados como residuos no peligrosos para su aprovechamiento o disposición final como se establece en la presente Norma Oficial Mexicana.
- c) Para que los biosólidos puedan ser aprovechados, deben cumplir los parámetros de límites de metales pesados expresado en el Cuadro 6, límites de patógenos y parásitos presentados en el Cuadro 7 y en el Cuadro 8 donde se muestra el aprovechamiento de los biosólidos.

Cuadro 6. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos

(NOM- 004- SEMARMAN., 2002).

CONTAMINANTE (Determinados en forma total)	EXCELENTES (mg/kg en base seca)	BUENOS (mg/kg en base seca)
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Cuadro 7. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos

y biosólidos. (NOM-004- SEMARMANT, 2002).

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGO DE CONTAMINACIÓN	PATÓGENOS	PARÁSITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables (NMP) número más probable.

Cuadro 8. NOM-004-2002 Aprovechamiento de biosólidos (SEMARNAT,2002).

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación • Los establecidos para la clase B y C
EXCELENTE Ó BUENO	B	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación • Los establecidos para la clase C
EXCELENTE Ó BUENO	C	<ul style="list-style-type: none"> • Usos forestales • Mejoramiento de suelos • Usos agrícolas

- d)** La aplicación de los biosólidos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se encuentra sujeto conforme a la normatividad 004- SEMARNAT-2002
- e)** Los sitios para la disposición final de biosólidos, serán los que se autorice conforme a la normatividad vigente en la materia.
- f)** Se permite de dos o más lotes de lodos o biosólidos, siempre y cuando ninguno de ellos esté clasificado como residuo peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana.
- g)** La frecuencia de muestreo y análisis para biosólidos se realizará en función al volumen de biosólidos generados como se establece en el cuadro 9.

<i>Volumen generado por año (Ton/Año) en base seca</i>	<i>Frecuencia de muestreo y análisis</i>	<i>Parámetros a determinar</i>
Hasta 1,500	Una vez al año	Metales pesados, indicadores bacteriológicos de contaminación, patógenos y parásitos.
Mayor de 1,500 hasta 15, 000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicadores bacteriológicos de contaminación, patógenos y parásitos.
Mayor de 15, 000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicadores bacteriológicos de contaminación, patógenos y parásitos.

Cuadro 9. NOM-004-2002. Frecuencia de muestreo y analisis para lodos y biosolidos(SEMARNAT, 2002).

2.17.2. Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997)

Esta norma mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que sean reutilizadas, con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

Especificaciones

- a) Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en el cuadro 10.

Cuadro 10. NOM-003-ECOL- 1997 Límites máximos permisibles de contaminantes (SEMARNAT, 1997).

TIPO DE REÚSO	Coliformes Fecales NMP/100 ml	DBO₅ Mg/l	SST mg/l
Servicios al público con contacto directo	240	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1,000	30	30

- b)** La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la norma mexicana NMX-AA-006.

- c)** El agua residual tratada reusada en servicios al público, no debe contener concentraciones de metales pesados y cloruros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde al uso en riego agrícola.

- d)** Las entidades públicas del tratamiento de las aguas residuales tienen la obligación de realizar un monitoreo de aguas residuales y de conservar durante los últimos tres años los requisitos de la información del muestreo y análisis.

2.18. Calidad Agronómica

Para CENIC (2015) el uso de lodos para uso agronómico debe de tener en cuenta las características del lodo residual, los aspectos sanitarios y ambientales, los criterios que se utilizan para determinar la calidad del lodo para la agricultura que se basan fundamentalmente, en el contenido de humedad, Solidos Suspendidos Volátiles (SSVS)

Carbono Orgánico Total (COT) Potasio (K) Calcio (Ca) Magnesio (Mg) Fosforo (F) Nitratos (NO_3^-) metales pesados (Cd, Pb, Zn) entre otros; bacterias coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) y el pH , además especifica que la utilización agrícola de los lodos debe llevarse a cabo bajo un control, evitando muchos de los problemas que esta práctica ocasiona con el control como lo es lixiviación de los contaminantes presentes en lodos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el área de la Planta Tratadora de Aguas Residuales (Ilustración 1) ubicada en las coordenadas Latitud $25^{\circ}21'04.04''$ N Longitud $101^{\circ}02'09.60''$ W y a una altitud de 1723 MSNM (Google, 2016).

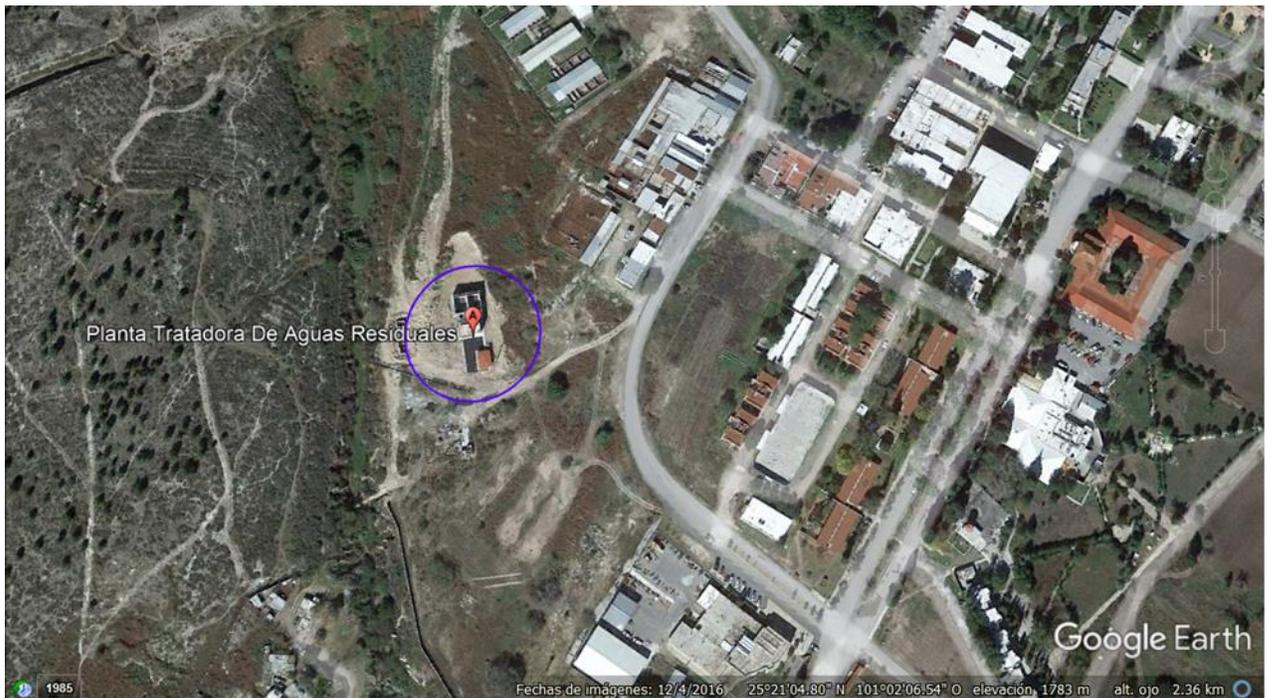


Figura 1. Localización geográfica de la PTAR-UAAAN (Google, 2016).

3.2. Fecha de muestreo

El muestreo se llevó a cabo en el Digestor Aerobio y en el Tornillo Prensa, (Figura 2 y 3, respectivamente), donde se realizó el muestro de dos tipos de lodos diferentes.



Figura 2. Digestor Aerobio (PTAR-UAAAN, 2022).



Figura 3. Tornillo Prensa (PTAR-UAAAN, 2022).

3.3. Muestreo

El procedimiento de muestreo es realizado en base a la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales, obteniendo muestras de lodo sólido y lodo líquido las cuales fueron obtenidas de:

- Lodo Líquido --- Digestor Aerobio
- Lodo Deshidratado --- salida del tornillo deshidratador

3.4. Identificación de las Muestras

Para la identificación de cada tipo de muestra y sus especificaciones se empleó un etiquetado característico para cada una con las especificaciones:

- Localización: Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR- UAAAN)
- Fecha de muestreo: 3 de marzo
- Lugar de obtención de la muestra: Digestor Aerobio y salida del Tornillo deshidratador.
- Tipo de lodo: Lodo Sólido y Lodo Liquido.

3.5. Preservación, Almacenamiento y Transporte de Muestras

Las muestras fueron transportadas en una hielera para conservar las bacterias vivas y realizar los análisis físicos y químicos en el Laboratorio de Calidad de Aguas y Fertilidad de Suelos del Departamento de Riego y drenaje dentro de la misma universidad.

3.6 Descripción de análisis

3.6.1. pH y CE

Para la determinación de pH y CE fue utilizado un equipo de mesa Marca HANNA el cual funciona efectivamente para interpretación de los parámetros ya mencionados como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Medición de pH y CE Marca HANNA.

Posteriormente se realizaron las diferentes pruebas para el análisis de los lodos las cuales se describen en CT Y CF.

3.6.2. Determinación Coliformes Totales (CT) y Coliformes Fecales (CF)

Para la determinación de CT Y CF se emplearon diferentes medios de análisis el cual se dividió en tres pruebas diferentes las cuales se enumeran a continuación: prueba 1. (Prueba presuntiva) esta prueba se realiza con ayuda de reactivos y el autoclave el cual ayuda a la determinación de bacterias como se expresa en la Figura 5, posteriormente la prueba dos y tres (pruebas confirmativas) las cuales con el uso de medios de cultivos y el estabilizador usado para determinar la cantidad de bacterias presentes en las diferentes muestras, los materiales usados son expresados en la Figuras 6 y 7 respectivamente.



Figura 5. Esterilización de Material de Biosólidos.



Figura 6. Muestra confirmativa E. Coli colocada En incubadora.



*Figura 7. Muestra confirmativa Caldo Verde
Brillante colocada en Incubadora.*

3.6.3. Muestra de Calidad de Agua

Para determinar su calidad se tomó una muestra de 1 Lt de agua del efluente que se expresa en la Figura 8 a la que se le determinaran los parámetros siguientes los cuales se describen en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Parámetros de Calidad de Agua.

PARAMETROS	METODO
CALCIO	Titulación
MAGNESIO	Titulación
CARBONATOS	Titulación
BICARBONATOS	Titulación
CLORUROS	Titulación
SULFATOS	Filtrado y Calcinación



Figura 8. Efluente de PTAR-UAAAN.

Posteriormente se muestran los parámetros a analizar, los métodos usados y las normas que los establecen en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Parámetros determinados y métodos utilizados.

PARAMETROS	METODO	NMX
Muestreo		NMX-AA-003-80
Conductividad Eléctrica	Conductivímetro	NMX-AA-093
pH	Potenciómetro	NMX-AA-008
Sólidos Totales	Gravimétrico	NMX-AA-034
DBO	Prueba presuntiva	NMX-AA-004-2002
Sólidos Volátiles	Titulación	NMX-AA-018
Calidad Agronómica	Titulación	NMX-AA-003-80

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se discutirán los parámetros evaluados para calidad de los biosólidos y calidad agronómica de las aguas tratadas presentadas en el Cuadro 13 y Cuadro 14.

Se observa que el pH en el Biosólido líquido es de 6.8 en Lodo líquido y en el Lodo deshidratado, es de 7.9 estos se encuentran dentro de los límites permisibles de aceptación como lo determina la NOM-004-SEMARNAT-2002. Por otro lado, los valores de CE entran dentro de los valores permisibles de Norma previamente mencionada, siendo del líquido $1,900 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ y el deshidratado de $2,730 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ cumpliendo con la norma correspondiente; Los CT y CF entran en los límites máximos permisibles para el uso de biosólidos, siendo los CT en el Lodo deshidratado de 430 NMP/100 ml y en el líquido, 280 NMP/100 ml. en lo que respecta a los CF, el resultado en el lodo deshidratado es de 220 NMP/100 ml y en el líquido de 48 NMP/100 ml (Figura 9).

Por otra parte, los valores de CE y pH respecto a la calidad agronómica de las aguas residuales, determinan que el pH se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, mientras que la CE cuenta con una elevada concentración de sales clasificando como Agua C3 (alta en sales) posteriormente en el ANEXO A se expresa la clasificación de la calidad agronómica de Aguas (Figuras 10 y 11).

Cuadro 13. Parámetros evaluados y comparados con su norma respectiva.

PARAMETROS	RESULTADOS	NORMA
pH	Biosólido Deshidratado= 7.9 Biosólido Líquido= 6.8	NOM-003-ECOL- SEMARNAT-1997
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$)	Biosólido Deshidratado= 2,730 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ Biosólido Líquido= 1,900 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	NOM-003-ECOL- SEMARNAT-1997
Coliformes Totales (CT) (NMP/100 ml)	Biosólido Deshidratado= 430 NMP/100ml Biosólido Líquido= 280 NMP/100 ml	NOM-004- SEMARNAT-2002 Clasificación A y B
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)	Biosólido Deshidratado= 220 NMP/100ml Biosólido Líquido= 48 NMP/100 ml	NOM-004- SEMARNAT-2002 Clasificación A y B

Cuadro 14. Calidad Agronómica del Agua.

PARÁMETROS	RESULTADOS	CLASIFICACION AGRONOMICA
pH	Biosólido Deshidratado= 6.8 Biosólido Líquido= 7.9	Agua Aceptable dentro de Rango 6.7- 8.3
CE	Biosólido Deshidratado= 2,730 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ Biosólido Líquido= 1,900 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	C3 750-2,250 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$



Figura 9. Resultados CT y CF.

Los valores obtenidos de análisis de calidad de aguas se observan en la figura 10 y 11.

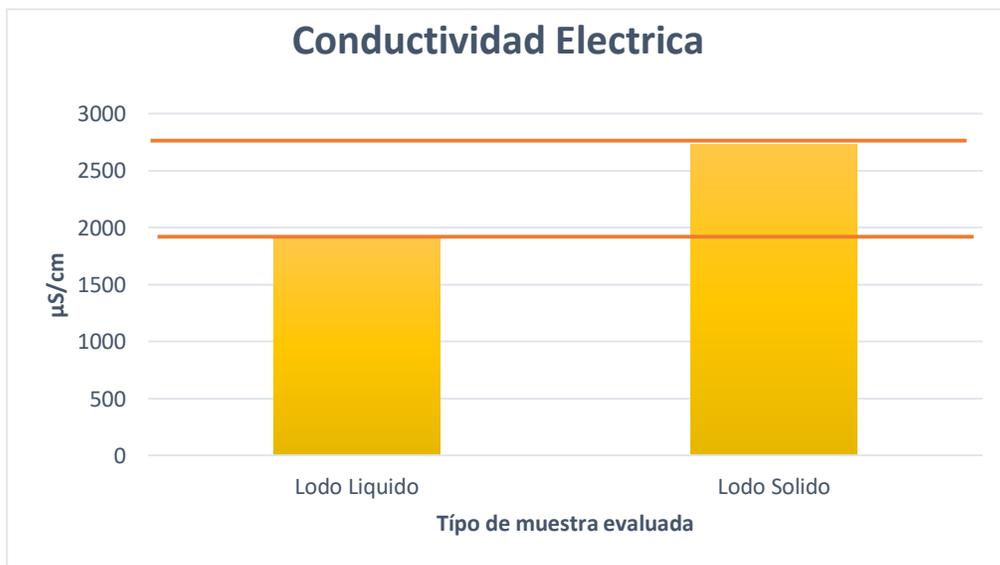


Figura 10. Relación de los límites permisibles en CE.

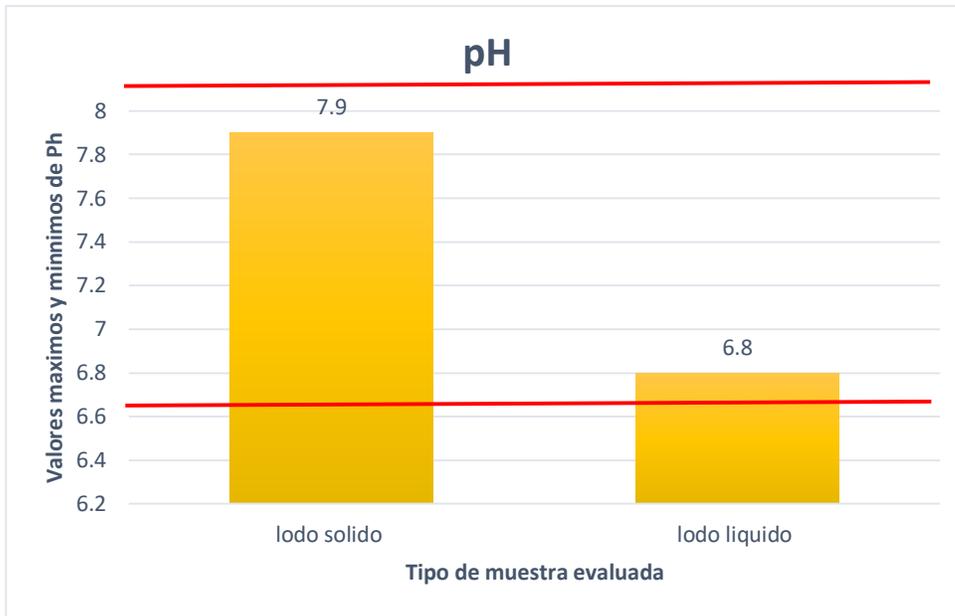


Figura 11. Relación de los límites máximos permisibles en pH.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que:

Los biosólidos líquidos y deshidratados pueden ser utilizados como biofertilizantes orgánicos para el uso agronómico.

Posteriormente al analizar los parámetros de Calidad de Aguas Residuales se determina que el agua puede ser utilizada en cultivos tolerantes a la salinidad, siempre y cuando exista buen drenaje para evitar la acumulación de sales.

Se recomienda:

Hacer uso de los biofertilizantes orgánicos realizando cálculos agronómicos de Nitrógeno para determinar qué porcentaje es lo que se requiere para el desarrollo del suelo o planta. Respecto al uso de aguas residuales debe hacerse un uso eficiente del agua para evitar acumulación de sales en el suelo.

Dicho esto, el agua resulta de gran importancia para el uso humano y para el uso en ecosistemas y propiamente en la agricultura, actualmente como sociedad se nos presenta un caso de crisis debido al exceso de uso del agua para diferentes actividades, sobre población y explotación del recurso agua, la escasez. Que se genera a través del tiempo ha permitido realizar actividades para el saneamiento de aguas residuales enfrentando de esta forma la crisis que se nos presenta y dando otro uso a el recurso agua.

VI. LITERATURA CITADA

- Cardona, R. T. 2012. Tratamiento de Lodos. Aguas Residuales. México.
- Centro Americano de Derecho Ambiental -CEMDA-2006. El Agua en México: lo que todos y todas debemos saber. México.
- Centro Nacional de Investigaciones Cientificas 2015. Tratamiento de Lodos Generalidades y Aplicaciones. (Ciencias Quimicas). Cuba. 3-20 p.
- Comisión Nacional del Agua -CONAGUA -2008. Programa Nacional Hidrico . Secretaria del medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Comisión Nacional del Agua-CONAGUA-2017-. Disponibilidad per Capita. SEMARNAT. México,D.F.
- Crites y Tchobanoglous C. 2000. Sistema de Manejo de Aguas Residuales para nucleos pequeños y descentralizados. McGraw-Hill. Colombia.
- Metcalf y Eddy 1996. Ingenieria de Aguas Residuales: Tratamiento Vertido y Reutilizacion. McGranw- Hill, 145- 149 p. Colombia.
- Agencia de Protección del Medio Ambiente- EPA-2013. Clasificacion de Lodos Residuales. SEMARNAT. México.
- Hernandez, E. A. 2010. Elixir de vida H2O. ElementalWaston "La revista", 9,10.
- Instituto Mexicano de la Tencología del Agua-IMTA-2016. Reúso de Aguas Residuales en la Agricultura. Mexico.
- Jiménez, B. 2002. El Agua en Mexico: Cauces y Encauces. CONAGUA. México.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA-2014. Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Perú.

Organización Mundial de la Salud-OMS-2018. El uso de Aguas Residuales, pp 20-21.

Sánchez A é . 2015. Reutilización de las Aguas Residuales."centro de información. pp- 14-16.

Sánchez 2019. Importancia de las Aguas Residuales. Aguas Residuales. Ecuador.

SEMARNAT.1997. NOM-003-ECOL-1997.México; D.F.

SEMARNAT,2002. NOM-004-2002. México: D.F.

SEMARNAT. 2005. Indicadores de seguimiento: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Seoanez, C. 2003. Manual de Tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las Aguas Residuales ed.Mundi- Prensa. México. 465 p .

Zuñiga, M. E. 2016. Tratamiento de Lodos Residuales provenientes de Aguas residuales. Ingeniería Ambiental .Universidad Politécnica. Ecuador.

ANEXO A

PARÁMETROS	RESULTADOS	CLASIFICACIÓN AGRÓNOMICA
Calcio (Ca ²⁺)	Biosólido Deshidratado=3.75 Meq/Lt Biosólido Líquido= 3.2 Meq/Lt	NA
Magnesio (Mg ²⁺)	Biosólido Deshidratado=23.25 Meq/Lt Biosólido Líquido=28 Meq/Lt	NA
Carbonatos (CO ₃ ⁼)	Biosólido Deshidratado= 0.012 Meq/Lt Biosólido Líquido= 0.010 Meq/Lt	NA
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	Biosólido Deshidratado= 1.55 Meq/Lt Biosólido Líquido= 0.073 Meq/Lt	NA
Cloruros (Cl ⁻)	Biosólido Deshidratado= 1.1 Meq/Lt Biosólido Líquido= 0.033 Meq/Lt	NA
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	Biosólido Deshidratado=205.64 Meq/Lt Biosólido Líquido= 239.91 Meq/Lt	NA