



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**

## **TESIS**

**“TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES  
GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DORIS MENDOZA UTILIZANDO  
DIGESTOR ANAEROBIO”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**CESAR ALONSO LUQUE PATIÑO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**LIMA - PERÚ**

**2017**

## DEDICATORIA

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi madre Julia Patiño, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo te lo debo a ti.

Mi padre Cesar Luque, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

Mi hermana, Julyce Luque, por su constante apoyo y guiarme en mi carrera profesional.

Todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

GRACIAS POR TODO.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes éntrelos que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Gracias Padre y Madre.

## RESUMEN

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doris Mendoza permite tratar 158 m<sup>3</sup> de aguas residuales por día. El líquido final se verterá al río Mantaro con 150 de DBO, el lodo residual es sin duda el que mayor problema para su tratamiento y disposición causa, ya que esta actividad simplemente remueve los contaminantes de una fase a otra en donde se concentran, los patógenos que son removidos de las aguas residuales, se concentran en su mayoría en los lodos residuales, por lo que el lodo debe ser estabilizado apropiadamente hasta lograr una reducción razonable en la densidad de patógenos hasta considerarlo como un producto con un riesgo mínimo para su aplicación en el suelo, sin embargo, antes de aplicarse al suelo, es necesario caracterizarlo adecuadamente para conocer su composición y evitar riesgos posteriores causados por aquellos constituyentes indeseables.

En estos momentos, la gestión adecuada de los biosólidos se complica. La estabilización del lodo se lleva a cabo para reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables, e inhibir, reducir o eliminar su potencial de putrefacción. Para ello encontramos el tratamiento de microorganismos aplicando un digestor anaerobio, el cual es un proceso, que bajo condiciones de aireación y humedad controladas, transforma los lodos en un producto estable e higienizado, utilizable como abono, sustrato o enmienda de suelos.

**El autor**

## **ABSTRACT**

The Doris Mendoza Wastewater Treatment Plant allows to treat 158 m<sup>3</sup> of wastewater per day. The final liquid will be poured into the Mantaro river with 150 BOD, the residual sludge is undoubtedly the most problematic for its treatment and disposal, since this activity simply removes contaminants from one phase to another where they are concentrated, pathogens Which are removed from the wastewater, are mostly concentrated in the residual sludge, so that the sludge must be properly stabilized until a reasonable reduction in the density of pathogens is reached until it is considered as a product with a minimum risk for its application in The soil, however, before being applied to the soil, it is necessary to characterize it adequately to know its composition and avoid subsequent risks caused by those undesirable constituents.

At present, proper management of biosolids is complicated. Sludge stabilization is carried out to reduce the presence of pathogens, eliminate unpleasant odors, and inhibit, reduce or eliminate their potential for decay. For this purpose we find the treatment of microorganisms by applying an anaerobic digester, which is a process, which under controlled conditions of aeration and humidity, transform the sludge into a stable and sanitized product, usable as fertilizer, substrate or soil amendment.

The author

# INTRODUCCIÓN

La planta de tratamiento de Aguas Residuales “Doris Mendoza” produce anualmente considerables cantidades de biosólidos generando graves problemas ambientales debido a que posee grandes cantidades de materia orgánica, provocando de este modo la atracción de vectores y la emisión de olores desagradables. Además, la inadecuada disposición y manipulación del lodo puede causar enfermedades infecciosas ya que debido a su precedente posee un alto contenido de microorganismos patógenos.

En este trabajo de investigación de tratamiento de microorganismos patógenos en los biosólidos generados en la Planta de Tratamiento de aguas residuales “Doris Mendoza” utilizando digestor anaerobio, se quiere que los microorganismos se degraden mediante la respiración endógena de este modo lograr la disminución de estas o la completa eliminación de estos microorganismos patógenos tan dañinos, perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

El presente documento está organizado en su contenido general de la siguiente manera:

Aspectos introductorios: Carátula, Dedicatoria, Agradecimiento, Índice, Abreviaturas e Introducción.

Contenido temático organizado de la siguiente manera:

- Capítulo I: Marco Contextual.
- Capítulo II: Marco Teórico.
- Capítulo III: Marco Metodológico.
- Capítulo IV: Organización, presentación y análisis de resultados.

Aspectos complementarios: Conclusiones, Sugerencias, Referencias bibliográficas y Anexos.

Los resultados de este trabajo de investigación probaran que el tratamiento de biosólidos mediante digestión aerobia es una solución real para la eliminación de los de microorganismos patógenos presentes en los biosólidos. Para luego poder darle una mejor disposición de estos como abono orgánico clase B, apto para el uso agrícola.

**El autor**

# ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN	v

## CAPÍTULO I

### PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.	Descripción de la realidad problemática	01
1.1.1.	Caracterización del problema	01
1.1.2.	Definición del problema	02
1.2.	Formulación del problema	02
1.2.1.	Problema general	02
1.2.2.	Problemas específicos	02
1.3.	Objetivo de la investigación	03
1.3.1.	Objetivo general	03
1.3.2.	Objetivos específicos	03
1.4.	Justificación de la investigación	03
1.4.1.	Justificación Teórica	03
1.4.2.	Justificación Metodológica	04
1.4.3.	Justificación Práctica	04
1.5.	Importancia de la investigación	04
1.6.	Limitaciones de la Investigación	04

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.	Marco referencial	05
2.1.1.	Antecedentes de la Investigación	05
2.1.2.	Referencias históricas	06

2.2.	Marco legal	06
2.3.	Marco conceptual	07
2.3.1.	Digestor anaerobio	07
2.3.2.	Lodos residuales	07
2.3.3.	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	08
2.3.4.	Microorganismos	08
2.3.5.	Patógeno	08
2.4.	Marco teórico	08
2.4.1.	Aguas Residuales	08
2.4.2.	Lodos Residuales	10
2.4.3.	Microorganismos	15
2.4.4.	Planta de Tratamiento de Lodos Activados (PTAR)	25
2.4.5.	Procedimiento de análisis del agua	29

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo y nivel de la Investigación	51
3.1.1.	Tipo de Investigación	51
3.1.2.	Nivel de Investigación	51
3.2.	Método de la Investigación	51
3.3.	Diseño de investigación	51
3.4.	Hipótesis de la investigación	51
3.4.1.	Hipótesis general	51
3.4.2.	Hipótesis específicas	52
3.5.	Variables de la Investigación	52
3.5.1.	Variable independiente	52
3.5.2.	Variable dependiente	52
3.6.	Cobertura del estudio de la investigación	53
3.6.1.	Universo	53
3.6.2.	Población	53
3.6.3.	Muestra	53
3.6.4.	Muestreo	53

3.7.	Técnicas, instrumentos y fuentes de recolección de datos	56
3.7.1.	Técnicas de la Investigación	56
3.7.2.	Instrumentos de la Investigación	57
3.8.	Procesamiento Estadístico de la Información	57

## **CAPÍTULO IV**

### **ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

4.1.	Presentación de Resultados	58
4.1.1.	Resultados previas al tratamiento	59
4.1.2.	Resultados durante y posterior al tratamiento	61
4.2.	Contratación de Hipótesis	69
4.3.	Discusión de los resultados	69
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	72
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	ANEXOS	74
	Anexo N° 1: Fotografías	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1:	Concentraciones fisicoquímicas realizadas a los biosólidos	59
Tabla N° 2:	Características microbiológicas de los biosólidos	60
Tabla N° 3:	Parámetros fisicoquímicos durante el tratamiento	61
Tabla N° 4:	Parámetros microbiológicos obtenidos	63
Tabla N° 5:	Resultados de la aplicación del proceso de respiración endógena (Ecuación de MONOD)	65
Tabla N° 6:	Determinación del coeficiente $K_s$ y $K$ .	65
Tabla N° 7:	Determinación de coeficiente $Y$ y $K_d$	66
Tabla N° 8:	Tasa efectiva de decaimiento	68

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1:	Fases del crecimiento bacteriano	25
Gráfico N° 2:	Concentraciones fisicoquímicas iniciales	59
Gráfico N° 3:	Concentración microbiológicas iniciales	60
Gráfico N° 4:	Concentración fisicoquímica durante el tratamiento	61
Gráfico N° 5:	Concentración de pH en los biosólidos antes y durante de la digestión anaerobia.	62
Gráfico N° 6:	Concentración de la conductividad biosólidos antes y durante de la digestión aerobia.	62
Gráfico N° 7:	Concentración de coliformes totales, fecales y salmonella en los biosólidos	63
Gráfico N° 8:	Concentración de salmonella en los días de tratamiento anaerobio	64
Gráfico N° 9:	Porcentaje de remoción	64
Gráfico N° 10:	Representación de $(K_0/S_0 - S)$ respecto a $1/S$	66
Gráfica N° 11:	Tasa efectiva de crecimiento	68
Gráfico N° 12:	Constante de Decaimiento	69

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO CONTEXTUAL**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.**

#### **1.1.1. Caracterización del problema.**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doris Mendoza permite tratar 158 m<sup>3</sup> de aguas residuales por día. El líquido final se verterá al río Mantaro con 150 de DBO la PTAR constituye la primera en la región y la tercera a nivel nacional de gestión y administración pública debido a que la mayoría de estos proyectos son realizados por empresas mineras.

El lodo residual, subproducto formado en el tratamiento de las aguas residuales, es sin duda el que mayores problemas para su tratamiento y disposición causa. El tratamiento del agua no puede considerarse sustentable si la fracción sólida que se genera no es tratada y dispuesta adecuadamente. Ya que esta actividad simplemente remueve los contaminantes de una fase a otra en donde se concentran, los patógenos que son removidos de las aguas residuales, se concentran en su mayoría en los lodos residuales, por lo que el lodo debe ser estabilizado apropiadamente hasta lograr una reducción razonable en la densidad de patógenos hasta considerarlo como un producto con un riesgo mínimo para su aplicación en el suelo, sin embargo, antes de aplicarse al suelo, es necesario caracterizarlo adecuadamente para conocer su composición y evitar riesgos posteriores causados por aquellos constituyentes indeseables.

### **1.1.2. Definición del problema.**

En la actualidad, la gestión adecuada de los biosólidos se complica, entre otras cosas, por la falta de un marco normativo; el reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamientos de aguas servidas aún no ha sido promulgado. La estabilización del lodo se lleva a cabo para reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables, e inhibir, reducir o eliminar su potencial de putrefacción. Para ello encontramos el tratamiento de microorganismos aplicando un digestor anaerobio, el cual es un proceso, que bajo condiciones de aireación y humedad controladas, transforma los lodos en un producto estable e higienizado, utilizable como abono, sustrato o enmienda de suelos.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Cuál es el nivel de eficiencia de un digestor anaerobio para el tratamiento de microorganismos patógenos presentes en los lodos residuales generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doris Mendoza?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas, de los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Doris Mendoza?
- ¿Cuál son los niveles de microorganismos patógenos existentes en los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Doris Mendoza?

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Determinar el nivel de eficiencia del digestor anaerobio en el tratamiento de microorganismos patógenos presentes en los lodos residuales generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doris Mendoza.

#### **1.3.2. Objetivo Específico**

- Describir cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas, de los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Doris Mendoza.
- Determinar los niveles de microorganismos patógenos existentes en los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Doris Mendoza.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **1.4.1. Justificación Teórica.**

Con el crecimiento de la población mundial la demanda de agua para el consumo humano y la contaminación de las fuentes de agua, hacen necesario aplicar métodos de tratamiento a las aguas residuales para evitar la contaminación de los cuerpos de agua a los cuales se vierten estas agua residuales, para un mejor cuidado del ambiente y del recurso hídrico, esto a su vez da como resultado la generación de los lodos por parte de las Plantas de tratamiento de Aguas Residuales.

Es por esta razón que se justifica buscar un tratamiento adecuado que permitan la utilización racional de dichos residuos. Una buena

gestión de los lodos es fundamental para el funcionamiento de cualquier instalación de depuración de aguas, para ello la generación de conocimientos es vital para desarrollar la tecnología.

#### **1.4.2. Justificación metodológica.**

Se validará y analizará el procedimiento para estabilizar, recuperar y reutilizar el lodo de forma efectiva.

#### **1.4.3. Justificación Práctica.**

El trabajo de investigación resolverá un problema serio que genera los lodos cuando están expuestos al medio ambiente, estos al ser estabilizados tendrán un uso secundario como abono orgánico utilizado en la agricultura.

### **1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.**

La importancia principalmente es reducir los riesgos por exposición a los biosólidos en la planta de tratamiento de aguas residuales y la población cercana, ya que los resultados significa una alternativa de solución real al tratamiento de los biosólidos generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales, dado que en pocos años el problema de la disposición de los biosólidos y su estabilización será un tema no solo concerniente a las empresas sanitarias, sino más bien, un tema de carácter público, el tratamiento o aprovechamiento ambientalmente sustentable de estos residuos tendrán un mercado creciente

### **1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.**

Las limitaciones están relacionadas al tiempo ya que la planta de tratamiento extrae los biosólidos periódicamente por lo que es necesaria la coordinación para poder obtener los lodos residuales con los que se trabajará el trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. MARCO REFERENCIAL.**

##### **2.1.1. Antecedentes de la investigación.**

Moeller y Toscano, (2002), realizo estudios sobre “Reducción de patógenos en lodos primarios digeridos aeróbicamente”. Alcanzando a las siguientes conclusiones:

El estudio sobre el efecto que tiene el proceso de digestión aerobia sobre los microorganismos presentes en los lodos primarios. Se diseñó un experimento utilizando lodos residuales procedentes de la sedimentación primaria de una planta de tratamiento como sustrato y se utilizaron modelos de digestor aerobios.

Los resultados de la investigación fueron analizados aplicando un análisis de variancia completamente aleatorio y con bloques, a partir del cual se concluyó que no existen diferencias significativas en el comportamiento de éstos, y a mayor tiempo permanencia de en el digestor.

Gilberto Lares Mena. “Realizó estudios sobre la cuantificación de Salmonella SPP durante el proceso de secado solar de lodos generados en plantas tratadoras de aguas residuales”.

Debido a que la PTAR por lodos activados genera cantidades considerables de lodos, Juana Gilberto Lares Mena planteo una alternativa económica para el tratamiento térmico de los lodos, aplicando secadores solares para poder eliminar microorganismos presentes como la salmonella spp.

El secador solar resulto ser efectivo para la remoción de agua en el lodo y para la eliminación de altos contenidos de salmonella spp, el proceso solar permitió remover el 95% de agua en un lote procesado y el 99.9999% de las bacterias de salmonella spp de las  $1.57 \times 10^{13}$  originales, dada las características de salmonella de ser resistentes en un amplio rango de temperatura ,humedad y a bajo contenido de nutrientes, se aseguran que con el secador solar es posible aniquilar un amplio espectro de microorganismo patógenos.

### **2.1.2. Referencias históricas.**

La planta de tratamiento de aguas residuales “Doris Mendoza” fue inaugurada el 23 de agosto por el presidente Ollanta Humala, con una inversión de 44 millones de soles, la planta procesa las aguas servidas de la ciudad de Concepción, utilizando tecnología moderna con la finalidad de obtener agua destilada para uso forestal. Esta planta es la primera en la región y tercera a nivel nacional.

## **2.2. MARCO LEGAL.**

- Ley de recursos hídricos N° 29338, Título V: Protección de Agua, Artículo N° Vertimiento de Agua Residual.

La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

- Norma OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. 5.9.2 Tratamiento de Lodos.

5.9.2.1 La digestión anaerobia es un proceso de tratamiento de lodos que tiene por objeto la estabilización, reducción del volumen e inactivación de organismos patógenos de los lodos. El lodo ya estabilizado puede ser procesado sin problemas de malos olores. Se evaluará cuidadosamente la aplicación de este proceso cuando la temperatura sea menor de 15°C o cuando exista presencia de tóxicos o inhibidores biológicos.

## **2.3. MARCO CONCEPTUAL.**

### **2.3.1. Digestor anaerobio:**

Procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principales bacterias y protozoos que, en ausencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándolas en productos finales inocuos y materia celular.

### **2.3.2. Lodos residuales:**

Principal constituyente del agua residual en las plantas de tratamiento. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales generalmente suele ser un líquido o semisólido con gran contenido en sólidos entre el 0.25 y el 12% en peso. El lodo, es por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. Su tratamiento y evacuación es un problema.

### **2.3.3. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales:**

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua.

### **2.3.4. Microorganismos:**

Término que se aplica a los innumerables organismos animales y vegetales minúsculos que, por regla general, sólo son visibles con el auxilio de un microscopio.

### **2.3.5. Patógeno:**

Agente que genera una enfermedad.

## **2.4. MARCO TEÓRICO.**

### **2.4.1. Aguas Residuales.**

Mara, 1999. Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias.

Las aguas residuales contienen materia orgánica como inorgánica, y los microorganismos desempeñan un papel especialmente importante eliminando los compuestos orgánicos. Sin embargo, el tratamiento idóneo de las aguas residuales elimina los microorganismos patógenos, evitando que estos lleguen a los ríos o a otros abastecimientos de agua.

Así, de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- **Aguas domésticas.**

Son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

- **Aguas industriales.**

Son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.

- **Infiltración y caudal adicionales.**

Las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

- **Pluviales.**

Son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.

## **2.4.2. Lodos residuales.**

(Barañaño, 2004). Los lodos residuales (LR) son una mezcla de aguas negras y sólidos sedimentables. Por su origen reciben el nombre de primarios o secundarios. El contenido de sólidos suspendidos totales (SST) en los LR está en función de distintas variables como por ejemplo: los periodos de almacenamiento, los SST del líquido crudo, la carga orgánica soluble y la edad del lodo, así como del empleo de sales para favorecer su precipitación y de la cantidad de fósforo en los efluentes. Además de estas variables se debe considerar si los lodos son de origen industrial, doméstico o combinados (industrial, comercial y doméstico). La composición estará también en función del país que lo genera, por su grado de desarrollo industrial e idiosincrasia. Así como las aguas residuales, también los lodos deben someterse, en general, a algún tratamiento capaz de modificar sus características para que pueda disponerse de ellos sin poner en peligro la salud o causar molestias.

(Evanylo, 2006). Los lodos residuales en la actualidad tienen un concepto muy amplio por lo que se tomó como referencia el concepto citado por el mismo que nos dice “los biosólidos son materiales sólidos o semisólidos del tratamiento de aguas residuales domésticas que han sido lo suficiente procesadas para permitir la aplicación segura de esos materiales al suelo”.

### **2.4.2.1. Generación de biosólidos**

Es un subproducto del proceso de tratamiento de las aguas residuales. Se produce tanto en los procesos de tratamientos primarios como secundarios. Los lodos

biológicos provienen del tratamiento secundario de las aguas residuales domiciliarias y son principalmente biomasa en exceso producida en los procesos biológicos y material mineral en suspensión

(Barañaño y Tapia, 2004). Si bien, la cantidad de biosólidos generados depende de diversos factores, incluyendo el volumen de agua tratada y la carga contaminante que posea, además del tratamiento por el cual el agua es depurada.

#### **2.4.2.2. Clasificación de los biosólidos.**

(Robartaigh, 2006). Los Biosólidos se clasifican en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos.

##### **A) Lodos residuales de clase A.**

Suelen llamarse de calidad excepcional. Presentan una densidad de coliformes fecales inferior a 1000 NMP por gramo de sólidos totales o la densidad de Salmonella sp. Es inferior a 3 NMP por 4 gramos de sólidos totales.

La densidad de virus entéricos debe ser menor o igual a 1 UFC (unidades formadoras de colonias) por 4 gramos de sólidos totales. Un biosólidos con estos niveles que además tenga tratamiento para reducir vectores, no tendrá restricciones en su aplicación agraria y sólo será necesario solicitar permisos para garantizar que estas normas hayan sido cumplidas. (Patrick Robartaigh)

## **B) Lodos residuales clase B.**

Con una densidad de coliformes fecales inferior a  $2 \times 10^3$  NMP por gramo de sólidos totales o  $2 \times 10^3$  UFC por gramo de sólidos totales. Este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento y será el que mayores restricciones presente para uso agrícola. Además, la citada regla que rige el uso y eliminación de biosólidos establece límites cuantitativos relativos al contenido de metales presentes en ellos, normas de reducción de agentes patógenos, restricciones a los sitios de aplicación, condicionantes y supervisión de recolección de cultivos tratados, mantenimiento de registros y requerimientos de presentación de informes sobre biosólidos aplicados a la tierra, así como disposiciones similares para los que se desechan en rellenos sanitarios. (Juan Alberto Vélez Zuluaga).

## **C) Lodos residuales clase C.**

Estos biosólidos poseen tratamiento por los mismo pueden ser utilizados para usos forestales, para poder mejorar el rendimiento de los suelos, además de darles uso agrícola como abono.

## **D) Disposición final de los lodos residuales.**

Es la disposición, confinamiento o uso sustentable de los lodos residuales son las únicas formas de manejar este subproducto de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. El confinamiento o destrucción por

calcinación de estos biosólidos implica un alto costo y en el aspecto ambiental no está exento de las desventajas que implica una calcinación. El uso sustentable de estos biosólidos en suelos y en la agricultura es una forma de aprovechar los mismos, pero deberán ejercerse los controles necesarios para cumplir con la normatividad que regula el uso de los biosólidos en reforestación y en agricultura. (Areta, 2005).

#### **E) Fertilizante y mejorador de suelos:**

Los biosólidos tienen un alto contenido de materia orgánica Nitrógeno, Fósforo y sales minerales que lo hacen muy adecuado para su uso como fertilizante y mejorador de suelo. Una práctica habitual en los países desarrollados es la aplicación de los lodos residuales a suelos agrícolas. La dosis de aplicación se establece en función del requerimiento de nitrógeno y fósforo del cultivo. Cuando los biosólidos son aplicados al suelo natural se observa. (Jiménez C.B., Muñoz, 1997).

- Mejora la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos.
- Proporciona nutrientes elementales a las plantas.
- Mejora estructura y porosidad del suelo.
- Proporciona materia orgánica al suelo.
- Mejora la permeabilidad del suelo, reteniendo en mayor grado la humedad.
- Reduce la Erosión del Suelo.

Otro criterio adicional para la aplicación de los biosólidos es la Tasa Agronómica. Esta indica los nutrientes que deben suministrarse a un cultivo específico, y al relacionar el contenido de nitrógeno en el biosólidos, se estima la cantidad por hectárea que debe integrarse al suelo. El valor de la Tasa Agronómica es un indicador para la aplicación de la cantidad de nitrógeno adecuado o requerido; el exceso de este nutriente no es asimilado por las plantas y el nitrógeno residual o no asimilado por la planta, resulta un problema de tipo ambiental y de salud, por la mencionada posibilidad de contaminación de los acuíferos con nitrato. (Areta, 2005).

La tasa agronómica se calcula con el nitrógeno disponible para la planta (NDP), y el factor de mineralización de los biosólidos (FM). El factor de mineralización para los lodos activados digeridos aeróbicamente tiene un valor de 0.3 y para los lodos digeridos anaeróbicamente este valor es de 0.2. Otros parámetros necesarios para corregir la disponibilidad del nitrógeno es el factor de volatilización (FV). Esto se debe a que parte del amonio se convierte en amoníaco el cual es volátil y ya no es disponible para la planta. Este factor de volatilización depende de la forma en que es aplicado el fertilizante. (Sánchez, 2005)

FV = 0.5 Si el biosólidos se aplica superficialmente.

FV = 0.75 Si es aplicado superficialmente e incorporado al suelo.

FV = 1.0 Si es inyectado bajo la superficie del suelo.

### **2.4.3. Microorganismos.**

(Trinidad, 2006) Todas las criaturas vivientes están formadas por células. Las células son unas muy pequeñas unidades básicas de la vida.

Son las estructuras más pequeñas capaces de realizar los procesos básicos de la vida, tales como absorción de nutrientes y expulsión de desechos. Las células solo se pueden observar al microscopio.

Los microorganismos son organismos normalmente formados por una sola célula. Debido a esto, a veces se les denomina “organismos unicelulares”. Son tan pequeños que los humanos no los podemos visualizar. Solo los podemos ver a través de un microscopio, mediante el cual las células son agrandadas enormemente.

#### **2.4.3.1. Microbiología del agua.**

(Ronald y Bartha, 2002). La microbiología es una rama de la biología que estudia seres vivientes de tamaño microscópico que existen como células aisladas o asociadas y también incluye el estudio de virus (microscópicos no celulares). En general, los microorganismos a diferencia de los organismos, son capaces de llevar a cabo procesos de crecimiento, generación de energía y reproducción, independientemente de otras células sean del mismo tipo o diferentes.

Las células estudiadas en microbiología pueden pertenecer a dos grandes grupos, eucariotas y procariotas. Las eucariotas constituyen la unidad estructural de protozoarios, hongos y algas cuyo tamaño las incluye en esta especialidad. Son organismos unicelulares o multicelulares que poseen en su interior estructuras limitadas por membranas llamadas organeras (núcleo, mitocondrias y cloroplastos presentes sólo en células capaces de realizar fotosíntesis).

#### **2.4.3.2. Microbiología en aguas residuales**

La contaminación tiene lugar cuando compuestos o microorganismos indeseables penetran en el ambiente acuático y cambian sus propiedades y con ellas se pierde el equilibrio produciéndose una variación en la distribución y composición de la comunidad. Los microorganismos en el agua pueden afectar la salud de personas, animales, plantas y otros organismos.

Los microorganismos pueden contribuir a la contaminación de diversas maneras:

- Produciendo enfermedades.
- Creando una biomasa estéticamente desagradable.
- Generando metabolitos tóxicos.

Características de los microorganismos: Requieren de una fuente de energía para crecer, vivir y desarrollarse. Esta fuente de energía puede ser la energía solar, la energía producida en una reacción química con

sustancias inorgánicas, o la energía que proporcionan algunas moléculas como: celulosa, grasas, azúcares, carbohidratos, proteínas, vitaminas, etc. Sin energía la vida no puede existir y si los microorganismos no disponen de ella, mueren o se conservan inactivos en estado latente.

Requieren de nitrógeno, y pueden adquirirlo del nitrógeno atmosférico, o nitrógeno en alguna forma química inorgánica como: amoníaco, nitritos, nitratos, o también la fuente puede ser el nitrógeno orgánico de proteínas o ácidos nucleicos.

Una fuente de carbono, que puede ser suministrado por el bióxido de carbono, el metano o por cadenas orgánicas de mayor complejidad que tienen en su estructura átomos de carbono, como por ejemplo los carbohidratos.

También requieren de algunos nutrientes como: calcio, sodio, potasio, fósforo, magnesio y azufre.

Requieren de agua y no pueden sobrevivir sin ella, sin embargo algunos microorganismos como los que se reproducen por esporas, pueden estar en estado latente, inactivos durante largos periodos, para nuevamente regresar a su actividad cuando las condiciones les son favorables.

Algunos minerales son esenciales para ciertos tipos de bacterias. Hierro, zinc, cobalto, y otros metales en cantidades traza son necesarios para los microorganismos.

### **2.4.3.3. Microorganismos patógenos.**

(Moeller, 1992). Al igual de las aguas residuales, los biosólidos contienen bacterias, virus, protozoarios, parásitos y otros microorganismos, algunos de ellos son benéficos mientras que otros son parásitos y otros microorganismos, algunos de ellos son benéficos mientras que otros son patógenos. Una vez que las aguas residuales se han sometido a un proceso de tratamiento, el efluente final estará prácticamente libre de patógenos, sin embargo durante la sedimentación primaria y secundaria los microorganismos patógenos estarán concentrados en los lodos.

Existen tres tipos de microorganismos contenidos en los lodos que representan una amenaza para la salud pública estos son las bacterias, los parásitos y los virus. Salmonella es el grupo predominante en los lodos, y numerosas bacterias patógenas están presentes. Salmonella puede inactivarse por medio de incineración, y procesos como la digestión (aerobia y anaerobia) no conseguirá eliminarlo, pero si reducirlo considerablemente el riesgo de alguna infección. Los parásitos presentes en los lodos incluyen de cisticercos, nematos y especies de áscaris, un solo embrión de cualquiera de estas especies es suficiente para causar una infección. Al igual que las bacterias la digestión solo eliminara el número de parásitos. Dentro de los virus podemos encontrar los causantes de la polio y la hepatitis así como rotavirus causantes de problemas gastrointestinales. Para inactivarlos se puede seguir la misma ruta de inactivación para las bacterias. (Moeller, 1992).

#### **2.4.3.4. Organismos coliformes.**

El grupo de organismos coliformes es el más ampliamente utilizado en la microbiología de los alimentos como indicador de la contaminación fecal en algunos casos, o de prácticas higiénicas en otros, así como el objetivo primario, dentro del control sanitario del agua, alimentos y productos. Por la variedad en especies del grupo coliforme, básicamente se refiere a la identificación o recuento de "Escherichiacoli" la cual habita normalmente en el intestino (Lehninger, 2005).

#### **2.4.3.5. Coliformes fecales.**

Los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama Escherichiacoli se transmiten por medio de los excrementos. La Escherichia es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del hombre y en el de otros animales. Hay diversos tipos de Escherichia; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden incluso ocasionar la muerte. (Moeller, 1992).

#### **2.4.3.6. Escherichia Coli.**

Formas patógenas de Escherichia y de otras bacterias (que por tener forma similar se denominan genéricamente coliformes fecales) se transmiten, entre otras vías, a través de las excretas y comúnmente por la ingestión o el contacto con agua contaminada. La Escherichia no sobrevive mucho tiempo en agua de mar,

pero otros coliformes fecales sí, por lo que suelen reportarse en conjunto y ambos conforman un indicador de la contaminación bacteriológica de las playas (Moeller, 1992).

#### **2.4.3.7. Salmonella.**

Salmonella pertenece a la Familia Enterobacteriaceae, al Género Salmonella. Y Arizona por la homología de su DNA se le considera una sola; la nomenclatura y clasificación no está establecida definitivamente. Bacilo GRAM (-) aerobio y anaerobio facultativo.

Salmonella spp. Pertenece a la familia Enterobacteriaceae, es uno de los principales microorganismos implicados en las enfermedades transmitidas por alimentos. La infección conocida como salmonelosis se puede manifestar como dos procesos patológicos diferentes, la fiebre tifoidea o la gastroenteritis. (Juan Gilberto, 2006).

#### **2.4.3.8. Reproducción de los microorganismos.**

Una vez que los microorganismos se han aclimatado y disponen de todos los medios que se requieren para su crecimiento, estos consumen la materia orgánica que se encuentra presente en las aguas residuales o los biosólidos.

Cuanto mayor sea el número de microorganismos, mayor es la velocidad a la cual es utilizado el alimento o sustrato. Para óptimos resultados, debe tenerse un

control en la velocidad de crecimiento y reproducción de las bacterias, para lo cual es necesario estudiar la cinética de crecimiento biológico. (Benintende, Silvia y Sánchez, Cecilia).

#### **2.4.3.9. Crecimiento Bacteriano.**

En un sistema biológico se define al crecimiento como el aumento ordenado de las estructuras y los constituyentes celulares de un organismo. Según ello, el aumento de la masa celular producido por acumulación de productos de reserva (glucógeno, poli $\beta$ -hidroxibutirato) no constituyen crecimiento.

Se puede considerar como crecimiento al incremento de células individuales por un lado, y por otro lado se puede considerar al crecimiento del número de células (proliferación de la población).

En lo que se refiere al crecimiento de células individuales, este consiste en el aumento del tamaño y peso de las células que precede a la división celular. Esta división trae aparejada un aumento en el número de células (proliferación de la población).

Las bacterias se dividen por fisión binaria, a través de la cual una célula madre al alcanzar un determinado volumen se divide dando dos células hijas. El proceso de fisión binaria consiste en la auto duplicación del material hereditario seguido de la repartición en las dos células hijas, las que se separan por estrangulamiento de la membrana celular y formación de la pared celular.

#### **2.4.3.10. Curva De Crecimiento**

Las poblaciones microbianas raramente mantienen un crecimiento exponencial prolongado. Si ello ocurriera en poco tiempo la tierra estaría tapada de una masa microbiana mayor que la de la tierra misma.

El crecimiento está normalmente limitado por el agotamiento de nutrientes o por la acumulación de productos del mismo metabolismo microbiano, que les son tóxicos a la población. La consecuencia es que el crecimiento al cabo de un cierto tiempo llega a disminuir hasta detenerse.

#### **2.4.3.11. Fases del crecimiento bacteriano.**

##### **1°. Fase de Latencia.**

(Benintende, y Sánchez, 2008) Cuando se inocula una población microbiana en un medio fresco, por lo general el crecimiento no comienza inmediatamente sino sólo tras un periodo de tiempo que constituye la fase de latencia, la cual puede ser breve o larga dependiendo de la procedencia del cultivo y de las condiciones de crecimiento.

La fase de latencia también ocurre cuando se transfiere una población de un medio rico a otro medio más pobre. Para que ocurra crecimiento en un medio de cultivo particular, las células deben tener un equipo enzimático completo que permita

la síntesis de los metabolitos esenciales ausentes en el medio. Al pasar a otro medio, se necesita tiempo para la síntesis de las nuevas enzimas.

## **2°. Fase Exponencial**

La fase exponencial es una consecuencia del hecho de que cada célula se divide para formar dos, cada una de las cuales va a formar otras dos, y así sucesivamente. En general, las células en crecimiento exponencial están en el estado fisiológico más sano y, por ello, las células tomadas en el punto medio del crecimiento exponencial son a menudo las más indicadas para estudios enzimáticos y estructurales. La mayoría de los microorganismos unicelulares crecen exponencialmente pero las velocidades del crecimiento exponencial son muy variables.

La velocidad de crecimiento está influenciada por las condiciones ambientales (temperatura, composición del medio de cultivo, etc.) así como por las características genéticas del organismo. Por lo general, los microorganismos procarióticos crecen más rápido que los eucarióticos; y los eucariotas de pequeño tamaño lo hacen más rápido que los de mayor tamaño.

## **3°. Fase estacionaria.**

Lo que generalmente sucede es que un nutriente esencial del medio de cultivo se usa y llega a ser

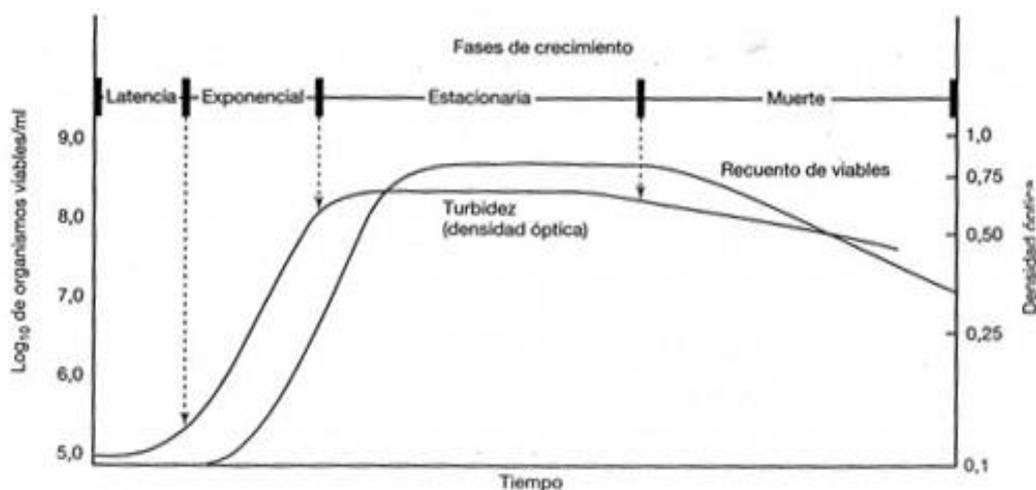
un factor limitante del crecimiento; o bien acumulan en el medio algunos productos de desecho que hacen que cese el crecimiento exponencial.

Frecuentemente ocurren ambas cosas. Al producirse esto, la población alcanza la fase estacionaria. En la fase estacionaria no hay aumento ni descenso neto en el número de células. Aunque no suele haber crecimiento en la fase estacionaria muchas funciones celulares continúan, como el metabolismo energético y algunos procesos biosintéticos. En algunos casos puede ocurrir un lento crecimiento durante la fase estacionaria; algunas células de la población crecen, pero otras mueren y los dos procesos se equilibran de modo que no hay aumento ni disminución en el número de células (este fenómeno se llama crecimiento críptico.)

#### **4°. Fase de muerte**

Si la incubación continúa después de que la población haya alcanzado la fase estacionaria, las células pueden continuar vivas y metabólicamente activas, pero también pueden morir. Si ocurre esto último, se dice que la población está en fase de muerte. La velocidad de muerte celular es mucho más lenta que la de crecimiento exponencial.

**Gráfico N° 1: Fases del crecimiento bacteriano**



#### **2.4.4. Planta de Tratamiento de Lodos Activados (PTAR)**

Un sistema de lodos activados es un proceso biológico utilizado para la depuración natural de las aguas residuales. El tratamiento general con lodos activados consiste en dos partes.

Armando Morín (2013). Un tratamiento aerobio de las aguas residuales, en el cual, un cultivo aeróbico de microorganismos en suspensión oxidan la materia orgánica y un conjunto de procesos de biodegradación (oxidación de la materia orgánica disuelta) y biosíntesis (producción de nueva biomasa celular) cuya finalidad es la producción de un clarificado (agua sin materia orgánica en suspensión) bajo en DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), SS (Sólidos Suspendidos) y turbiedad.

Ocampo (2006). Este es tratamiento primario por razones obvias, posteriormente un efluente secundario es separado del volumen principal de lodos activados, de las partes altas del clarificado, de donde, pasa a un tratamiento secundario en cual, el clarificado es re-oxigenado, filtrado y luego servido o vertido a una corriente natural o re-utilizado para agua de riego. En las

partes bajas o fondos del sistema se acumulan los lodos o fangos; el exceso debe ser decantado y compactado mediante una línea o corriente de purga y otra parte usualmente es recirculada (recirculación) nuevamente hacia los fondos por una corriente de derivación. La derivación tiene por objetivo enriquecer y renovar la población de microorganismos activos. El fango activado se puede considerar como un cultivo mixto de microorganismos en suspensión, enriquecido por cantidad de materia orgánica en descomposición (biocenosis). Ésta unidad ecológica y estructural es comúnmente denominada floculo y constituye el núcleo alrededor del cual, se desarrolla el proceso de depuración biológica.

#### **2.4.4.1. Digestión Aerobia.**

La digestión aerobia es un proceso mediante el cual los lodos provenientes del sedimentado primario o los lodos de los procesos aerobios de tratamiento, o una combinación de ellos, son sometidos a aireación prolongada en un tanque separado y descubierto.

Crecimiento exponencial.

Crecimiento exponencial simple (Monod)

$$\mu = \mu_m = \frac{S}{K_s + S}$$

Dónde:

X = concentración de microorganismos.

$\mu$  = tasa efectiva de crecimiento.

S = concentración de sustrato, mg/L.

$\mu_m$  = tasa máxima de crecimiento.

KS = valor de s cuando  $\mu = \mu_m$ .

Kd o b = Constante de decaimiento endógeno.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - K_d X$$

$$\frac{dX}{dt} = \left( \frac{\mu_m S}{K_S + S} \right) X - K_d X$$

La velocidad de acumulación de biomasa es (ecuación Monod)

$$\frac{dX}{dt} = \mu X$$

X = [biomasa]

M = velocidad específica de crecimiento (generaciones t-1)

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_S + S}$$

$$\frac{dX}{dt} = \mu X$$

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \frac{SX}{K_S + S}$$

Dónde:

$\mu$  = Velocidad específica de crecimiento (generaciones T-1)

$\mu_m$  = Velocidad máxima de crecimiento (generaciones T-1)

S = concentración de sustrato

$K_S$  = constante de velocidad media (velocidad específica de crecimiento) constante de Monod.

Se presentan algunas limitaciones en el estudio:

- A muy bajas concentraciones de sustratos de va bien (concentraciones mínimas de sustrato que no contempla).
- A muy altas concentraciones de sustrato KS real es constante.

Y = coeficiente de rendimiento

$$\frac{dx}{dt} = \mu_{\max} \frac{SX}{KS + S}$$

$$Y = \frac{\text{aumento de biomasa}}{\text{descenso de conc de sustrato}} = \frac{\frac{dx}{dt}}{\frac{ds}{dt}} = \frac{dx}{ds}$$

$$\frac{ds}{dt} = \left(\frac{\mu_{\max}}{Y}\right) \frac{SX}{KS + S} = K \frac{SX}{KS + S}$$

La ecuación resulta

$$\frac{dx}{dt} = YK \frac{SX}{KS + S} - Bx$$

b = constante de declive endógeno (t – 1)

#### 2.4.4.2. Determinación de coeficientes cinéticos:

Para poder utilizar modelos cinéticos de procesos biológicos, es necesario disponer de los **valores** de los parámetros Y, K,  $K_s$  Y  $K_d$ . Para determinar los valores de estos parámetros, consiste en hacer funcionar unidades con diferentes concentraciones de sustrato en el

efluente, utilizando los datos obtenidos en el funcionamiento en condiciones estacionarias, se determina los valores medios de  $Q$ ,  $S_0$ ,  $S$ ,  $XY$   $R_{SU}$ . entonces:

$$r_{su} = -\frac{kXS}{K_S + S} = -\frac{S_0 - S}{\theta}$$

Dividiendo por:  $\frac{kS}{K_S + S} = -\frac{S_0 - S}{\theta X}$

La forma linealizada de la ecuación, que se obtiene invirtiendo ambos términos es:

$$\frac{k\theta}{K_S + S} = \frac{K_S}{K} \frac{1}{S} + \frac{1}{K}$$

## 2.4.5. Procedimiento de análisis del agua.

### 2.4.5.1. Determinación de pH.

#### Referencia

NOM \_004\_SEMARNAT- 2002, protección ambiental\_lodos y biosolidos\_especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

#### Principio

El pH es un indicador de la intensidad de los ácidos o álcalis, esta normalmente asociado con procesos específicos enzimáticos. La actividad enzimática se acerca a un máximo para cierto rango de pH, abajo o por encima de esta dicha actividad decae.

### **Materiales y equipos.**

- Peachímetro modelo HANNA MOTEI
- Agua destilada.
- Balanza.

### **Procedimiento.**

- Se verterá 30m ml de agua destilada en un recipiente.
- Se pesara 15 g de la muestra de biosólidos.
- Ambos elementos se mezclaran hasta que la muestra se diluya completamente.
- Medir con el peachímetro los valores que representa.
- Determinación de la conductividad

### **Referencia**

NOM\_004\_SEMARNAT-2002, protección ambiental lodos y biosólidos especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

### **Fundamento**

La conductividad eléctrica la medida de la capacidad de un material que deja pasar la corriente, su aptitud para dejar circular libremente las cargas eléctricas.

### **Materiales y equipos**

- Peachímetro modelo HANNA MOTEI
- Agua destilada.
- Balanza.

### **Procedimiento**

- Se verterá 30m ml de agua destilada en un recipiente.
- Se pesará 15 g de la muestra de biosólidos.
- Ambos elementos se mezclaran hasta que la muestra se diluya completamente.
- Medir con el peachímetro los valores que representa.
- Determinación de sólidos suspendidos totales

### **Referencia**

NOM\_004\_SEMARNAT-2002, protección ambiental lodos y biosólidos especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

### **Fundamento**

Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro mg/l), presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos

### **Materiales y equipo**

- Filtros circulares de fibra de vidrio, sin aditivos orgánicos.
- Aparato de filtración
- Embudo con filtro de membrana.
- Crisol Gooch, de 25 a 40 mL de capacidad, con su respectivo adaptador.
- Aparato de filtración con recipiente y disco fritado grueso (40 a 60 m) como soporte del filtro.
- Erlenmeyer con tubuladura lateral, de suficiente capacidad para el tamaño de muestra seleccionado.

- Discos de aluminio o de acero inoxidable, de 65 mm de diámetro, para pesar.
- Desecador, con desecante e indicador coloreado de humedad o indicador instrumental.
- Estufa para secado, para operar en el intervalo de 103 a 105°C.
- Balanza analítica, con precisión de 0,1 mg.
- Bomba de vacío.
- Agitador magnético con barra agitadora de teflón.
- Pipetas de punta ancha.
- Agua destilada Tipo III., agua destilada y desmineralizada.

### **Procedimiento**

- Preparación del filtro de fibra de vidrio: Insertar el filtro circular en el aparato de filtración con el lado rugoso hacia arriba, aplicar vacío y lavar el filtro con tres porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada.
- Continuar la succión hasta remover todas las trazas de agua, y descartar el filtrado. Remover el filtro y transferirlo a un disco para pesaje, con el cuidado necesario para prevenir que el filtro seco se adhiera al disco; el material que se adhiera al disco debe agregarse al filtro para evitar errores.
- También se puede pesar el filtro seco junto con el disco tanto antes como después de la filtración; si se emplea un crisol Gooch, remover y pesar este junto con el filtro. Secar en una estufa a 103 – 105 °C por 1 h (si se van a determinar sólidos volátiles, secar a 550 °C por 15 min. en un horno).
- Dejar enfriar en un desecador y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta

obtener peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% o de 0,5 mg de la pesada anterior, lo que sea menor. Guardar el filtro en un desecador hasta que se vaya a emplear.

- Selección del filtro y tamaño de muestras: Tomar una alícuota de muestra que produzca entre 10 y 200 mg de residuo seco.
- Si se emplean más de 10 minutos para completar la filtración, aumentar el tamaño del filtro o disminuir el volumen de muestra; para muestras no homogéneas tales como agua residuales, usar un filtro grande que permita filtrar una muestra representativa.

#### **Análisis de muestras.**

- Ensamblar el filtro al aparato de filtración e iniciar la succión; humedecer el filtro con una pequeña cantidad de agua destilada para fijarlo. Mientras se agita la muestra con un agitador magnético, tomar una alícuota con pipeta y transferirla al filtro.
- Lavar el residuo con tres porciones sucesivas de 10 mL de agua destilada, y se deja secar completamente entre lavados; continuar la succión por tres minutos después de completar la filtración.
- Las muestras con alto contenido de sólidos disueltos pueden requerir lavados adicionales.
- Remover cuidadosamente el filtro del aparato de filtración y transferirlo al disco de pesaje; si se usa un crisol Gooch, removerlo de su adaptador.
- Secar en una estufa a 103 – 105 °C, mínimo durante 1 h; dejar enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso

constante o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% o de 0,5 mg del peso anterior, lo que sea menor.

- Las determinaciones por duplicado deben coincidir hasta en un 5% de su promedio.

### **Cálculos**

Mg de sólidos suspendidos totales/L=  $(A-B) \times 1000/\text{Volumen de Muestra, ml}$

### **Dónde:**

A = peso del filtro + residuo seco, mg.

B = peso del filtro, mg.

### **2.4.5.2. Determinación de la DQO.**

**Referencia:** ASTM

### **Fundamento:**

La demanda química de oxígeno es un ensayo de laboratorio que mide el equivalente en oxígeno de la fracción de materia orgánica presente en la muestra, que es susceptible de oxidación en medio ácido, por parte del dicromato de potasio. La DQO representa casi un valor límite de posibilidad de oxidación total de un residuo; por ello generalmente el valor de la DBO se debe de aproximar a la de DQO.

### **Materiales Y Equipos.**

- Birreactor para DQO.
- Viales para alto rango de DQO (0-1500 mg/L).
- Pipeta de 2ml.

- Pro pipeta.
- Porta tubos.
- Espectrofotómetro UV-VIS.

### **Procedimiento.**

- Homogenice 500 ml de muestra durante 2 minutos.
- Encienda el reactor DQO caliéntelo a 150 °C.
- Destape un frasco de reactivo para digestión DQO del rango deseado (0-1500mg/L).
- Sostenga el frasco de reactivo a un ángulo de 45 grados, transfiera 2.0 ml de muestra dentro del frasco.
- Coloque la tapa al vial cuidando que quede bien ajustado. Enjuagar el frasco con agua desmineralizada y séquelo con una toalla de papel limpio.
- Sostenga el frasco por el tapón. Inviértalo suavemente varias veces para mezclar su contenido. Coloque el frasco dentro del reactor DQO que ha sido precalentado.
- Caliente los frascos durante 2 horas.
- Apague el reactor, espere unos 20 minutos hasta que los frascos se enfríen hasta 120°C o menos.
- Invierta cada frasco varias veces, mientras están calientes todavía. Colóquelos en una porta tubos. Espere hasta que se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Determine la concentración de la muestra por el método fotométrico.
- Leer la absorbancia a 605 nm de longitud de onda tanto del blanco como de la muestra.

### 2.4.5.3. Determinación De La DBO5

**Referencia:** ASTM

**Fundamento:**

DBO es una sigla que traduce literalmente “demanda biológica de oxígeno”. Pero desde el punto de vista ambiental, las pruebas de DBO constituyen una estimación “semicuantitativa” de la cantidad de “materia orgánica fácilmente biodegradable” que contiene una muestra.

**Materiales**

- Reactivos.
- Incubadora.
- Agua destilada.
- Botella de 300 ml con tapa esmerilada, para DBO (Winkler).
- Pipeta de 10 ml graduada.
- Bombilla de jebe.
- Equipo de titulación.
- Agitador electromagnético.
- Vaso de p.p. de 250 ml.
- Fiola de 1000 ml.
- Reactivos
- Agua de dilución.
- Sulfato de manganeso.
- Solución álcali de ioduro.
- Ácido sulfúrico c.c.
- Tiosulfato de sodio al 0,025N.
- Almidón.

### **Procedimiento.**

- Preparación del Agua de Disolución Nutrientes para el agua de dilución.
- Solución amortiguadora: Disolver
  - ✓ 8.5g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
  - ✓ 21.75g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
  - ✓ 33.4g de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
  - ✓ 1.7g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$
- En 500 ml de agua destilada y aforar a 1L en la fiola, el pH de esta solución debe ser 7.2.
- Solución de sulfato de magnesio, se disuelve 22,5g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  y se lleva a un litro con agua destilada.
- Solución de cloruro de calcio, se disuelve 27.5g de  $\text{CaCl}_2$  anhidro y se diluye a un litro con agua destilada.
- Solución de cloruro férrico, se disuelve a 0.25g de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y se diluye a 1L.
- En una fiola de 1 litro se adiciona más o menos 250 ml de agua destilada luego se adicionan 1 ml de solución amortiguadora, 1ml de sulfato de magnesio, 1ml de cloruro de calcio y 1ml de cloruro férrico.
- Se agita y se afora a 1000 ml luego se hace burbujear aire 15 minutos usando la compresora hasta saturación de O.D.
- Solución de Sulfato de Manganeso. Se disuelve 12g de sal en 25mL de agua destilada.
- Solución de Álcali. Disuelve 12,5 de hidróxido de sodio más 3,38g de ioduro de sodio y 0,25g de nitrato de sodio todo disuelto a 25mL con agua destilada.
- Ácido Sulfúrico c.c.

- Solución de Almidón. Pesar 0,25g de almidón y formar una masa con poca agua destilada, luego agregar agua destilada hirviendo hasta completar 25mL de solución.
- Solución de Tiosulfato de Sodio 0,025N. Disolver 1,55 de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en 250mL de agua destilada.
- Ajuste del pH: El pH tiene una marcada importancia en el desarrollo biológico, la muestra debe tener un pH de 6,5 a 7,5; cualquier desviación mayor produce un valor de DBO menor, se debe regular el pH con ácido o hidróxido.
- Filtrar la muestra y homogenizar.
- Realizar las diluciones de acuerdo al grado de contaminación de la muestra y aforarlo a 300mL con agua de dilución en el frasco de Winkler.
- La muestra preparada transferirla a dos frascos de DBO de 300mL hasta el ras.
- Tapar los frascos con sus respectivas tapas de vidrio y el segundo frasco se incuba a 20°C por espacio de 5 días al cabo de los cuales se tomarán las lecturas de oxígeno disuelto.
- Al otro frasco añadir 2mL de sulfato de manganeso y 2mL de solución álcali de yoduro, ambos reactivos se agregan debajo de la superficie del líquido, se tapa y se agita.
- Cuando el precipitado a sedimentado más de la mitad de la botella se agita para que el yodo liberado se reparta homogéneamente.

**Cálculos:**

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg/L)} = (D1)-(D2) \times Fd$$

**Dónde:**

D1 = Oxígeno disuelto de la muestra medida inmediatamente después de la preparación (mg/L).

D2 = Oxígeno disuelto de la muestra medida inmediatamente después de 5 días de incubación a 20°C (mg/L).

Fd = Factor de dilución.

**2.4.5.4. Determinación De La Materia Orgánica.**

**Referencia:** ASTM – SUNASS.

**Fundamentos:**

El índice de permanganato es una medida convencional de la contaminación por materia inorgánica y orgánica en una muestra. Muchos de los compuestos orgánicos son parcialmente oxidados, es decir, la oxidación es incompleta. La materia volátil que se evapora después de la adición de permanganato no está incluida.

**Materiales Y Equipos**

- Ácido Sulfúrico.
- Ácido Sulfúrico.
- Solución stock de oxalato de sodio 0.25 N.
- Solución estándar de Oxalato de Sodio 0.0125 N, a partir de la solución stock. La solución es estable por dos semanas.
- Solución de Permanganato de Potasio 0.0125 N.
- Oxalato de Amonio 0.0125 N.
- Matraz.
- Pipeta.

## Procedimiento

- Chequear que los matraces se encuentran perfectamente limpios.
- Diluir la muestra, si tiene alto contenido de índice de permanganato, de tal manera que se encuentre dentro del rango de 0.5 mg/l a 10 mg/l. Para ello correr una muestra tentativa.
- Pipetear 100 ml. De la muestra, agregar 5 ml del reactivo ácido sulfúrico (1:3), mezclar con cuidado. Agregar 10 ml de permanganato de potasio 0.0125 N, colocar al vaso de agua y calentar por 15 min. A 90 °C. Si la muestra se decolora, repetir la operación utilizando menor volumen de muestra, terminada la reacción diluir a 100 ml con agua destilada y calentar.
- Luego de agregar 10 ml de oxalato de amonio 0.0125 N esperar que la solución se decolore.
- Titular en caliente con permanganato de potasio, hasta que el color rosa persista, por 30 segundos. Anotar el volumen de permanganato consumido (V1).
- Hacer un blanco, reemplazando la muestra con 100 ml de agua destilada, seguir el procedimiento anterior. Anotar el volumen de permanganato consumido (V0).

## Cálculos

- Índice de permanganato =  $[(V1 - V0) \times N (KMnO_4)] / V \text{ muestra}$ .
- Mg O<sub>2</sub> consumido =  $[(V1 - V0) \times N (KMnO_4) \times 8000] / V \text{ muestra}$ .
- V1 = Volumen de KMNO<sub>4</sub> para la muestra.
- V0 = Volumen de KMNO<sub>4</sub> para blanco.

- V muestra = Volumen de la muestra
- N (KMnO<sub>4</sub>) = Normalidad de KMnO<sub>4</sub>.

#### **2.4.5.5. Determinación De Coliformes Fecales**

##### **Referencia:**

NOM \_004\_SEMARNAT- 2002, protección ambiental\_lodos y biosolidos\_especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

##### **Fundamentos:**

Las bacterias presentes en una muestra pueden ser separadas por agitación, dando por resultado una suspensión de células, uniformemente distribuidas. A través de diluciones sucesivas de la muestra se obtienen inóculos de al menos, una célula para obtener crecimiento en el medio de cultivo (tubos positivos) y otros que al sembrarse dan resultados en por lo en un tubo de serie. La combinación de resultados positivos y negativos permite realizar una estimación de la densidad bacteriana por medio de cálculos de probabilidad.

##### **Materiales Y Equipos**

- Reactivos
- Alcohol etílico
- Medio EC
- Agua destilada
- Materiales
- Bulbo de goma
- Guantes de látex
- Espátula

- Frascos de 500 ml
- Mechero bunsen
- Pipetas graduadas de vidrio de 1.5 y 10 ml
- Tapabocas
- Parrilla de agitación
- Tapones de acero inoxidable para tubos de ensayo
- Tubo de ensayo
- Tubos de rosca
- Equipos
- Autoclave.
- Balanza.
- Potenciómetro.
- Incubadora.

#### **Procedimiento.**

- Suspender materia fresca que corresponda a 4 g de sólidos totales en 36 ml de agua de dilución así obtener una dilución de  $10^{-1}$
- Mezclar durante 2 o 3 minutos, con ayuda de una parrilla de agitación, a velocidad baja hasta la completa disolución.
- Se prepara diluciones decimales seriadas a partir del homogenizado resultante ( $10^{-1}$ ) lo antes posible, reduciendo al mínimo la sedimentación. Transferir 1 ml de 9 ml de agua de dilución ( $10^{-2}$ ) y así sucesivamente hasta obtener la dilución deseada.
- Cada dilución debe ser homogenizada perfectamente agitando 25 veces en 7 segundos, haciendo un arco con la muñeca de 30 cm de arriba abajo o con un sistema de agitación que proporcione resultados comparables.

- Se deberá utilizar una pipeta estéril para cada una de las diluciones decimales subsecuentes. Para aforar el líquido de la pipeta, deberá aplicar la punta de esta en el interior del cuello manteniendo en posición vertical, inclinado el tubo, nunca se debe introducir a la muestra más de la tercera parte de la pipeta.
- Si una muestra o un lote de muestras van a ser analizadas por primera vez, utilizar al menos cuatro series de tres o cinco tubos cada una, posteriormente tres series de tres tubos serán suficientes.
- Los tubos positivos de la prueba presuntiva se resiembra por triple asada (esterilización al mechero y enfriada) en tubos de fermentación presuntiva negativa que contenga caldo EC e incubadas a 44,5 ± 0.2 ° C en baño de agua.
- Examinar cada tubo a la 24 ± 2 horas.

### **Cálculos.**

El NMP de coliformes fecales y totales se obtiene a partir del código puesto por los tubos con resultado positivo en el medio EC, si se inoculan tres series de tres tubos y se utilizan volúmenes decimales diferentes a los indicados en la tabla, se obtiene el código formado por el número de tubos con resultados positivos en las tres series consecutivas, verificando el valor del NMP correspondiente, a través de la siguiente fórmula.

$$\text{NMP} = (\text{NMP de tablas}) \times (10 / \text{mayor volumen inoculado})$$

#### **2.4.5.6. Determinación de coliformes totales.**

##### **Referencia**

NOM \_004\_SEMARNAT- 2002, protección ambiental\_lodos y biosolidos\_especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

##### **Fundamentos**

Determinar la presencia de coliformes totales por el método del Número Más Probable, utilizando la técnica de tubos de fermentación múltiple.

##### **Materiales Y Equipos.**

- Muestra de agua de del efluente de la PTAR de la UPEMOR.
- Mechero Bunsen.
- Cerillos o encendedor.
- 9 tubos de 18 x 150 mm conteniendo 9 mL de agua de dilución estéril.
- 9 Pipetas de 1 mL estériles.
- 15 tubos de 18 x 150 mm con campana Durham, conteniendo caldo lactosado estéril de concentración sencilla.
- 15 tubos de 18 x 150 mm con campana Durham, conteniendo Caldo Lactosa
- Bilis Verde Brillante estéril.
- 10 tubos de 18 x 150 mm con campana Durham, conteniendo caldo E.C. estéril.
- 2 Cajas de Petri conteniendo Agar Endo estéril.
- 5 Tubos de 18 x 150 mm conteniendo agar nutritivo inclinado estéril.

- Agitador de tubos Vortex.
- Gradillas para tubos de 18 x 150 y de 13 x 100 mm.
- Caldo lauriltriptosa (CLT).

### **Procedimiento**

- Agitar vigorosamente la muestra por lo menos 20 veces para lograr una distribución uniforme de los microorganismos.
- Para preparar las diluciones, con una pipeta estéril tomar una alícuota de 1 mL de la muestra original y llevarlo a uno de los tubos conteniendo 9 mL de agua de dilución estéril, obteniendo de esta manera una dilución de 10<sup>-1</sup>.
- Agitar el tubo de la dilución 10<sup>-1</sup> y con otra pipeta estéril tomar una alícuota de 1 mL y llevarlo a otro tubo con 9 mL de agua de dilución estéril para obtener una dilución de 10<sup>-2</sup>.
- Proceder de la misma manera hasta obtener una dilución de 10<sup>-3</sup> o hasta donde sea necesario.
- Inocular asépticamente con 1 mL de muestra por triplicado, tubos de fermentación conteniendo caldo lactosado o caldo lauriltriptosa, a partir de las últimas 3 diluciones y conservar todas las anteriores en refrigeración por si se requiere su utilización posterior.
- Incubar todos los tubos a una temperatura de 35 °C durante 24 horas.
- Después de 24 horas de incubación efectuar una primera lectura para observar si hay tubos positivos, es decir, con producción de ácido, si el medio contiene un indicador de pH, turbidez y producción de gas en el interior de la campana Durham.

- Al hacer esta verificación es importante asegurarse que la producción de gas sea resultado de la fermentación de la lactosa, en cuyo caso se observará turbidez en el medio de cultivo, y no confundir con burbujas de aire.
- Para evitar este tipo de confusiones es recomendable revisar las campanas Durham antes de proceder a la inoculación y desechar aquellos tubos cuyas campanas contengan burbujas de aire o de alguna manera eliminar éstas y así poder utilizarlos.
- De los tubos que en la primera lectura den positivos, ya se pueden hacer las pruebas confirmatorias para coliformes totales y coliformes fecales.
- En caso de no apreciarse crecimiento en el resto de los tubos, continuarán en incubación 24 horas más.
- Después de 48 horas ( $\pm 2h$ ) a partir de la inoculación, se hace la lectura final.
- Si pasadas 48 h tampoco se aprecia crecimiento ni producción de gas, los tubos se toman como negativos.

**Prueba confirmatoria para coliformes totales:**

- A partir de cada uno de los tubos que han resultado positivos en la prueba presuntiva, agitándolos para homogeneizar, inocular con tres asadas tubos conteniendo caldo Lactosa Bilis Verde Brillante (LBVB).
- Incubar durante  $48 \pm 3 h$  a  $35 \pm 0.5 ^\circ C$ .
- Después de la incubación observar la presencia de turbidez y de gas.

**Interpretación:**

- Si se observa turbidez y producción de gas: La prueba se considera POSITIVA, debiendo anotar el número de tubos positivos para posteriormente hacer el cálculo del NMP.
- Si en ninguno de los tubos se observa producción de gas, aun cuando se observe turbidez: Se consideran NEGATIVOS, estableciéndose el Código 0,0,0 para efecto del cálculo del NMP.
- Si todos los tubos dan negativos o todos dan positivos, con base en los grados de dilución analizados, considerar la necesidad de repetir el análisis a partir de grados de dilución menores (mayores volúmenes de muestra) o mayores (menores volúmenes de muestra), respectivamente.

**2.4.5.7. Determinación De Salmonella SSP.****Referencia:**

NOM \_004\_SEMARNAT- 2002, protección ambiental\_lodos y biosolidos\_especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

**Fundamentos:**

A partir de un enriquecimiento con medios selectivos, que contienen sustancias inhibitoras, se favorecen la multiplicación de salmonella spp, reconstituyendo a su vez la vitalidad de las células dañadas y de igual forma, impidiendo el desarrollo de bacterias coliformes asociadas. Una vez realizada la selección, las bacterias presentes en un penja muestra pueden ser separadas

por agitación, dando por resultado una suspensión de células bacterianas uniformemente distribuidas a través de diluciones sucesivas de la muestra.

### **Materias y Equipos**

- Materiales y reactivos
- Medios de cultivo (agar triple azúcar hierro TSI).
- Alcohol etílico.
- Gradillas.
- Caldo de selenito cisti.
- Cajas Petri estériles.
- Bulbo de goma.
- Pipetas graduadas.
- Guantes de látex.
- Portapipeteros.
- Matraz aforado.
- Equipos
- Autoclave.
- Balanza analítica.
- Horno.
- Incubadora.
- Mechero de bunsen.
- Estufa.
- Tapabocas.
- Tubos de ensayo.

### **Procedimiento**

- Suspender materia fresca que correspondan a 4 gramos de sólidos totales en 36 ml de agua de dilución de 10<sup>-1</sup>

- Mezclar durante 2 o 3 minutos, con ayuda de una parrilla de agitación, a velocidad baja hasta la completa disolución.
- Suspender materia fresca que correspondan a 4 g de sólidos totales en 36 ml de caldo tetracionato, obtener una dilución de  $10^{-1}$
- Mezclar durante 2 o 3 minutos, con ayuda de una parrilla de agitación a velocidad baja.
- Incubar durante  $22 \pm 2$  horas a  $37 \pm 0.2$  °C.
- Preparar la dilución.
- Una vez transcurrido el tiempo de incubación, preparar las diluciones decimales seriadas transfiriendo 1 ml de caldo de tetracionato en 9 ml de la dilución ( $10^{-2}$ ) y así sucesivamente hasta obtener la dilución deseada.
- En cada dilución se debe homogenizar perfectamente 25 veces en 7 segundos, haciendo un arco con la muñeca de 3 cm de arriba abajo o con un sistema de agitación que proporcione resultados equivalentes.
- Adicionar por triplicado 1 ml de cada una de las diluciones preparadas en tubos contenidos de caldo selenito cisti correctamente etiquetado. Para aforar el líquido de la pipeta, deberá aplicarse la punta de esta en el interior del cuello manteniéndola en posición vertical.
- Incubar durante  $24 \pm 2$  horas a  $41 \pm 0.2$  °C.
- Realizar la observación del virado de coloración, considerando un color anaranjado intenso como positivo de la prueba correspondiente.

**Calculo.**

El NMP de salmonella spp se obtiene a partir del código compuesto por los tubos con resultado positivo en el caldo de selenito. Si se inoculan tres series de tres tipos y se utilizan volúmenes decimales a los indicados en tablas, se obtienen el código formado por el número de tubos con resultados positivos en las tres series consecutivas, verificando el valor NMP correspondiente, a través de la siguiente formula:

NMP (NMP de tablas) X (10/ mayor volumen inoculado)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLÓGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.**

##### **3.1.1. Tipo de Investigación.**

El tipo de investigación es aplicada que se utilizara conocimientos preexistentes para poder mejorar y aplicar a la realidad y las condiciones en las que se llevara a cabo el proyecto de investigación.

##### **3.1.2. Nivel de la Investigación.**

El nivel de la Investigación es Correlacional.

#### **3.2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.**

El método para la tesis desarrollada es Científico.

#### **3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

El diseño para la tesis desarrollada es Experimental.

#### **3.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.4.1. Hipótesis General.**

El nivel de eficiencia del digestor anaeróbico representa un 95% en la remoción de microorganismos patógenos. Presentes en los lodos residuales.

### **3.4.2. Hipótesis Específicas.**

- Las características fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos activados generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Doris Mendoza son DBO5, DQ, pH, SSD, Materia Orgánica.
- Los niveles de microorganismos patógenos existentes en los lodos residuales son la Salmonella, Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

## **3.5. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **3.5.1. Variable Independiente**

#### **3.5.1.1. Descripción.**

Tiempo de permanencia de los lodos en el digestor aerobio.

#### **3.5.1.2. Indicadores.**

Días

### **3.5.2. Variable Dependiente**

#### **3.5.2.1. Descripción**

- Cantidad salmonella
- Cantidad de coliformes totales
- Cantidad de coliformes fecales.

### **3.5.2.2. Indicadores.**

- pH.
- Sólidos suspendidos totales.
- Demanda Química de Oxígeno
- Demanda Bioquímica de Oxígeno.

## **3.6. COBERTURA DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN**

### **3.6.1. Universo.**

El estudio se realiza en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doris del Distrito de Concepción.

### **3.6.2. Población.**

La población que se tomará para la realización del proyecto de investigación se será los lodos generados en el digestor primario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

### **3.6.3. Muestra.**

Para la realización del proyecto de investigación se trabajara solo con los biosólidos provenientes del sedimentador primario para esto se realizar un cuarteo para poder obtener una muestra más homogénea.

### **3.6.4. Muestreo.**

El muestreo consiste en obtener una porción del volumen generado, la cual debe conservar la integridad de todos sus constituyentes desde el momento en que se toma la muestra (parte representativa de un universo o población finita obtenida

para conocer sus características) y hasta el fin de su análisis o determinación en el laboratorio, en tiempo en que estas permanecen estables dependerá de sus características y método de preservación utilizado. El muestreo constituye una parte integral y fundamental para evaluar la calidad de los lodos y biosólidos. Para la toma de muestra inicial se colectará en los lechos de secado, se colectara muestras del mismo tamaño en diferentes puntos del lecho sin incluir arena. Mezclar totalmente.

Se toman de 4 a 8 bolsas de polietileno, se selecciona al azar el mismo número de sitios diferentes. Posteriormente, se llana cada una de las bolsas con el material de cada sitios y se trasladan a un área plana horizontal de aproximadamente 4m x 4m preferentemente de cemento pulido o similar y bajo techo y se deposita su contenido en montículo.

Se traspalear el material con pala, para obtener una mezcla homogénea. A continuación, dividir en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C, D y eliminar las partes opuestas A y C o B y D. se repetirá esta operación hasta dejar 10 Kg aproximadamente del biosólidos. La pila resultante sirve para determinar en el laboratorio el contenido de coliformes fecales totales, salmonella ssp, el material restante se utilizara para determinar el peso volumétrico del biosólidos.

#### **Equipo y Materiales.**

- Bolsas de polietileno.
- Brocha de tamaño adecuado para la limpieza.
- Cascos de seguridad.
- Botas.
- Escobas.
- Guantes.

- Ligas de hule de 1.5 mm de ancho.
- Mascarillas protectoras.
- Overol.
- Papelería y varios (formatos de muestreo, lápices, gomas y otros)
- Papelería y varios (informe de campo, marcadores, ligas, etc.)
- Palas curvas.
- Recogedores.
- Tablas de inventario, tamaño carta u oficio.
- Tambos metálicos de forma cilíndrica, con capacidad de 20 L. Recipiente de polietileno, de boca ancha y con tapa y cierre hermético, de 500ml de capacidad y susceptibles de ser esterilizados en autoclave, para coliformes fecales y totales.
- Recipiente de polietileno o polietileno o propileno inerte o de vidrio, de boca ancha y con tapa y cierre hermético, de 50 ml para metales.
- Recipientes de polietileno o propileno inerte, de boca ancha y con tapa y cierre hermético, de 500 ml de capacidad, para salmonella.

### **Control de calidad**

Las muestras obtenidas debe mantener los registros de los nombres y títulos tendrán la siguiente información:

- Identificación de la muestra.
- Cantidad de la muestra utilizada.
- Tipo de muestra.
- Tipo de análisis a realizar.

Además debe mantener la información original reportada por el personal técnico que intervino en el muestreo, tras talado y

recepción de las muestras, así como la información complementaria.

### **Etiquetado.**

La muestra se identificará con una etiqueta lo cual deberá contar con la siguiente información:

- Localidad – Municipalidad – Región.
- Fecha y hora del cuarteo.
- Condiciones climatológicas.
- Cantidad de lodo tomado para el cuarteo, en Kg.
- Cantidad de lodo obtenido para la selección en subproducto en Kg.
- Datos del responsable del cuarteo.
- Observaciones.
- Seguridad

Durante el proceso de la muestra se deberá utilizar guantes de látex y cubre bocas, para evitar cualquier riesgo de infección. Se deberá lavar y desinfectar el área de trabajo, así como los materiales utilizados antes y después del ensayo.

### **Manejo De Residuos.**

Todos los residuos de las muestras analizadas y sobrante serán esterilizados en autoclave antes de su desecho.

## **3.7. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

### **3.7.1. Técnicas de la Investigación.**

Observación de campo y laboratorio

### **3.7.2. Instrumentos de la Investigación.**

- Software.
- Equipos para análisis bacteriológicos.

### **3.8. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN.**

- Estadísticos: Tendencia central y Variabilidad.
- Representación: Tablas y Gráficas.

## **CAPÍTULO IV**

### **ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.**

Los resultados que se aprecian tienen dos momentos uno en cuanto no se ha aplicado el tratamiento de los biosólidos y luego del tratamiento para poder apreciar los resultados de forma directa y concreta.

#### 4.1.1. Resultados: previas al tratamiento.

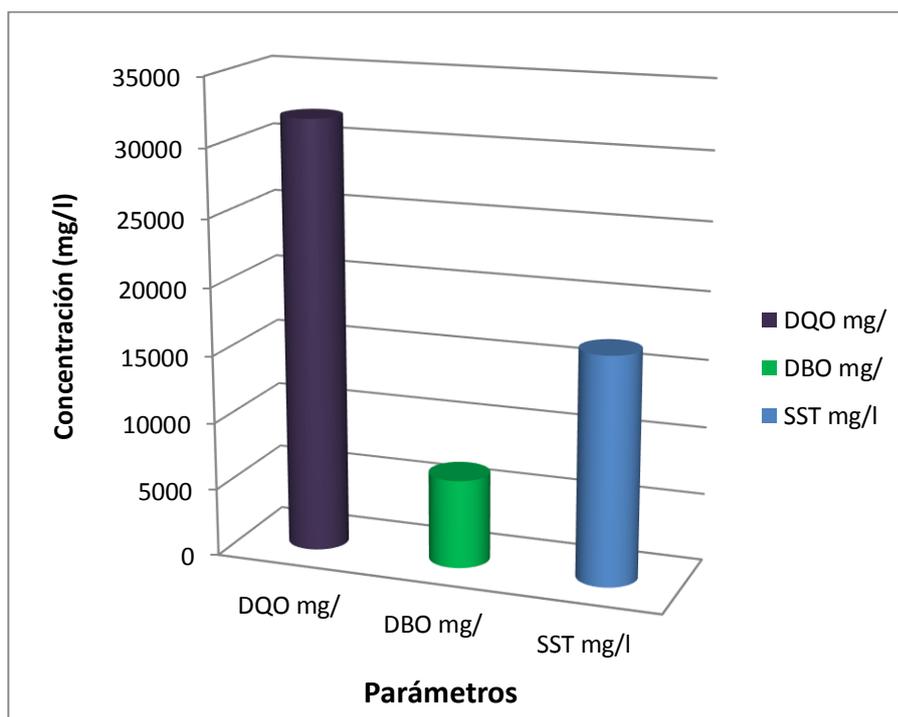
Tabla N°1

Concentraciones fisicoquímicas realizadas a los biosólidos

Parámetros	biosólidos inicial
conductividad u S	689
pH	6.8
DBO mg/l	318.57
DQO mg/l	65.40
SST mg/l	16825

Gráfico N° 2:

Concentraciones fisicoquímicas iniciales



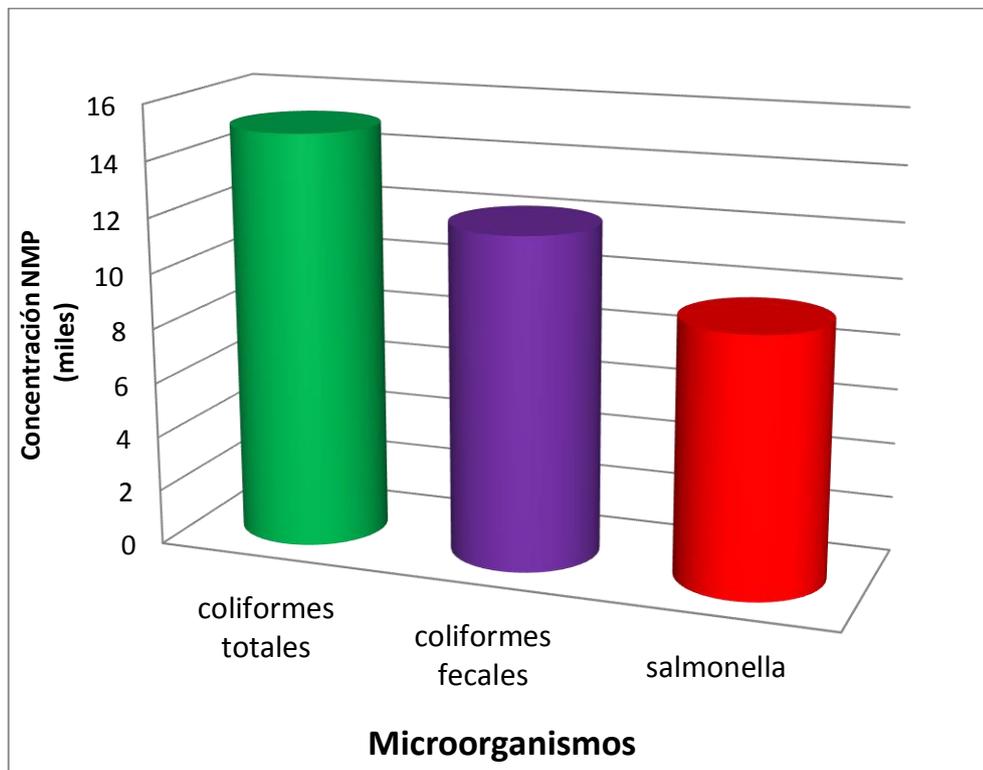
#### Interpretación:

En el gráfico se muestran las concentraciones de los análisis físico-químicos siendo el DBO5 quien posee mayor concentración

**Tabla N° 2**  
**Características microbiológicas de los biosólidos**

Parámetro	biosólidos inicial
coliformes totales	15x10 <sup>3</sup>
coliformes fecales	12x10 <sup>3</sup>
salmonella	9.3x10 <sup>3</sup>

**Gráfico N° 3**  
**Concentración microbiológicas iniciales**



**Interpretación:**

Se presentan los análisis bacteriológicos realizados en el cual se muestra que hay mayor concentración de coliformes totales presentes en la muestra realizada.

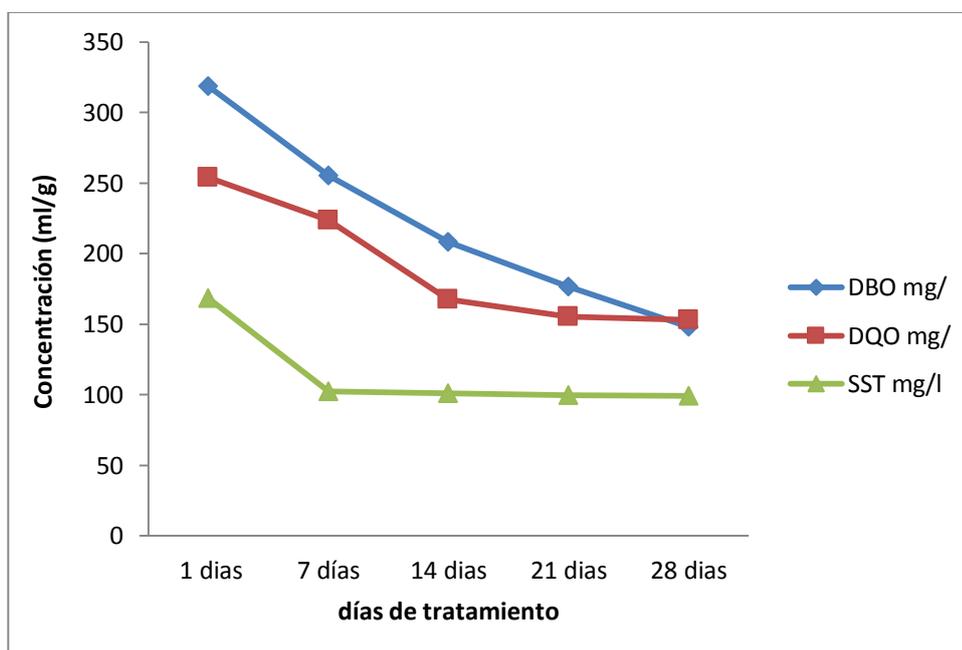
#### 4.1.2. Resultados: durante y posterior al tratamiento.

**Tabla N° 3:**  
**Parámetros fisicoquímicos durante el tratamiento**

Parámetro	Días inicial	7 días	14 días	21 días	28 días
Conductividad uS	689	680	678	654	645
DBO	318	255.2	208.1	176.5	148.1
DQO	2545	223.6	167	155	153
pH	6.8	6.8	6.9	7.2	7.4
SST	168.25	120.50	101.05	82.65	68.90

**Gráfico N° 4**

#### Concentración fisicoquímica durante el tratamiento

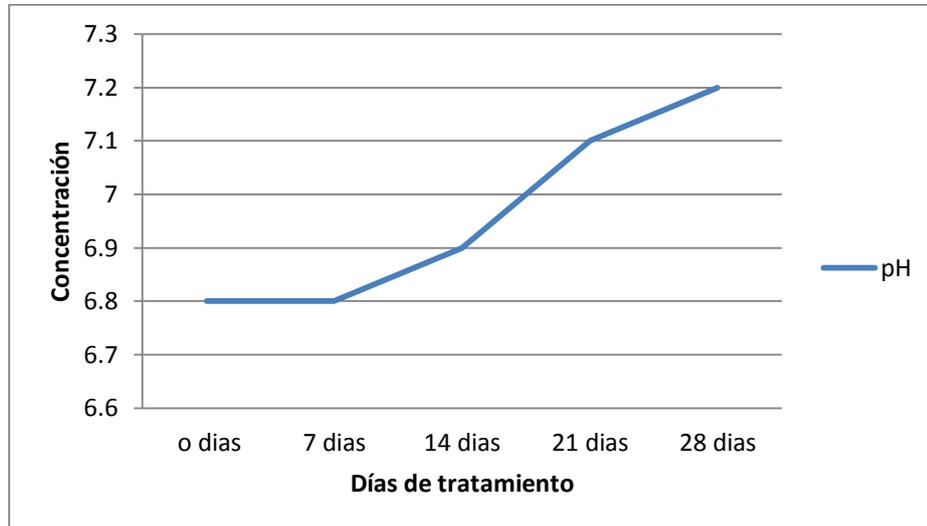


#### Interpretación:

Se presentan los resultados de los análisis físico-químicos en los diferentes tiempos de tratamiento, se observa como estos parámetros son reducidos con el paso de los días.

**Gráfico N° 5**

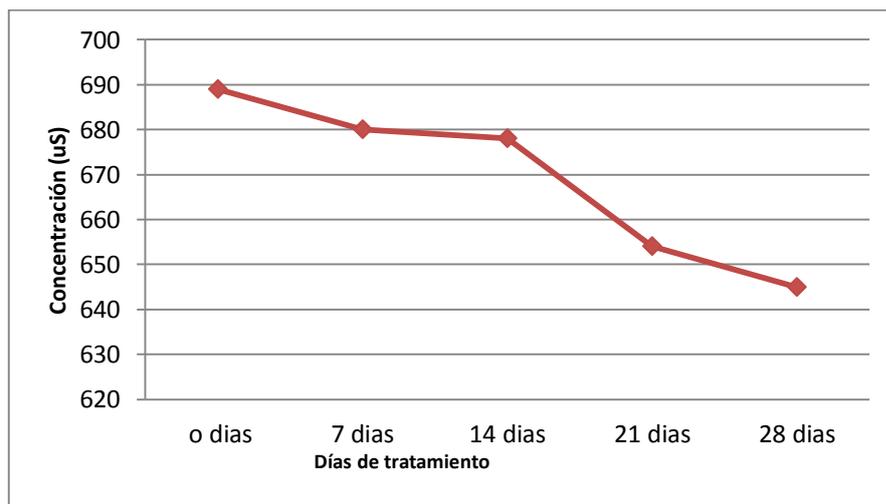
**Concentración de pH en los biosólidos antes y durante de la digestión anaerobia.**



**Interpretación:** Se muestra que la concentración de pH tuvo un ligero aumento según los días de tratamiento.

**Gráfico N° 6:**

**Concentración de la conductividad biosólidos antes y durante de la digestión aerobia.**



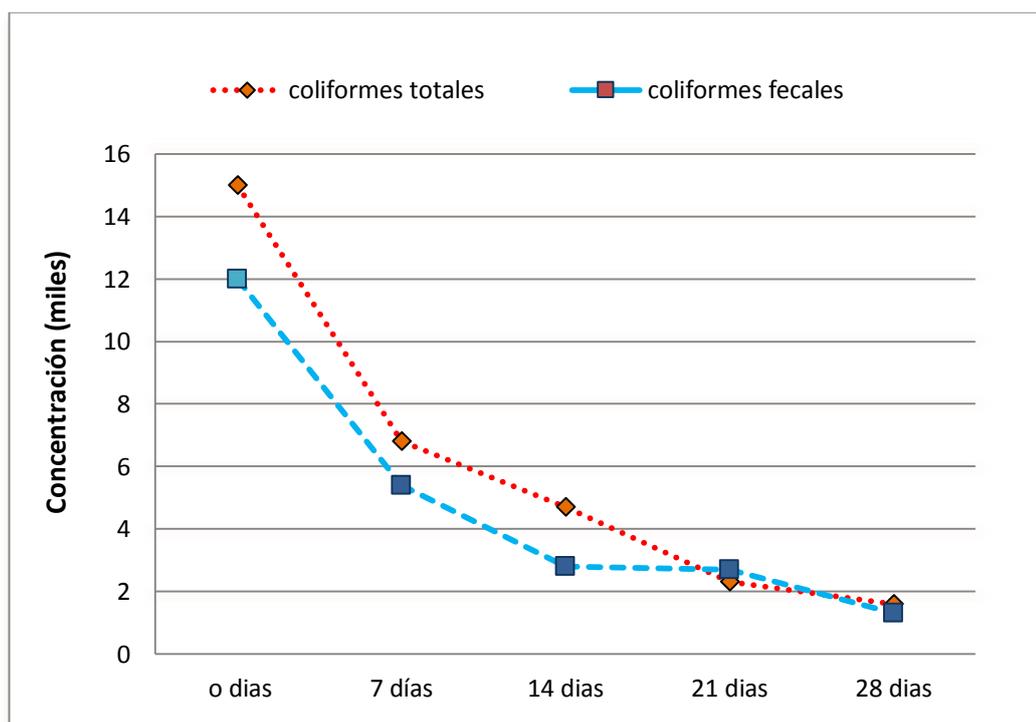
**Interpretación:** Se muestra que la conductividad decae conforme van pasando los días de tratamiento.

**Tabla N° 4:**  
**Parámetros microbiológicos obtenidos**

Parámetro	0 días	7 días	14 días	21 días	28 días
Coliformes totales	15x10 <sup>3</sup>	6.8x10 <sup>3</sup>	4.70x10 <sup>3</sup>	2.3x10 <sup>3</sup>	1.6x10 <sup>3</sup>
Coliformes fecales	12x10 <sup>3</sup>	5.4x10 <sup>3</sup>	2.8x10 <sup>3</sup>	2.7x10 <sup>3</sup>	1.3x10 <sup>3</sup>
Salmonella	9.3x10 <sup>3</sup>	4.1x10 <sup>3</sup>	3.4x10 <sup>3</sup>	1.4x10 <sup>3</sup>	1.06x10 <sup>3</sup>

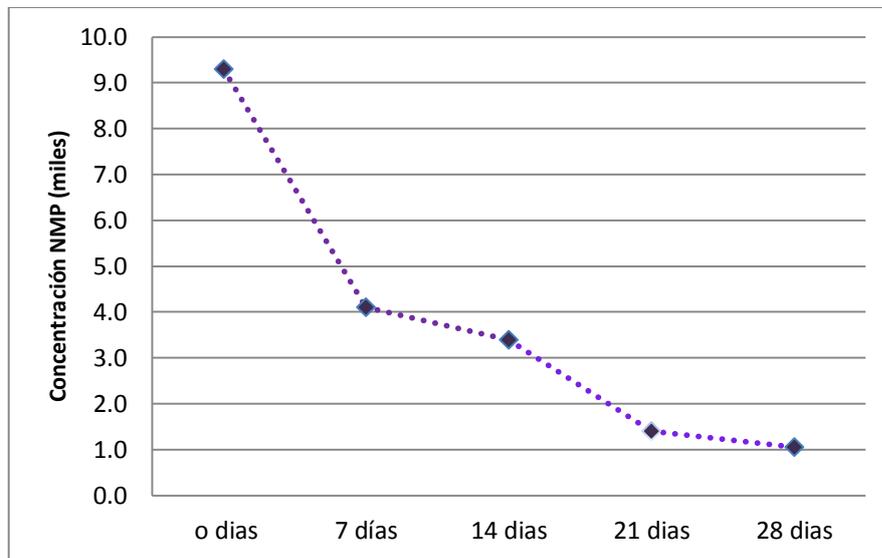
Media geométrica (NMP /100ml).

**Gráfico N° 7:**  
**Concentración de coliformes totales, fecales y salmonella en los biosólidos**



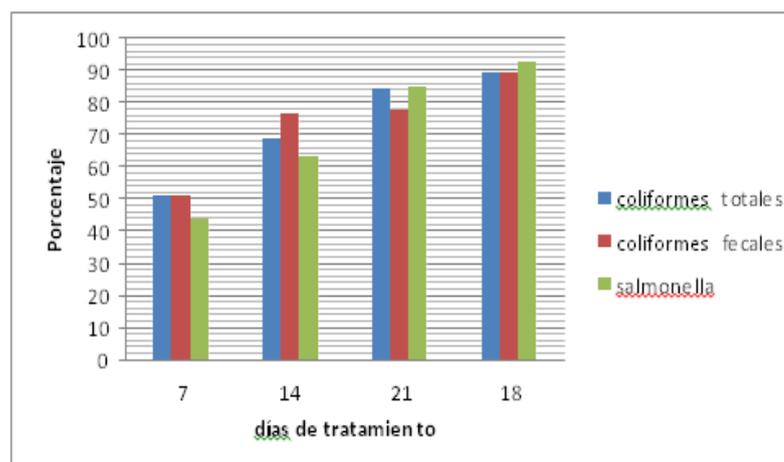
**Interpretación.** Se muestra como los coliformes totales y fecales van reduciendo según los días de tratamiento, esto demuestra que el tratamiento es efectivo para la remoción de estos microorganismos patógenos.

**Gráfico N° 8:**  
**Concentración de salmonella en los días de tratamiento anaerobio**



**Interpretación:** Se observa el decaimiento de la salmonella en los diferentes tiempos de tratamiento, al llegar a los 28 días este microorganismos se reduce en 89% del total de su concentración.

**Gráfico N° 9**  
**Porcentaje de remoción**



**Interpretación.** Se observa el porcentaje de remoción de los microorganismos a diferentes días de tratamiento.

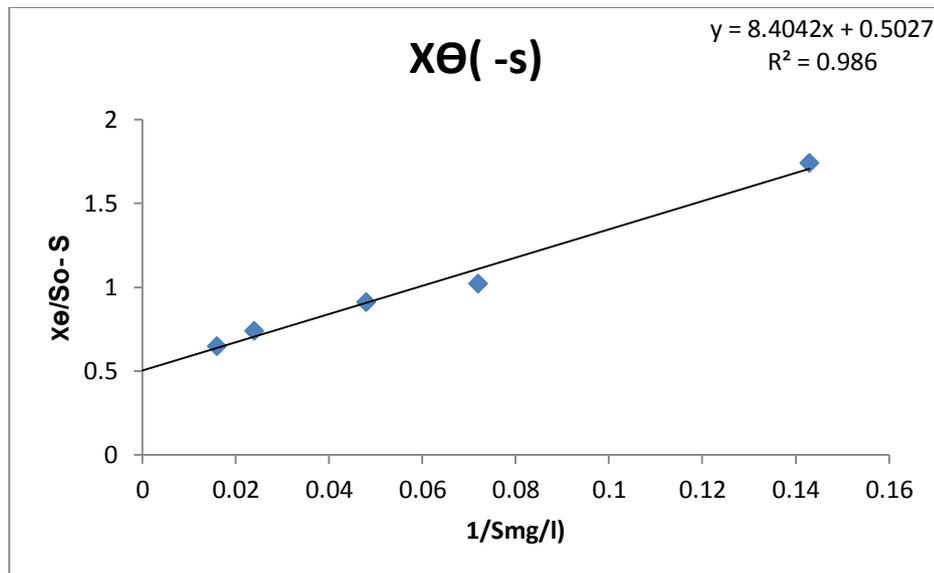
**Tabla N° 5:**  
**Resultados de la aplicación del proceso de respiración endógena**  
**(Ecuación de MONOD)**  
**Determinación de coeficientes cinéticos a partir de los datos del**  
**laboratorio**

Unidad Num.	$s_0$ Mg/l <i>DBO<sub>5</sub></i>	$s$ Mg/l <i>DBO<sub>5</sub></i>	$\Theta = \theta_e$	$X$ Mg SST/L
1	319	7	3.3	168
2	319	14	2.2	121
3	319	21	1.6	110
4	319	42	1.1	105
5	319	62	1.0	78

**Tabla N° 6**  
**Determinación del coeficiente Ks y K.**

$s_0 - s$ Mg/l	$X\theta$ Mg SST/l	$X\theta(s_0 - s)$	$1/s$ Mg/L
312	554.4	1.74	0.143
305	266.2	1.02	0.072
298	176.0	0.91	0.048
277	115.5	0.74	0.024
264	85,5	0.65	0.016

**Gráfico N° 10**  
**Representación de  $(K\theta/So-S)$  respecto a  $1/S$**



A partir de ello se obtiene el punto de intersección del eje de coordenadas corresponde a:

$$\frac{1}{k} = 0.5027d, k = 1.989d^{-1}$$

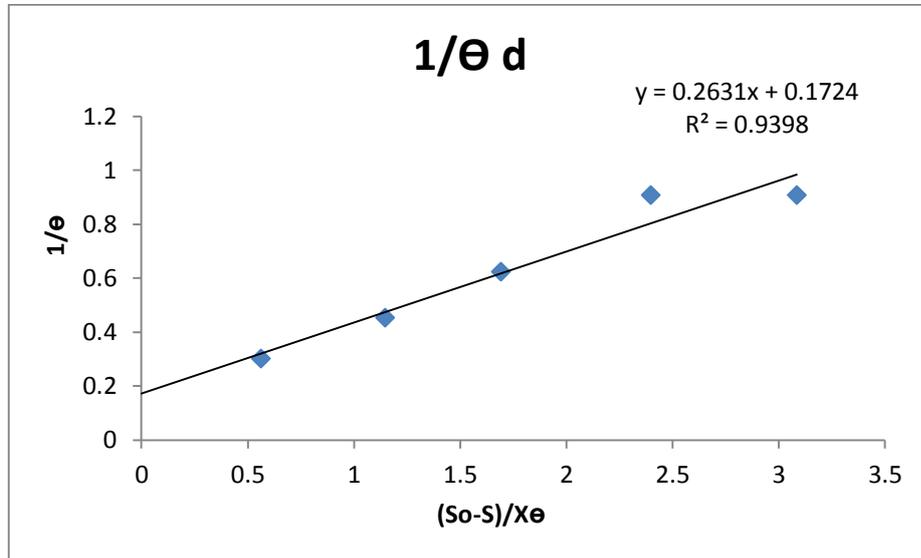
$$Ks = \frac{0.8d}{\frac{0.045mg}{l}} * 1.989d$$

$$Ks = 17.7 \text{ mg/l}$$

**Tabla N° 7**  
**Determinación de coeficiente Y y Kd**

<i>Unidad</i> Núm	$1/\theta$ d	$(So-s)/\theta X$
312	0.303	0.563
305	0.454	1.146
298	0.625	1.693
277	0.909	2.398
264	0.909	3.087

La forma linealizada de la ecuación, que se obtiene invirtiendo ambos términos.



El punto de corte del eje de coordenadas corresponde:  $C_d = 0.17$

$$Y = \frac{0.25d}{0.60d} = 0.416$$

Determinando el valor del coeficiente  $\mu_m$ .

$$\mu_m = 1.989d^{-1} * 0.416 \quad \mu_m = 0.827d^{-1}$$

Cinética de crecimiento:  $\mu = \mu_m \frac{S}{K_s - S}$

X: Concentración de microorganismos.

$\mu$ : tasa efectiva de crecimiento K S

S: Concentración de substrato, mg/L

$\mu_m$ : tasa máxima de crecimiento

$K_s$ : valor de S cuando  $\mu = \mu_m/2$

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s - S}$$

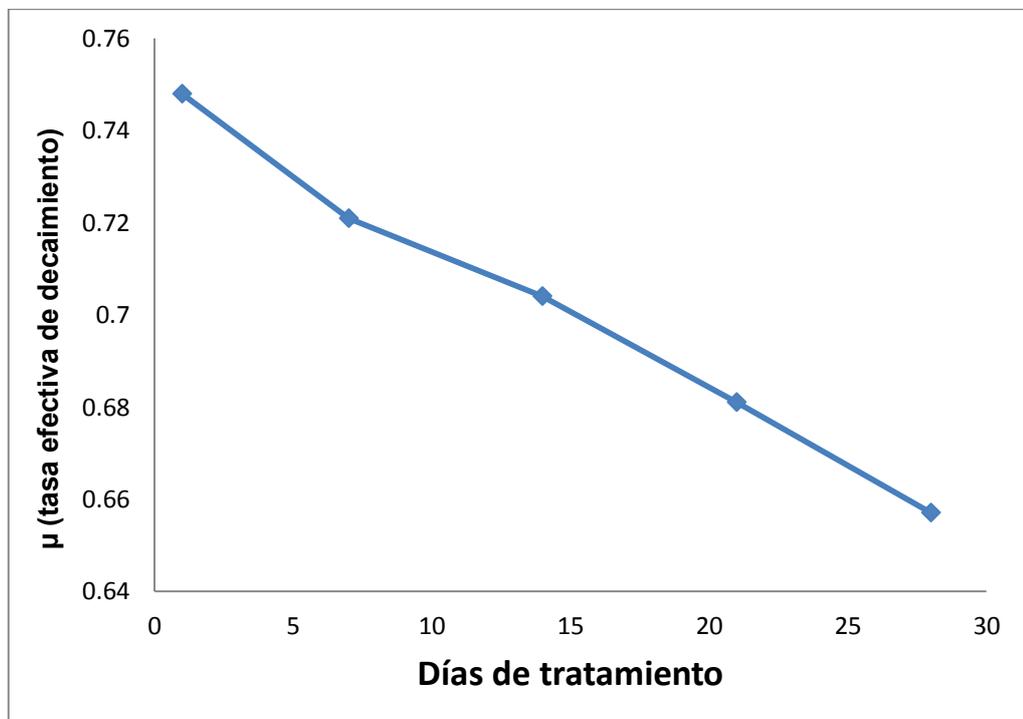
**Tabla N° 8**

**Tasa efectiva de decaimiento**

<b>Días Inicial</b>	<b>Tasa efectiva de crecimiento</b>
7	0.721
14	0.704
21	0.681
28	0.657

**Gráfica N° 11:**

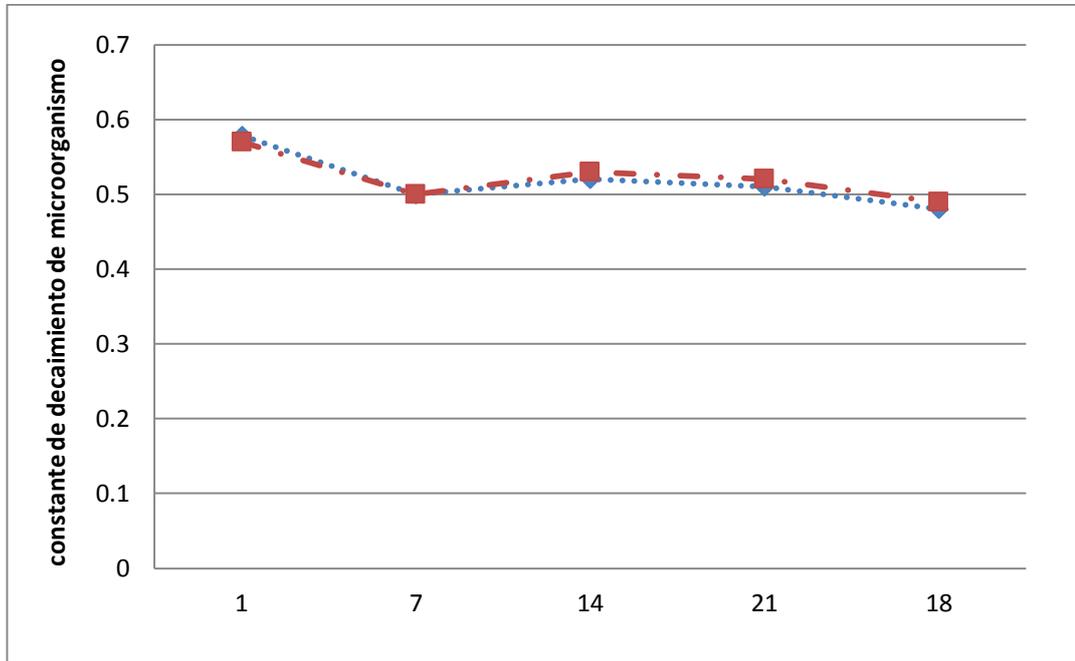
**Tasa efectiva de crecimiento**



**Interpretación:**

En el grafico anterior se muestra la tasa efectiva del decaimiento microbiano el cual comparado con los análisis microbiológicos mantiene una relación, demostrando el proceso de respiración endógena forma parte importante de la degradación microbiana

**Grafico N° 12:  
Constante de Decaimiento**



**Interpretación:**

Constante de decaimiento para coliformes totales y fecales para los lodos tratados.

**4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.**

Los niveles de presencia de microorganismos se reducen radicalmente con el uso del digestor anaeróbico que representa más de un 95%. Como se aprecian en los gráficos estadísticos: N° 5, N° 6 y N° 7.

**4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.**

La premisa de partida para dominar suficientemente cualquier aspecto medioambiental. Y más el de la contaminación del agua a nivel regional. Consiste en disponer de la información de base. En este caso se recomienda a las Comunidades recabar todos los datos existentes sobre

situación de los lodos residuales, análisis de aguas, situación de los sondeos de captación, etc.

En este sentido quizá sea conveniente tener en cuenta que los correspondientes Órganos de la Administración disponen de copiosa documentación sobre el tema, aprovechable en buena parte (junto con la existente a nivel regional) para la creación o desarrollo del banco de datos de cada Comunidad.

La recogida periódica de datos nuevos en redes de vigilancia es, obviamente. Indispensable.

La prevención y en su caso corrección de la contaminación por los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales, y de las aguas en general, requiere la colaboración interdisciplinar de buen número de especialistas.

La lucha contra la contaminación requiere dotaciones humanas y económicas. Que en el caso de los lodos residuales, son compensadas con creces en la inmensa mayoría de los casos por los beneficios que se consiguen a medio y largo plazo, sobre todo si se aplican métodos de prevención. Es por ello que un aspecto de interés y trascendencia para las poblaciones.

De otro lado, de acuerdo a nuestro estudio ambientalistas es original, debido a que no existe trabajos de esta naturaleza en nuestro medio, lo que significa que los análisis fisicoquímico y microbiológico dio como resultado la presencia de microorganismos que han sido detallados que afectan en la vulnerabilidad de la salida de la mayoría de la población.

## CONCLUSIONES

- Las características fisicoquímicas y microbiológicas y presencia de los lodos activados generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Doris Mendoza exceden los indicadores establecidos, es por ello que usando el biodigestor anaerobio muestra que el nivel de eficiencia en el tratamiento de microorganismos patógenos presentes en los lodos residuales generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doris Mendoza ha quedado demostrado por las tasas de decaimiento apreciadas y por los cambios en 28 días de tratamiento en que se reduce radicalmente la presencia de microorganismos.
- Aplicado el tratamiento las características fisicoquímicas y microbiológicas en la planta de tratamiento de aguas residuales Doris Mendoza los indicadores son mínimos.

## **RECOMENDACIONES**

- El monitoreo a la PTAR debe ser permanente para poder determinar la calidad del agua que se consume.
- La aplicación del tratamiento debe ser supervisada y mejorada de forma efectiva para reducir a niveles mínimos los indicadores que denotan la presencia de microorganismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, LILIA A. (1997) **Introducción a la Toxicología Ambiental.**
- BABBIT, HAROLD. E. (2010). **Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras.** Edit. Continental S.A.
- BRUCE RITMAN, PERRY MCCARTY. (2001). **Biotecnología del Medio Ambiente. Principios y aplicaciones.** España. Mc Graw Hill.
- CRITES Y TCHOBANOGLOUS (2000). **Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones.** Colombia. Ediciones Mc Graw Hill.
- FERRER POLO, JOSÉ (2008). **Tratamiento Biológicos de Aguas Residuales.** Edic. Alfaomega.
- GORDON MASKEK, FAIR Y JHON CHARLES GEYER (1971). **Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales.** México. Edit. Limusa – Wily S.A.
- LARES MENA, J.G. (2007). **Cuantificación de *Salmonella SPP*, durante el proceso de secado solar de lodos generado en plantas tratadoras de aguas residuales.** Universidad de Juárez. México.
- MADIGAN, MICHAEL Y OTROS (2004). **Biología de los microorganismos.** España. Pearson Educación S.A.
- MARTÍNEZ ALVARADO, ANDRÉS (2005). **Análisis de las posibilidades de reuso de la PTAR Utcubamba para manejo integral de las mismas.** Cuenca. Tesis.
- OROZCO, C. Y OTROS (2003). **Contaminación Ambiental. una visión desde la química.** España. Editores Thompson.
- RAMOS, JOSÉ ISAAC (1976). **Implementación de un biodigestor anaeróbico.** México. Edit. Jones.
- WINKLER, M. (2006). **tratamiento biológico de aguas de desecho.** México. Limusa Ediciones.

# ANEXOS

**ANEXO N° 1**  
**FOTOGRAFIAS**





t





