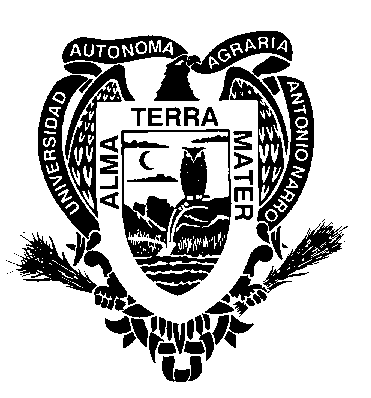
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO EN LODOS ACTIVADOS PARA SU USO COMO BIOFERTILIZANTE**

**POR**

**SONIA SIMON GUILLERMO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO**

**DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO DICIEMBRE DE 2015**

****



# DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres Ciro Simón Rosales y Esperanza Guillermo Casiano por darme la vida, por ser los pilares que me han acompañado siempre en este caminar de mi vida; por demostrarme siempre su apoyo incondicional, por su amor, trabajo, y sacrificio en todos estos años, por formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores; gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, ha sido un privilegio ser su hija, son los mejores padres.

A mi hermano Cirino Simón Guillermo por tus consejos, por haber estado siempre al pendiente de mí y brindándome tu apoyo, muchas veces poniéndote en el papel de padre porque así lo eres, más que hermano eres como mi segundo padre; con mucho amor, cariño y respeto a tí dedico este logro alcanzado; gracias por depositar tu confianza en mí hermano.

A mi hermana Lorena Simón Guillermo por tus sabios consejos, por estar en los buenos y malos momentos de mi vida, por tus motivaciones a seguir luchando por alcanzar el éxito.

A mis hermanos (@): Yanet Simón Guillermo, Esquibel Simón Guillermo y a la pequeña consentida María Guadalupe Simón Guillermo por todos esos momentos que hemos compartido juntos, por su cariño, apoyo y los ánimos que siempre me han brindado, ustedes son el motivo por el cual he salido adelante.

A mi tío Honorio Guillermo Casiano quien con sus sabios consejos y palabras motivadoras me ha demostrado que para lograr mis sueños tengo que luchar hasta alcanzarlo y ser valiente, siempre firme como toda una guerrera.

A mis amigos que conocí en mi estadía por la universidad, por demostrarme su amistad y compartir momentos inolvidables juntos.

# AGRADECIMIENTO

A Dios por regalarme la vida, por darme el valor y la fe para culminar esta etapa de mi vida; por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo del camino recorrido.

A mi madre por todo tu esfuerzo, tu apoyo brindado, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me has demostrado tu amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. A mi padre por darme la vida, por tu apoyo en este logro alcanzado.

A mis hermanos y hermanas que con sus consejos, dedicación, comprensión, paciencia y apoyo me han ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.

A mi abuela, mis tíos, tías, primos, padrinos y amistades que de una u otra manera contribuyeron para alcanzar mis sueños y alcanzar otro escalón más en mi formación.

A mis asesores: M.C. Norma Leticia Ortiz Guerrero, Dr. Alfredo Ogaz, Dr. Luis Javier Hermosillo Salazar por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto, por su dedicación y por compartir sus conocimientos conmigo.

En especial al Ingeniero y amigo Joel Limones Avitia, por su apoyo, comprensión y dedicación durante la realización de este proyecto.

A través de estas líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento al técnico académico Juan Carlos Mejía Cruz por ser una persona responsable y dedicada a su profesión, por compartir sus conocimientos y brindarme su apoyo en el laboratorio para la obtención de los resultados de este proyecto.

A mi Alma Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme cobijado durante mi estancia de mi carrera y por brindarme la oportunidad de la realización de mis estudios profesionales.

INDICE

[DEDICATORIA I](#_Toc436296271)

[AGRADECIMIENTO II](#_Toc436296272)

[INDICE III](#_Toc436296273)

[INDICE DE CUADROS V](#_Toc436296274)

[INDICE DE GRÁFICAS VI](#_Toc436296275)

[RESUMEN VII](#_Toc436296276)

[**INTRODUCCIÓN** 1](#_Toc436296277)

[**II** **OBJETIVO** 3](#_Toc436296278)

[2.1 Objetivo General 3](#_Toc436296279)

[2.2 Objetivo especifico 3](#_Toc436296280)

[**III** **REVISIÓN DE LITERATURA** 4](#_Toc436296281)

[**3.1** **El agua** 4](#_Toc436296282)

[**3.1.1** **Distribución del agua** 4](#_Toc436296283)

[**3.1.2** **Composición y características del agua** 4](#_Toc436296284)

[**3.1.3** **Importancia del agua** 4](#_Toc436296285)

[**3.1.4** **El consumo del agua en los diferentes sectores** 5](#_Toc436296286)

[**3.2** **Aguas residuales.** 6](#_Toc436296287)

[**3.2.1** **Generalidades de las aguas residuales** 6](#_Toc436296288)

[**3.2.2** **Importancia del agua residual** 7](#_Toc436296289)

[**3.2.3** **Contaminantes presentes y efectos producidos por los contaminantes en las aguas residuales** 8](#_Toc436296290)

[**3.2.4** **Características Físico-Químicas de las aguas residuales** 8](#_Toc436296291)

[**3.3** **Procesos de tratamiento de las aguas residuales** 8](#_Toc436296292)

[**3.3.1** **Tratamiento preliminar** 9](#_Toc436296293)

[**3.3.2** **Tratamiento primario** 9](#_Toc436296294)

[**3.3.3** **Tratamiento secundario** 9](#_Toc436296295)

[**3.3.4** **Tratamiento terciario** 10](#_Toc436296296)

[**3.4** **Sistema de tratamiento por lodos activados** 10](#_Toc436296297)

[**3.4.1** **Lodos** 10](#_Toc436296298)

[**3.5** **El uso de lodos residuales en la agricultura** 12](#_Toc436296299)

[**3.5.1** **El lodo residual y su acción sobre el suelo agrícola** 13](#_Toc436296300)

[**3.5.2** **El nitrógeno total como biofertilizante** 13](#_Toc436296301)

[**3.5.3** **Producción de lodos** 14](#_Toc436296302)

[**3.5.4** **Parámetros físico-químicos evaluados en los lodos** 15](#_Toc436296303)

[**3.5.4** **Parámetros microbiológicos evaluados en los lodos** 17](#_Toc436296304)

[**3.5.5** **Proceso de eliminación de biosólidos** 19](#_Toc436296305)

[**3.6** **Alternativas de aprovechamiento de los lodos** 19](#_Toc436296306)

[**3.6.1** **Ventajas y desventajas de las alternativas de aprovechamiento de los lodos** 20](#_Toc436296307)

[**3.7** **MARCO JURÍDICO** 24](#_Toc436296308)

[**3.7.1** **Normatividad de Biosólidos** 24](#_Toc436296309)

[**IV** **MATERIALES Y MÉTODOS** 25](#_Toc436296310)

[**V** **RESULTADOS Y DISCUSIÓN** 28](#_Toc436296311)

[**VI** **CONCLUSIONES** 32](#_Toc436296312)

[**VII** **LITERATURA CITADA** 33](#_Toc436296313)

# INDICE DE CUADROS

**Cuadro 1.** En este cuadro se presenta las tres categorías de lodo para el aprovechamiento que se les podrá dar a los biosólidos depende de su clasificación. 10

**Cuadro 2.** En este cuadro se describe lasventajas y desventajas para las alternativas del aprovechamiento de los lodos. 23

**Cuadro 3.** Resultados obtenidos en la determinación de nitrógeno total de las muestras analizadas de lodos activados de la planta tratadora de aguas residuales municipales de la Ciudad de Lerdo, Durango, México. UAAAN UL 2015. 28

**Cuadro 4.** Resultados de alto contenido de nitrógeno total. En el cuadro anterior se determina la clase de nitrógeno total para ser utilizado en el suelo como biofertilizante. Y se compara con las muestras analizadas en el laboratorio. 29

**Cuadro 5**. Clasificación del contenido de nitrógeno total de las muestras analizadas de lodos activados de la planta tratadora de aguas residuales municipales de la Ciudad de Lerdo, Durango, México. UAAAN UL 2015. 29

**Cuadro 6**. Datos estadísticos del contenido de nitrógeno total de las muestras analizadas de lodos activados de la planta tratadora de aguas residuales municipales de la Ciudad de Lerdo, Durango, México. UAAAN UL 2015. 30

# INDICE DE GRÁFICAS

**Gráfica 1.** En esta gráfica se muestran los resultado de cada muestra del nitrógeno total en por ciento. 31

# RESUMEN

El agua es la sustancia que más abunda en nuestro planeta tierra y se encuentra en estado líquido, sólido y gaseoso. Su importancia radica en los servicios ambientales que prestan el abastecimiento y uso del agua potable y a algunas actividades productivas, como la agricultura y la industria. El agua residual es la que proviene del sistema de abastecimiento de aguas de una población, después de haber sido modificada por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. Las principales fuentes de aguas residuales son: aguas domésticas, aguas residuales industriales, aguas de usos agrícolas y aguas pluviales. El proceso de tratamiento de las aguas residuales es un sistema utilizado para remover contaminantes del agua. Los lodos residuales son ricos en material orgánico y nutriente y al ser sometido a procesos de estabilización, pueden ser susceptibles de aprovechamiento. El lodo activado es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. En cuanto a los lodos producidos en una planta de tratamiento debe cumplir con la NOM-004-SEMARNAT-2002 que especifica los límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. El uso de lodos en la agricultura permite aprovechar sus características ya que los lodos pueden utilizarse como acondicionadores de suelos, en la recuperación de suelos erosionados, en parques, áreas forestales y jardines, así como en viveros**.** El nitrógeno en la agricultura es el principal nutriente que el suelo debe proporcionar para garantizar el crecimiento adecuado y la producción óptima de los cultivos. El objetivo del presente trabajo fue la determinación de la concentración del nitrógeno en lodos activados generados en la planta de tratamiento de agua residual municipales de la ciudad de Lerdo, Durango, México, en los meses de Mayo a Octubre del 2015, para su posterior uso como biofertilizante. Durante el desarrollo del experimento se tomaron ocho muestras del sedimentador, a cada muestra se determinó el nitrógeno total mediante el método tradicional denominado método Kjeldhal, que proporciona el contenido de nitrógeno orgánico más nitrógeno amoniacal de una muestra. Los resultados obtenidos, fueron analizados mediante el método de estadística descriptiva, para la determinación de la media, el valor máximo y mínimo y la desviación estándar. En cuanto a los resultados de la determinación de contenido de nitrógeno en lodos se obtuvieron valores de 0.57 % para la media, en cuanto al valor máximo fue de 0.98 % y el mínimo de 0.084 % con desviación estándar de 0.33 %. El contenido de nitrógeno encontrado se considera alto y adecuados para ser usado como biofertilizante en la agricultura. En cuanto a la clasificación de los lodos de acuerdo a la NOM-004-SERMANAT-2002 se clasifica en la clase C para uso forestal, mejoramiento de suelos y usos agrícolas.

**Palabras claves:** Agua, tratamiento de las aguas residuales, lodos activados, nitrógeno total, método Kjeldhal.

# **INTRODUCCIÓN**

El método de tratamiento mediante lodos activados se desarrolló por primera vez en Inglaterra en el año 1914 y actualmente es el método estándar de tratamiento de aguas residuales en los países desarrollados (Méndez *et al.*, 2004).

Los lodos de aguas residuales y de algunos procesos industriales son considerados como residuos peligrosos, que demandan tratamiento y manejo especial desde el punto de vista ambiental y sanitario. Están formados generalmente por sólidos en forma de grumos o escamas coloidales mezclados con agua. La parte sólida de los lodos está compuesta por partículas de materia orgánica e inorgánica que tienen rangos de tamaño entre arenas y limos (Ubaque *et al.*, 2013).

Como se mencionó las plantas de tratamientos de aguas residuales los generan y los cuales contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micro nutrientes, metales pesados y agua .La norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 los define como sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras o de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización (Campos-Medina *et al.*, 2009).

La generación de lodos es un asunto de gestión medioambiental destacable dentro de la Unión Europea, donde se estima que se superarán los 13 millones de toneladas (lodo seco) anuales en el año 2020. De este modo, el desarrollo de procesos para la reducción o reutilización de los lodos resulta determinante para una apropiada gestión medioambiental. Tratando por separado el lodo secundario del primario (y no la mezcla como suele hacerse) se favorece el uso del lodo secundario en agricultura, ya que el lodo secundario contiene el doble de nutrientes y menor carga contaminante que el lodo primario (Ruiz-Hernando *et al.*, 2014).

Una forma de disponer adecuadamente el lodo y darle un valor agregado es mediante su estabilización por composteo o vermicomposteo. El composteo es un proceso biológico aerobio de oxidación de materia orgánica, realizada por una sucesión dinámica de microorganismos de cuya actividad se genera calor que hace que la temperatura ascienda por arriba de los 50 ºC durante varios días consecutivos (De la Rosa *et al.*, 2011).

Los fertilizantes proveen nutrientes que los cultivos necesitan. Con los fertilizantes se pueden producir más alimentos y cultivos comerciales, y de mejor calidad. Con los fertilizantes se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados. Los fertilizantes, abonos o residuos de cultivos aplicados al suelo aumentan la oferta de nutrientes de las plantas. Las cantidades de nutrientes primarios necesarios para los cultivos principales son los nutrientes primarios como el nitrógeno, fósforo y potasio. El Nitrógeno (N) es el motor del crecimiento de la planta. Es absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO3 -) o de amonio (NH4 +). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar amino ácidos y proteínas. Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento (FAO, 2002).

# **II OBJETIVO**

## 2.1 Objetivo General

Determinar la concentración del nitrógeno en lodos activados generados en una planta de tratamiento de agua residual municipales, para su posterior uso como biofertilizante

## 2.2 Objetivo específico

Los lodos activados contienen cantidad suficiente de nitrógeno para su posterior uso como biofertilizante

# **III REVISIÓN DE LITERATURA**

## **3.1 El agua**

El agua es la sustancia que más abunda en nuestro planeta Tierra y es el único recurso que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso (Parada-Puig, 2012).

### **3.1.1 Distribución del agua**

El agua; las tres cuartas partes de la Tierra están cubiertas por agua, 97.5% es salada ( forma mares y océanos) y sólo 2.5% es agua dulce, del cual sólo 0.3% se localiza en lagos y ríos de donde el hombre toma la mayor parte del agua que utiliza, el resto se encuentra en glaciares, casquetes polares en forma de hielo y en depósitos subterráneos (INEGI, 2009).

### **3.1.2 Composición y características del agua**

El agua es una molécula sencilla formada por átomos pequeños, dos de hidrógeno y uno de oxígeno; unidos por 66 enlaces covalentes muy fuertes que hacen que la molécula sea muy estable. Tiene una distribución irregular de la densidad electrónica, pues el oxígeno, uno de los elementos más electronegativos, atrae hacia sí los electrones de ambos enlaces covalentes, de manera que alrededor del átomo de oxígeno se concentra la mayor densidad electrónica (carga negativa) y cerca de los hidrógenos la menor (carga positiva). Y en cuanto a sus características el agua es líquida, inodora, incolora e insípida, es decir sin sabor, olor ni color (Carbajal-Azcona y González-Fernández, 2012).

### **3.1.3 Importancia del agua**

El agua es un bien económico y un bien social que debe distribuirse de forma equitativa para satisfacer, en primera medida, las necesidades humanas básicas. Su importancia radica en gran parte en los servicios ambientales que presta el abastecimiento y uso del agua potable, y a algunas actividades productivas, como la agricultura y la industria. Muchos son los ejemplos puntuales de extracción de recursos naturales —como pesca, minería y desarrollo de la ciudad— que demandan el uso de abundantes recursos naturales, y particularmente del agua, lo que ha generado el agotamiento de éstos. Además de poner en riesgo las poblaciones y la existencia de los recursos renovables y no renovables, estas presiones, sumados a la consecuencia del cambio climático, ponen en peligro la oferta de servicios ambientales básicos para la vida y las actividades humanas, que están intrínsecamente ligadas al funcionamiento de los ecosistemas y a los ciclos naturales del planeta. El agua opera como insumo en los sectores agropecuarios, piscícola e industrial, así como en el turístico, con piscinas y juegos acuáticos (Díaz-Pulido *et al.*, 2009).

### **3.1.4 El consumo del agua en los diferentes sectores**

El agua se distribuye entre sus diferentes usos para satisfacer las necesidades de la sociedad y es frecuente diferenciar entre sus usos consuntivos y no consuntivos; entre los primeros se ubican el abastecimiento urbano, la agricultura, la ganadería y la industria, y entre los segundos se encuentran la producción de energía eléctrica, la refrigeración de plantas industriales y centrales energéticas, la acuicultura y los caudales con fines ambientales y paisajísticos. Aunque estas demandas no consumen prácticamente agua, condicionan y limitan el suministro de los usos consuntivos porque deben estar disponibles en el momento y lugar requeridos, y con la calidad adecuada (IMTA, 2003).

El rápido crecimiento de la población humana en los últimos años ha sido el factor más importante que ha incrementado la demanda de agua dulce en el planeta. Este factor también ha hecho más aguda la competencia entre los usos agrícola, industrial y urbano. El uso de agua en la agricultura se ha incrementado progresivamente para satisfacer la demanda creciente de alimentos, esto es consecuencia directa del crecimiento de la población humana, la cual ha sobrepasado los 6 mil millones de personas. El consumo de agua en la agricultura ha aumentado en casi 60% desde los años 50. La agricultura de riego produce aproximadamente 40% de los alimentos a nivel mundial e inutiliza 17% de la superficie mundial cultivada. Dados los enormes volúmenes de agua requeridos en la producción agrícola, este sector consume la mayor parte de los recursos. La agricultura de regadío representa 70% del consumo de agua a escala mundial, y 87% se refiere a usos consuntivos (Guzmán-Soria *et al.*, 2011).

## **3.2 Aguas residuales.**

### **3.2.1 Generalidades de las aguas residuales**

Se define agua residual o agua servida a las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de aguas de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Varila-Quiroga y Díaz-López, 2008). Las aguas residuales contienen materia orgánica como inorgánica, y los microorganismos desempeñan un papel especialmente importante eliminando los compuestos orgánicos. El tipo de materia orgánica presente en el agua residual influye sobre el grado y la complejidad del tratamiento biológico, por lo que el análisis del fraccionamiento de la materia orgánica puede brindar información complementaria para la optimización de los procesos (Rodríguez y Mañunga, 2012).

Las principales fuentes de aguas residuales son: aguas domésticas, aguas residuales industriales, aguas de usos agrícolas y aguas pluviales. Aunque la mayor parte de las aguas servidas provienen del uso doméstico e industrial. En general, se consideran aguas residuales domesticas (ARD) los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales municipales los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal, y se llaman aguas residuales industriales las aguas residuales provenientes de las descargas de industrias de manufactura. También se acostumbra denominar aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Y aguas grises a las residuales provenientes de tinas, duchas, lavamanos y lavadoras (Seoánez-Calvo, 2005).

### **3.2.2 Importancia del agua residual**

La contaminación del agua es uno de los más graves problemas ambientales a los que la naturaleza se enfrenta actualmente. Cada día se vierte a los ríos y lagos toneladas de desechos en forma de basura o como agua residual, ocasionando la contaminación de los cuerpos de agua que en algún momento fueron de agua cristalina natural. La contaminación causada por los efluentes domésticos e industriales, la deforestación y los cambios del uso del suelo, están reduciendo notablemente la disponibilidad de agua utilizable en el país; la peligrosidad ecológica de estos vertidos de aguas residuales ha potenciado la búsqueda de alternativas para su tratamiento y disposición (Del Real-Olvera y Islas-Gutiérrez, 2012).

El uso del agua residual tratada para irrigar los cultivos se ha vuelto una alternativa común debido a la escasez de agua dulce (Najib-Kobaissi *et al.*, 2014). La eliminación de aguas residuales no tratadas produce impactos ambientales negativos en los cuerpos receptores de agua, en función de la concentración de contaminantes que dichas aguas contengan (Mass-Torres y Medrano-Manga, 2012).

### **3.2.3 Contaminantes presentes y efectos producidos por los contaminantes en las aguas residuales**

Los contaminantes en cuanto a sus características físicas son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que al entrar en contacto con el agua, interfieren en su composición; sus efectos son como mal olor, cambio de color, enturbiamiento, fermentación, cambio de temperatura; en químicas incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua; y sus efectos son como la disminución de la concentración necesaria de oxígeno para la vida acuática. En las biológicas Incluyen contaminantes como hongos, bacterias y virus. Algunas materias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua; y su efecto ocasiona la muerte de las plantas y animales, así como la producción de enfermedades en el hombre (Holum, 2011).

### **3.2.4 Características Físico-Químicas de las aguas residuales**

Las características físicas son adquiridas en su mayor parte, según sea el contenido total de sólidos en sus diferentes variantes de materiales flotantes, sustancias coloidales y productos disueltos (Huisman y De azevedo-Netto, 1988). Las propiedades químicas del agua residual son proporcionadas por componentes que podemos agrupar en tres categorías, según su naturaleza: materia orgánica, compuestos inorgánicos y componentes gaseosos (Zamora *et al.*, 2008).

## **3.3 Procesos de tratamiento de las aguas residuales**

El tratamiento de las aguas residuales, también conocido como proceso de depuración, es un sistema utilizado para remover contaminantes del agua; en él los sólidos inorgánicos que el agua contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos queden convertidos en sólidos minerales o en compuestos orgánicos relativamente estables (Silva *et al.*, 2008).

### **3.3.1 Tratamiento preliminar**

En la primera etapa las aguas de desechos son sometidas a un pretratamiento cuyo objetivo es la retención del volumen de agua para evitar fluctuaciones durante el proceso posterior. En este también se lleva a cabo la igualación u homogenización, que tiene como finalidad amortiguar las variaciones de contaminantes (Mercado-Guzmán, 2013).

### **3.3.2 Tratamiento primario**

El tratamiento primario es para reducir algunos contaminantes como: aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos (asentamiento de sólidos) (CONAGUA, 2003).

Algunos de los procesos que el tratamiento primario incluye son:

* Neutralización: tratamiento ácido-base del agua residual.
* Coagulación- floculación: elimina sólidos en suspensión y materiales coloidales.
* Decantación: durante este proceso se elimina la materia en suspensión de los floculantes precipitados durante el proceso de coagulación-floculación o de la separación de contaminantes en un proceso de precipitación química
* Filtración: consiste en hacer pasar un líquido que contiene materias en suspensión a través de un medio que permite el paso del líquido, pero no el de las partículas sólidas (Galli y Miguel, 2007).

### **3.3.3 Tratamiento secundario**

Consiste en el consumo de la materia orgánica contenida en las aguas de desechos y de una parte de los nutrientes, por parte de los microorganismos. Este tiene como objetivo eliminar la materia orgánica biodegradable presente en el agua después del tratamiento primario (González-Hernández y Junco-Horta, 2008).

### **3.3.4 Tratamiento terciario**

En este tipo de tratamiento las aguas son pulidas para logra un mayor grado de calidad. El objetivo principal de los tratamiento terciarios es la eliminación de contaminante que perduran después de aplicar los tratamiento primarios y secundarios; son tratamientos específicos y costosos, que se usan cuando se requiere un efluente final de mayor calidad que la obtenida con los tratamientos convencionales (Winkler, 1986).

## **3.4 Sistema de tratamiento por lodos activados**

### **3.4.1 Lodos**

Los lodos residuales son también conocidos como biosólidos, y son ricos en material orgánico y nutrientes, y al ser sometidos a procesos de estabilización, pueden ser susceptibles de aprovechamiento (Costa *et al.*, 1991).

Existen 3 categorías de lodo:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tipo** | **Clase** | **Aprovechamiento** |
| Excelente | A | Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación  Los establecidos para la clase B y C |
| Excelente o bueno | B | Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación  Los establecidos para la clase C |
| Excelente o bueno | C | Usos forestales  Mejoramiento de suelos  Usos agrícolas |

**Cuadro 1.** En este cuadro se presenta las tres categorías de lodo para el aprovechamiento que se les podrá dar a los biosólidos depende de su clasificación.

Los principales constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamiento incluyen basuras, arena, espuma y lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamientos de las aguas residuales generalmente suelen ser un líquido o un líquido – semisólido con gran contenido de sólidos entre 0.25 – 12%. Los procedimientos para tratar los lodos varían según la fuente y el tipo de aguas residuales de las que se derivan, del proceso utilizado para tratar las aguas residuales y del método ultimo de disposición a la que se destinan los lodos. El lodo es el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. Su tratamiento y evacuación es probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los ingenieros sanitarios. El lodo está formado principalmente por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas. La fracción del lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente de materia orgánica y solo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida (Saeger y Tucker, 1976).

Las características de los lodos varían mucho dependiendo de su origen, su edad, del tipo de proceso del cual provienen y de la fuente original de los mismos. El volumen de lodo que se produce en un tanque de sedimentación debe conocerse o estimarse para cuantificar los diferentes componentes del sistema de tratamiento y disposición de lodos. Dicho volumen depende principalmente de las características del agua residual, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de sólidos, del contenido de humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos. La cantidad de lodo producido es muy variable, dependiendo del proceso de tratamiento usado y de la concentración de aguas residuales (Mahamud *et al.*, 1996).

**3.4.2 Los lodos activados**

El lodo activado es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. Los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor (Limón-Macías, 2013).

El proceso de lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. El diseño de las plantas de lodos activados se llevó a cabo fundamentalmente de una forma empírica. Sólo al comienzo de los años sesenta se desarrolla una solución más racional para el diseño del sistema de lodos activados. Este proceso nació de la observación realizada hace mucho tiempo de que si cualquier agua residual, urbana o industrial, se somete a aireación durante un periodo de tiempo, se reduce su contenido de materia orgánica, formando a la vez un lodo floculante. En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de alimento para su producción. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (aireadores superficiales, sopladores, etc.) los cuales tiene doble función: 1) producir mezcla completa y 2) agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle (Sánchez-Mares, 2005).

## **3.5 El uso de lodos residuales en la agricultura**

La mayor parte de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales instalados en Latinoamérica no incluyen el manejo y disposición de los lodos residuales que generan. Los métodos de disposición utilizados actualmente son, esencialmente, basureros a cielo abierto, vertidos al drenaje o a corrientes superficiales, rellenos sanitarios e incineración. Esto provoca contaminación ambiental debido a los altos contenidos de patógenos, metales pesados y tóxicos orgánicos que presentan estos lodos. Las tecnologías más utilizadas hasta el momento para evitar esta problemática comienzan a ser reemplazadas por nuevos procedimientos tales como la digestión alcalina, el composteo y la aplicación del lodo de manera directa al suelo, previa estabilización con cal o digestión aerobia o anaerobia. Estos procedimientos permiten emplear lodos en agricultura con el fin de aprovechar sus características ya que los lodos pueden utilizarse como acondicionadores de suelos, fertilizantes, en la recuperación de suelos erosionados, en parques, áreas forestales y jardines, así como en viveros (Hilleboe, 1974).

Como primer paso debemos realizar un estudio de las características físicas, químicas y biológicas del lodo que permitirá conocer su aptitud o inadecuación por posibles afecciones al suelo, cultivo y agua, así como su capacidad como fertilizante y acondicionador de suelos. Los criterios que se utilizan para determinar la calidad del lodo para agricultura están basados, fundamentalmente, en el contenido de humedad, sólidos suspendidos volátiles, carbono orgánico total, nitrógeno total Kjendhal, potasio, calcio, magnesio, fósforo, nitratos, metales pesados (Cd, Pb, Zn, etc), total de bacterias, coliformes totales y fecales y pH. La elección de estos parámetros se basa en los posibles problemas que pueden producir su presencia y/o elevados contenidos, y en que permiten caracterizar sus propiedades como fertilizante y acondicionador (Esteller, 2002).

### 

### **3.5.1 El lodo residual y su acción sobre el suelo agrícola**

Los lodos se caracterizan por presentar un alto contenido de materia orgánica y nutrientes por lo que su aplicación al suelo proporcionará estos nutrientes.

Los fangos líquidos procedentes de un tratamiento primario y secundario contienen entre: 1 – 6.5 % de Nitrógeno y 0.6 – 2.5 % de fósforo. Cuando están digeridos y secados al aire reducen dichos contenidos al 2% de nitrógeno y 1.5% de fósforo (Oropeza-García, 2006).

### **3.5.2 El nitrógeno total como biofertilizante**

El nitrógeno es el principal nutriente que el suelo debe proporcionar para garantizar el crecimiento adecuado y la producción óptima de los cultivos; la producción de la mayoría de los cultivos es altamente dependiente de la disponibilidad de nitrógeno.

Por otro lado, el contenido en nutrientes de los lodos es destacable, ya que pueden contener materia biodegradable, nitrógeno, fósforo y otros micronutrientes como B, Mn, Cu, Mb y Zn que lo convierten en una interesante enmienda agrícola (Colomer-Mendoza *et al.*, 2012).

La posibilidad de reutilizar materiales orgánicos ricos en nutrientes hace de la aplicación de lodos residuales en suelos agrícolas y forestales una alternativa importante (Salcedo-Pérez *et al.*, 2007). Esta alta concentración de nutrientes que presentan estos residuos (Nitrógeno, Fósforo, Materia Orgánica) puede ser aprovechada para el desarrollo primordial de las plantas (Valdez-Pérez *et al.*, 2008).

### **3.5.3 Producción de lodos**

En el tratamiento de las aguas residuales se tienen principalmente dos tipos de lodos. El tipo depende del origen de los lodos, lo cual también hace que tenga ciertas características de acuerdo al tratamiento en el que se produjo. Los principales tipos de lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales, sus características, la normatividad en México que corresponde para su tratamiento y la problemática en el manejo y disposición. Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales dependen del tipo de planta de tratamiento y de la operación de ésta. En una planta de aguas residuales domésticas, los lodos se generan principalmente en las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario. Los lodos primarios se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal. Los lodos secundarios se producen en procesos de tratamiento biológicos que convierten residuos o substratos solubles en biomasa. También incluyen la materia particulada que permanece en el agua después de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa. La cantidad producida depende de varios factores: eficiencia del tratamiento primario, relación de solidos suspendidos totales (SST) con la demanda bioquímica de oxigeno (DBO), cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes y criterios de diseño del tratamiento. Los lodos secundarios se producen en los reactores biológicos y se sedimentan o separan del agua en los sedimentadores secundarios. Estos sedimentadores tienen en su base una tolva para almacenar y concentrar los lodos sedimentados. La extracción del lodo sedimentado se efectúa por carga hidráulica y por el accionamiento mecánico de las rastras que “barren” el fondo del tanque, empujando los lodos sedimentados a la tolva para su extracción (Lorenzo y Obaya, 2006).

### **3.5.4 Parámetros físico-químicos evaluados en los lodos**

(Medición de Ph, Alcalinidad, Acidez, Humedad, Demanda Química de Oxigeno – DQO, Demanda Bioquímica de Oxigeno – DBO)

Al hablar de la calidad de aguas sea para su vertido, tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, es imprescindible determinar una serie de parámetros físico – químicos mediantes métodos normalizados, con objeto de conocer si el valor de estos parámetros se encuentra dentro del intervalo que relaciona valores máximos y mínimos permitidos. En el caso del tratamiento de aguas estos parámetros deben ser determinados en los lodos que son generados durante el proceso. Las metodologías para los parámetros fisicoquímicos que se realizan con mayor frecuencia para determinar la calidad y composición de los lodos, se encuentran referenciados en el Standar Methods, donde relaciona principios de las técnicas, procedimientos, cantidades de reactivos y de muestras (Clesceri-Leone *et al.*, 1999).

**Medición de Ph:** El termino pH es utilizado universalmente para determinar si una solución es acida o básica. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, estos valores miden el grado de acidez o basicidad de una disolución. Los valores inferiores a 7 y próximos a 0 indican aumento de acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indica neutralidad (Romero-Rojas, 2004).

**Alcalinidad:** La alcalinidad es una medida de la capacidad de una muestra de neutralizar ácidos. La alcalinidad puede generarse por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o de amonio, siendo la causa más común los bicarbonatos de calcio y magnesio (Serna-Rivera y Lopez-Garcia, 2010).

**Acidez:** La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa de neutralizar una base fuerte. La titulación con Hidróxido de Sodio NaOH mide la concentración de ácidos minerales como el ácido sulfúrico, el dióxido de carbono disuelto y de sales de hidrolisis ácida. La acidez se origina en la disolución de dióxido de carbono atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en la descarga de aguas residuales industriales (Aznur-Jiménez, 2000).

**Humedad:** El agua es el único ingrediente que está prácticamente presente en casi todas las materias conocidas, tales como orgánicas e inorgánicas y su cantidad, estado físico y dispersión en estas afectan su aspecto, olor, sabor y textura. Las reacciones químicas y las interacciones físicas del agua y de sus posibles impurezas con otros componentes de los alimentos determinan frecuentemente alteraciones importantes. Cualquier materia en general puede considerarse que está integrada por dos fracciones primarias: su materia secay cierta cantidad de agua o humedad (Zagal y Sadzawka, 2007).

**Demanda Química de Oxigeno – DQO:** La Demanda Química de Oxígeno se usa para medir el equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos recientes, se requiere la ayuda de un catalizador como el Sulfato de plata (Márquez y Guevara, 2004).

**Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO):** La demanda bioquímica de oxígeno es la capacidad de oxigeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias (CONAGUA, 1981).

### **3.5.4 Parámetros microbiológicos evaluados en los lodos**

(Microorganismos Mesófilos Aerobios, Coliformes Totales y Fecales, Mohos y Levaduras, Clostridium Sulfito Reductor, Salmonella sp, Pseudomona sp, Bacterias Metanogénicas).

Por otro lado, está la evaluación de la calidad microbiológica del agua ya que mediante esta se podrá determinar si es apta o no para consumo humano, esto va ligado a la presencia de microorganismos patógenos que puedan estar en ella y ser causantes de diversas clases de riesgos como enfermedades, infecciones, contaminación, entre otros.

**Microorganismos mesófilos aerobios:** El termino mesófilo, se refiere a un organismo cuya temperatura de crecimiento óptima está entre los 15 y los 35°C (un rango considerado moderado) (Gil y Morón-Salim, 2010).

**Coliformes totales y fecales:** Los coliformes son bacilos cortos que se han definido como bacterias aerobias o anaerobias facultativas que fermentan la lactosa con producción de gas. Las principales especies de bacterias coliformes son el *E. coli* y el Enterobacter Aerogenes; no obstante, las especies que es posible que se ajusten a estos criterios, son más de veinte. El grupo de coliformes fecales incluye a los coliformes capaces de crecer a temperatura elevada entre 44.5 o 45°C. *Escherichia coli*, la temperatura óptima de crecimiento del microorganismo es de 37°C, con un intervalo de crecimiento de 10 a 40°C. Su pH óptimo de crecimiento es de 7.0 a 7.5 con un pH mínimo de crecimiento de valor de 4.0 y un pH máximo de crecimiento de valor de 8.5. Este microorganismo es relativamente termosensible y puede ser destruido con facilidad a temperaturas de pasteurización y también mediante la apropiada cocción de los alimentos (De la Cruz-González, 2013).

**Mohos:** Los mohos son parte del grupo de los hongos, son heterótrofos, a diferencia de las plantas, estos, se alimentan de materia orgánica muerta o de huéspedes vivos, cuando interactúan como parásitos. Los mohos tienen la capacidad de adaptarse a condiciones del entorno que no todos los microorganismos son capaces de tolerar, como un nivel de acidez o basicidad en un rango mayor que las bacterias. Debido a que viven en condiciones entre 2 - 9 de pH. Su pH óptimo es aproximadamente 5.6, valor que no todas las especies bacterianas soportan (De Pablo y Morangas, 2013).

**Levaduras:** Las levaduras son hongos, su forma de reproducción predominante es la gemación. Además se distinguen de las bacterias debido a que su tamaño es mucho mayor que el de las mismas. El crecimiento de la mayoría de las levadura se ve favorecido por un pH ácido próximo a 4 - 4.5 y no se desarrollan bien en medio alcalino a menos que se hayan adaptado al mismo. Las levaduras crecen mejor en condiciones aeróbicas, si bien las fermentativas pueden hacerlo aunque lentamente, en condiciones anaeróbicas (Martín *et al.*, 2008).

**Clostridium sulfito reductor:**Los clostridium son organismos que se observan solo, en parejas o a lo máximo en cadenas cortas. Crecen a temperatura de 37 °C y a un pH entre 7 y 7.4, de modo que son fácilmente inactivadas a pH ácido o básico. Son fermentadoras de azúcares, aspecto que resulta de utilidad en la diferenciación de las especies. **Salmonella sp:**La salmonella es un microorganismo que se adapta muy bien a los animales y a las personas. La temperatura es un factor que influye de forma determinante en la aparición de salmonella. Los extremos no le favorecen: el frío ralentiza su crecimiento, la congelación lo detiene y el calor a partir de 70º C la destruye. Por otra parte, la actividad del agua afecta el crecimiento de esta, y puede sobrevivir por años en diferentes muestras (Vendrell *et al.*, 1998). **Pseudomonas sp**:Las especies del género Pseudomonas es un género de bacilos rectos o ligeramente curvados, son organismos ubicuos, bacterias gram negativas. Y en cuanto a las **Bacterias metanogénicas**:Las bacterias metanogénicas son un grupo especializado de bacterias anaerobias obligadas que descompone la materia orgánica y forma metano (FAO, 2011).

### **3.5.5 Proceso de eliminación de biosólidos**

En cuanto a los procesos de eliminación de biosólidos tenemos la **Oxidación húmeda** que es un proceso utilizado en la industria para el tratamiento de residuos con bajo calor de combustión tales como efluentes acuosos con reducidas concentraciones de sustancias orgánicas. El principio de este proceso consiste en la oxidación de los contaminantes orgánicos en fase acuosa mediante el oxígeno, a elevada temperatura y presión con producción de dióxido de carbono y productos inocuos. Mediante este proceso se pueden obtener fuertes reducciones del contenido en sólidos de los lodos producidos. Y otro proceso es la **incineración** se puede definir la incineración de los lodos como su destrucción térmica a elevada temperatura en presencia de exceso de aire (Vélez-Zuluaga, 2007).

## **3.6 Alternativas de aprovechamiento de los lodos**

El alto contenido de materia orgánica de los lodos, podría hacer que se consideren a primera vista, los lodos como fertilizantes ideales. Los lodos producidos en procesos de tratamiento residual representan una enorme cantidad de biomasa potencialmente valiosa, y se realizan esfuerzos continuos para aprovecharla mejor. La composición de abonos con lodos crudos filtrados proporciona un material orgánico estable, semejante al humus, que se puede utilizar como acondicionador de terreno y como una fuente de nutrientes para las plantas. Estos lodos o biosólidos, pueden ser nocivos para la salud por la presencia tanto de químicos, virus y bacterias, que pueden causar enfermedades, es por esto que los biosólidos requieren de un manejo adecuado como lo es la neutralización de agentes patógenos, estabilización, filtración y secado previo si es necesario, para prevenir eventuales impactos negativos para la salud humana y para el medio ambiente. Pero a su vez, estos biosólidos poseen un alto contenido en materia orgánica, los cuales pueden contribuir a mejorar las condiciones físicas de los suelos y también poseen un alto contenido energético, el cual está presente tanto en el Biosólido (el lodo residual) como en el biogás (con un alto contenido en gas metano) que genera durante su tratamiento, el cuál puede usarse como combustible a través de la incineración de éste o disponerse junto a otros que sean fósiles como es el carbón y para la producción de energía (Rojas-Remis y Mendoza-Espinosa, 2011).

### **3.6.1 Ventajas y desventajas de las alternativas de aprovechamiento de los lodos**

Existen alternativas de aprovechamientos de lodos muy económicos que son fáciles de reducir el lodo y puede ser utilizado para un bien común, pero también existen algunas alternativas de aprovechamientos de lodos muy costosos que no son viables al utilizarlos.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Alternativas** | **Ventajas** | **Desventajas** |
| Incineración | * Los biosólidos son reducidos a cenizas in-situ * La combustión destruye todos los microorganismos presentes y oxida los compuestos orgánicos tóxicos. * Los metales pesados en las cenizas son menos solubles. * Un diseño adecuado puede hacer la incineración económicamente viable. | * De tipo económico dado que es la alternativa más costosa de eliminación de lodos. * Las instalaciones de incineración suelen plantear comúnmente serios problemas de contestación social. |
| Compostaje | * Se obtiene un producto de alta calidad comercializable para su uso en agricultura. * Admite ser combinado con otros procesos y presenta unos costos iniciales bajos. | * Requiere contenidos en sólidos entre el 40 y el 60% así como la incorporación de un agente de textura. * Es preciso disponer de un sistema de aireado a presión o bien de Volteado mecánico, y debido a ello existe una posible dispersión de patógenos a través del polvo. * Precisa la incorporación de otro material como fuente de carbono. |
| Producción de ladrillos | * Eliminación de metales pesados por medio del proceso de cocción. * Se elimina con esta aplicación su potencial de emisión de olores. * Sirven para reforzar la estructura mecánica del ladrillo al quedar incorporados en éste. * Incorporación de materia orgánica, ya que ésta al degradarse y combustionarse durante la cocción, crea una porosidad interna en el ladrillo propiciada por la formación y salida de los gases de descomposición. | * Se anula la posibilidad de que exista lixiviación y posterior contaminación a causa de estos metales. * Emisión de olores al secar los ladrillos. * Emisión de gases durante la cocción, ya sean gases inorgánicos u orgánicos volátiles. |
| Fertilizantes orgánicos | * Mejoran las propiedades físicas de los suelos. * Uso especialmente empleado por que fortalece factores de practicidad y economía para tratar los suelos. * Recirculación de los nutrientes del suelo en donde se aplicaron los lodos. * Recuperación de suelos degradados y erosionados. | * La dosis a aplicar depende de las condiciones de Nitrógeno y Fósforo de la superficie involucrada. * Si se aplica en exceso, puede afectar el trabajo de los pesticidas y plaguicidas en los suelos. |
| Vermiestabilización o Vermicomposteo | * Se logra la reducción de microorganismos patógenos, cerca de un 100%. | * Solo debe aplicarse para plantas en las cuales la producción de lodo diario no sea superior a los 60lps |

**Cuadro 2.** En este cuadro se describe lasventajas y desventajas para las alternativas del aprovechamiento de los lodos (Marañon-Malson et al., 2009).

# **3.7 MARCO JURÍDICO**

## 

## **3.7.1 Normatividad de Biosólidos**

Los lodos producidos en una planta de tratamiento deben cumplir con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

* En la **NOM-004-SEMARNAT-2002,** Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, se especifican los siguientes criterios con los que deberán cumplir los biosólidos para ser aprovechados:
* Los biosólidos deben ser tratados para controlar la atracción de vectores. Se recomiendan varios procesos para lograr esto, como el reducir la masa de sólidos volátiles al menos en un 38% durante su tratamiento.
* Los biosólidos se clasifican en excelentes o buenos de acuerdo al contenido de metales pesadosy en clase A, B o C de acuerdo a su contenido de patógenos y parásitos indicado.
* El aprovechamiento que se les podrá dar a los biosólidos depende de su clasificación.

**IV MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente trabajo se llevó cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la ciudad de Lerdo, Durango, México y en el laboratorio del departamento de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, situada en el Periférico Raúl López Sánchez km 2 en la ciudad de Torreón, Coahuila, durante el periodo de Mayo-Octubre del 2015, con el objetivo de determinar la concentración del nitrógeno en lodos activados generados en una planta de tratamiento de agua residual municipales, para su posterior uso como biofertilizante.

Durante el desarrollo del experimento se tomaron ocho muestras del sedimentador, a cada muestra se determinó el nitrógeno total mediante el método tradicional denominado método Kjeldhal, que proporciona el contenido de nitrógeno orgánico más nitrógeno amoniacal de una muestra. La determinación de nitrógeno total por este método aún hoy en día es uno de los más utilizados en el análisis químico (Espinosa-Lloréns *et al.*, 2013).

Para la determinación del nitrógeno total en las muestras, mediante el procedimiento o método Kjeldhal, este consta de tres partes que son: digestión, destilación y titulación.

DIGESTIÓN

Para realizar la digestión, se pesarón en una balanza analítica Sartorius tipo 1507, 5 gramos de muestra, pasada por una malla de 0.5 mm de No. 35, sobre un papel filtro Whatman No.5, mismo que se coloca en un matraz Kjeldahl. A este matraz se le agrega 1 gramo de ácido salicílico disuelto previamente en 35 ml de ácido sulfúrico concentrado (H2SO4), procurando que no resbale por las paredes; se deja en reposo 30 min.

Posteriormente se agregarón 5.69 gramos de tiosulfato de sodio pentahidratado y 7.82 gramos de sulfato de cobre pentahidratado; se coloca a la parrilla caliente del aparato Kjeldahl, con el tiempo aproximado de 1 hora con 30 minutos para su digestión y hasta llegar al color verde claro. Se deja enfriar la solución y se añadieron 300 ml de agua destilada.

DESTILACIÓN

Por otro lado para llevar a cabo la operación de destilación, esta se realiza utilizando un matraz Erlenmeyer de 500 ml, se colocan 10 ml de ácido clorhídrico (HCL) 0.1 N, 50 ml de agua destilada y cuatro gotas de rojo metilo. Esta solución se coloca en el tubo de destilación. Al matraz Kjeldahl con la muestra se le agregan 100 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 45 %; se adiciona un puño de perlas de ebullición y se coloca en el destilador lo más rápido posible. En la solución del matraz Erlenmeyer de 500 ml se recogen 200 ml de filtrado de la muestra.

TITULACIÓN

A la par de la muestra, se corre un testigo, y estas se titulan con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N hasta que desaparece el color rojizo y queda un color verde claro.

El porcentaje de Nitrógeno total se determina mediante la siguiente fórmula:

%Ntotal= (mL NaOHtestigo – NaOHmuestra)(Normalidad NaOH)(0.014)(100)

Peso de la muestra g

Para determinar la variación en la concentración de nitrógeno en las muestras, se aplicó un análisis de estadística descriptiva y se obtuvo el promedio de la concentración del nitrógeno, en cada una de las muestras de lodo activado, con la finalidad de conocer si el lodo producido en la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la ciudad de Lerdo, Durango., es apto para su uso como biofertilizante.

**V RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos, fueron analizados mediante el método de estadística descriptiva, para la determinación de la media, el valor máximo y mínimo y la desviación estándar, para evaluar las ocho muestras y determinar si la concentración de nitrógeno total contenido en cada una de las muestras de lodo residual, es apto o no, para usarlo como biofertilizante; los resultados de cada muestra refleja que la concentración de nitrógeno total en lodos residuales es muy alto.

De los análisis de nitrógeno realizado a cada muestra y, de acuerdo a la metodología aplicada (método Kjeldahl), todos los valores obtienen una clasificación distinta, donde las muestras se caracterizaron de clase muy alto con los siguientes valores:

**Cuadro 3.** Resultados obtenidos en la determinación de nitrógeno total de las muestras analizadas de lodos activados de la planta tratadora de aguas residuales municipales de la Ciudad de Lerdo, Durango, México. UAAAN UL 2015.

|  |  |
| --- | --- |
| **Número de muestra** | **Resultado de nitrógeno total (%)** |
| Primer muestra | 0.476 |
| Segunda muestra | 0.616 |
| Tercera muestra | 0.644 |
| Cuarta muestra | 0.756 |
| Quinta muestra | 0.882 |
| Sexta muestra | 0.084 |
| Séptima muestra | 0.98 |
| Octava muestra | 0.084 |

Se observó muy poca diferencia con respecto a los resultados de las muestras, debido a que la mayoría de las muestras analizadas tienen un alto porcentaje de nitrógeno; lo cual es indicativo de que este tipo de lodos residuales pueden resultar aptos para ser utilizado como biofertilizante para las plantas y es recomendable utilizarlo en concentraciones adecuadas, para no perjudicar a la vegetación y el suelo y, obtener buenos rendimientos en los cultivos, donde se aplique este biofertilizante a base de lodos residuales.

**Cuadro 4.** Resultados de alto contenido de nitrógeno total (Moreno, 1978). En el cuadro anterior se determina la clase de nitrógeno total para ser utilizado en el suelo como biofertilizante. Y se compara con las muestras analizadas en el laboratorio.

|  |  |
| --- | --- |
| **Clase** | **Nitrógeno Total** |
| Muy bajo | Menor de 0.05 |
| Bajo | 0.05 – 0.10 |
| Medio | 0.10 – 0.15 |
| Alto | 0.15 – 0.25 |
| Muy alto | Mayor de 0.25 |

**Cuadro 5**. Clasificación del contenido de nitrógeno total de las muestras analizadas de lodos activados de la planta tratadora de aguas residuales municipales de la Ciudad de Lerdo, Durango, México. UAAAN UL 2015.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Muestra** | **% Nitrógeno Total** | **Clase** |
| M.L.1 | 0.476 | Alto |
| M.L.2 | 0.616 | Muy alto |
| M.L.3 | 0.644 | Muy alto |
| M.L.4 | 0.756 | Muy alto |
| M.L.5 | 0.882 | Muy alto |
| M.L.6 | 0.084 | Bajo |
| M.L.7 | 0.98 | Muy alto |
| M.L.8 | 0.084 | Bajo |
| **Promedio** | **0.56525** | **Muy alto** |

**Cuadro 6**. Datos estadísticos del contenido de nitrógeno total de las muestras analizadas de lodos activados de la planta tratadora de aguas residuales municipales de la Ciudad de Lerdo, Durango, México. UAAAN UL 2015.

|  |  |
| --- | --- |
| DATOS ESTADÍSTICOS | |
| PROMEDIO | 0.57 |
| MEDIANA | 0.63 |
| MODA | 0.08 |
| DESVIACIÓN ESTANDAR | 0.33 |
| VARIANZA | 0.11 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN | 0.59 |

Losdatos estadísticos (Cuadro 2) en el cual se describe el promedio de la medida de tendencia central de las muestras analizadas resultando con un nivel elevado de contenido de nitrógeno; la mediana representa el valor de la variable de posición central en la relación de los resultados obtenidos; la moda es el número que se repite frecuentemente en la tabla; la desviación estándar y la varianza son medidas de dispersión para evaluar qué tan lejos están los puntos de datos individuales del promedio de un conjunto de datos, y el coeficiente de variación permite comparar la dispersión entre dos poblaciones distintas.

**Gráfica 1.** En esta gráfica se muestran los resultado de cada muestra del nitrógeno total en por ciento.

# **VI CONCLUSIONES**

De acuerdo con las condiciones y análisis químicos realizados durante el desarrollo de este trabajo y de la discusión e interpretación de resultados que de ellos se hace, se pueden generar las siguientes conclusiones:

1.- Efectivamente el lodo residual provenientes de la planta tratadora de agua residual ubicada en la Ciudad de Lerdo, Durango, México; pueden ser utilizados como biofertilizante para los cultivos.

2.- De acuerdo con la concentración de nitrógeno que tienen los lodos residuales, de éste se puede tener un aprovechamiento de la clase C, de acuerdo con la **NOM-004-SEMARNAT-2002.**

En términos generales, se concluye que los lodos residuales de la planta tratadora es una opción para usarlo como biofertilizante en los cultivos ya que proporciona una gran cantidad de nitrógeno para las plantas y al utilizarlo no contamina al ambiente; al contrario mejora el rendimiento en la producción y también le sirve como mejorador para el suelo.

# **VII LITERATURA CITADA**

Aznur-Jiménez, A. 2000. "Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas." Gestión Ambiental 23: 12-19.

Campos-Medina, E., N. García-Rojas, A. Velásquez-Rodríguez y M. García-Fabila 2009. "Análisis básico del reuso de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del parque nacional nevado de toluca." Quivera 11: 35-51.

Carbajal-Azcona, A. y M. González-Fernández 2012. "Propiedades y funciones biológicas del agua." CSIC: 33-45.

Clesceri-Leone, S., E. Greenberg-Arnold y D. Eaton-Andrew 1999. "Standard methods for the examination of water and wastewater." American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation: 1-20.

Colomer-Mendoza, A., A. Gallardo-Izquierdo, F. Robles-Martínez y Herrera-Prats 2012. "Opciones de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales." Ingeniería 14: 177-190.

CONAGUA 1981. "Análisis de agua-determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba." (En línea)(<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-028-SCFI-2001.pdf)(Consultado> 02/04/2015): 1-24.

CONAGUA 2003. "Identificación y descripcion de sistemas primarios para el tratamiento de aguas residuales." (en linea)(<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Sistemas_primarios.pdf)(consultado> 01/04/2015): 1-42.

Costa, F., C. García, A. Hernández y A. Polo 1991. "Utilización agrícola de los lodos de depuradora, compostaje y algunos aspectos de su incidencia en el manejo ambiente." CEBAS (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) 20: 1-412.

De la Cruz-González, R. 2013. "Control microbiológico de alimentos y del agua de uso hospitalario." Instituto Nacional de Salud: 1-43.

De la Rosa, V., M. Guadalupe, M. Pérez-López y M. A. Martínez-Prado 2011. "Producción de composta y vermicomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro." Revista internacional de contaminación ambiental 27: 263-270.

De Pablo, B. y M. Morangas 2013. "Normas microbiológicas de los alimentos " URTARRILLA: 4-50.

Del Real-Olvera, J. y J. Islas-Gutiérrez 2012. "Biodegradación anaerobia de las aguas generadas en el despulpado del café." Revista colombiana de biotecnología 12: 230-239.

Díaz-Pulido, A. P., N. Chingaté-Hernández, D. P. Moreno-Muñoz, W. R. Olaya-González, C. Perilla-Castro, F. Sánchez-Ojeda y K. Sánchez-González 2009. "Desarrollo sostenible y el agua como derecho en colombia." Revista Iberoamérica del Agua 11: 84-116.

Espinosa-Lloréns, M. C., Y. León-Hernández y X. Rodríguez-Petit 2013. "Problemática de la determinación de especies nitrogenadas (nitrogeno total y amoniacal) en aguas residuales." Revista CENIC. Ciencias Químicas 44: 1-12.

Esteller, M. V. 2002. "Vulnerabilidad de acuíferos frente al uso de aguas residuales y lodos en agricultura " Revista Latino-Americana de Hidrogeologia 2: 103-113.

FAO 2002. "Los fertilizantes y su uso." Asociación Internacional de la Industría de los Fertilizantes: 1-87.

FAO 2011. "Manual del biogás." (En línea)(<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf)(consultado> 02/04/2015): 1-120.

Galli, O. y F. Miguel 2007. "Recirculación y tratamiento de agua." Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (CENADAC): 1-60.

Gil, A. y A. Morón-Salim 2010. "Calidad microbiológica en frutas de conchas comestibles expendidas en mercados populares de los municipios Valencia y San Diego, estado Carabobo, Venezuela." Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología 30: 24-28.

González-Hernández, J. C. y J. Z. Junco-Horta 2008. "Tratamiento biológico de aguas residuales." Ingeniería Química: 176-179.

Guzmán-Soria, E., J. A. García-Salazar, S. Rebollar-Rebollar y J. Martínez-Hernández 2011. "Determinación del consumo de agua por los sectores urbanos e industriales en Guanajuato, México." Análisis Económico 26: 200-213.

Hilleboe, H. E. 1974. "Manual de tratamiento de aguas negras." Limusa: 103-113.

Holum 2011. "Fundamentos de química general, orgánica y bioquímica: para ciencias de la salud." Limusa: 1-865.

Huisman, L. y J. M. De azevedo-Netto 1988. "Sistema de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades." Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) 18: 1-384.

IMTA 2003. "Manual para el uso eficiente y racional del agua." 1-101.

INEGI 2009. "Panorama censal de los organismos operadores de agua en México." (En lÍnea )(<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/pdf/Mono_Orgs_operadores_agua.pdf)(Consultado> 21/03/2015): 1-34.

Limón-Macías, J. G. 2013. "Los lodos de las plantas de tratamientos de aguas residuales." Ingeniería Química: 1-45.

Lorenzo, Y. y M. C. Obaya 2006. "La digestión anaerobia y los reactores UASB." ICIDCA.Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar 60: 13-21.

Mahamud, M., A. Gutiérrez y H. Sastre 1996. "Biosólidos generados en la depuración de aguas." Ingeniería del Agua 3: 45-54.

Marañon-Malson, E., L. Castrillón-Peláez y P. González-Torre 2009. "Aplicaciones del compost obtenido a partir de la recogida selectiva de residuos sólidos organicos en asturias. Estudio de mercado y de posibles usos agroforestales." Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias (IUTA): 1-93.

Márquez, R. A. y P. E. Guevara 2004. "Descripción y evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola." Revista Ingeniería 11: 92-101.

Martín, S., A. Hurtado, P. Vázquez, I. Alonso, P. Moreno, I. Barbier, M. E. Larena, M. J. Callejo, D. Novo, A. Urdiroz, J. Quilez, L. Polvillo, E. Martínez, M. Oyarzun, E. Diez y D. Delagdo 2008. "Criterios Microbiológicos." Asociación Española de Masas Congeladas: 1-51.

Mass-Torres, K. R. y Y. Medrano-Manga 2012. "Tratamiento de aguas residuales a partir de digestión anaerobia." Ingetiator (revista virtual de los programas de ingeniería) 4: 118-135.

Méndez, L., V. Miyashiro, R. Rojas, M. Cotrado y N. Carrasco 2004. "Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio." Revista de Instituto de Investigación FIGMMG 7: 74-83.

Mercado-Guzmán, A. 2013. "Sistemas de tratamiento de aguas residuales y reuso." Eje Calidad de Agua y Saneamiento: 1-41.

Moreno, D. R. 1978. "Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrimentos asimilables." Instituto Nacional de Investigaciones Agricolas-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos: 1-180.

Najib-Kobaissi, A., A. Ahmad-Kanso y H. Jaafar-Kanbar 2014. "Translocation of heavy metals in zea mays L. Treated with wastewater and consequences on morphophysiological aspects." Revista de Investigación. Contaminación Ambiental 30: 297-305.

Oropeza-García, N. 2006. "Lodos residuales: estabilización y manejo." Caos conciencia 1: 51-58.

Parada-Puig, G. 2012. "El agua virtual: conceptos e implicaciones." Orinoquia 16: 69-76.

Rodríguez, J. y T. Mañunga 2012. "Effect of organic matter fractions on the performance of a pulp and paper mill wastewater treatment system." Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica 15: 447-455.

Rojas-Remis, R. y L. G. Mendoza-Espinosa 2011. "Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima." Revista de Investigación 343-349.

Romero-Rojas, J. A. 2004. "Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño." Escuela Colombiana de Ingeniería: 1-1248.

Ruiz-Hernando, M., J. Labanda-Angulo y J. Llorens-Llacunas 2014. "Efectos de los tratamientos ultrasonido, térmico a baja temperatura y alcalino sobre la deshidratación y biodegradabilidad de lodos secundarios de depuradoras." Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) 15: 1-22.

Saeger, V. W. y E. S. Tucker 1976. "Biodegradation of phthalic acid esters in river water and activated sludge." Applied and enviromental microbiology 31: 29-34.

Salcedo-Pérez, E., A. Vázquez-Alarcón, L. Krishnamurthy, F. Zamora-Natera, E. Hernández-Álvarez y R. Rodríguez-Macias 2007. "Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México." Interciencia 32: 115-120.

Sánchez-Mares, F. 2005. "Software para diseñar sistemas de lodos activados y lagunas aireadas." Conciencia Tecnológica 27: 1-12.

Seoánez-Calvo, M. 2005. "Aguas residuales urbanas: tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento." Revista forestal española 32: 30-35.

Serna-Rivera, L. F. y S. M. Lopez-Garcia 2010. "Actualización del manual del laboratorio de análisis de alimentos del programa de tecnología química de la universidad tecnológica de pereira." Programa de Tecnología Química: 1-177.

Silva, J., P. Torres y C. Madera 2008. "Reuso de aguas residuales domesticas en agricultura." Agronomía Colombiana 26: 347-359.

Ubaque, G., C. Augusto, G. Vaca, M. Camila y V. Bohórquez 2013. "Encapsulamiento de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria automotriz en matrices de arcilla." Tecnura 17: 26--36.

Valdez-Pérez, M. A., A. C. Ramos-Valdivia, M. O. Franco-Hernández y L. B. Flores-Cotera 2008. "Biosólidos estabilizados y vermicomposta de biosólido como fertilizante organico en cultivos de frijol." Centro de investigación y estudios avanzados del instituto politécnico nacional: 1-6.

Varila-Quiroga, J. A. y F. E. Díaz-López 2008. "Sewage treatment by activated sludge at laboratory scale." Journal of technology 7: 21-28.

Vélez-Zuluaga, J. A. 2007. "Los biosólidos: ¿una alternativa o un problema?" Producción más Limpia 2: 1-15.

Vendrell, M. C., M. Torres, P. Gill y L. A. Rodríguez 1998. "Estudio de microorganismos patógenos en la fuente termal o tinteiro en ourense." Ciencia y Tecnología Alimentaria 2: 92-95.

Winkler, M. 1986. "Tratamiento biológico de aguas residuales." Limusa: 15-44.

Zagal, E. y A. Sadzawka 2007. "Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos." Comisión de Normalización y Acreditación, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo: 1-103.

Zamora, F., N. Rodriguez, D. Torres y H. Yendis 2008. "Efectos del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de coro, estado Falcón." Bioagro 20: 193-199.