

[Escriba aquí]



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

“Tratamiento de lodos por digestión anaerobia de la Planta piloto de aguas residuales del colector “El Batán” del Distrito Metropolitano de Quito y su posible aplicación en la agricultura.”

RODOLFO DANIEL CARCELÉN ARCOS

Director del proyecto:

Bq. Magdalena Díaz MSc.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA

Quito, 06 de agosto del 2015

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, RODOLFO DANIEL CARCELÉN ARCOS con cédula de identidad 171197178-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Rodolfo Carcelén Arcos

CI:171197178-6

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“Tratamiento de lodos por digestión anaerobia de la Planta Piloto de Aguas Residuales del colector “El Batán” del Distrito Metropolitano de Quito y su posible aplicación en la agricultura.”

Realizado por:

RODOLFO DANIEL CARCELÉN ARCOS

Como Requisito para la Obtención del Título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL EN LA
INDUSTRIA**

Ha sido dirigido por el profesor

BQ. MAGDALENA DÍAZ

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Bq. Magdalena Díaz. MSc.

DIRECTOR

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

BQ. MAGDALENA DÍAZ

ING. FABIO VILLALBA

DR. MIGUEL MARTÍNEZ FRESNEDAMESTRE

Después de revidar el trabajo presentado, por el alumno

RODOLFO DANIEL CARCELÉN ARCOS

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador

Bq. Magdalena Díaz

Ing. Fabio Villalba

Dr. Miguel Martínez

Quito, Julio 2015

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación primero a Dios por permitirme culminar con éxito mis estudios, a mi familia, en especial a mi madre por su apoyo incondicional y por los valores transferidos a través de sus sabios consejos y a las personas como mi novia Andrea y a la Consultora HAZEN & SAWYER al Dr. Carranza y Dr. Yáñez que me han enseñado y me han dado las facilidades para que este estudio sea una realidad.

INDICE GENERAL

DECLARACION JURAMENTADA.....	ii
DECLARATORIA	iii
DEDICATORIA	v
INDICE GENERAL	vi
INDICE DE GRAFICOS.....	ix
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY.....	xiii
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL TEMA.....	1
1.2. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. PRONÓSTICO	2
1.2.3. CONTROL DE PRONÓSTICO.....	2
1.2.4. ADOPCION DE UNA PERSPECTIVA TEORICA.....	3
1.2.5. MARCO CONCEPTUAL	3
1.3 ANTECEDENTES	4
1.4 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	6
1.5 OBJETIVO GENERAL	8

1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	8
1.6 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO	8
CAPITULO II	10
2 MARCO TEÓRICO	10
2.1 ESTUDIOS PREVIOS	10
2.2 ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA	10
2.2.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	10
2.2.2 PRODUCCIÓN DE LODOS EN LA PTAR.....	14
2.2.3 DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS DE AGUAS RESIDUALES	17
2.4.4 Usos en la agricultura	25
2.5 NORMATIVA VIGENTE EN EL ECUADOR.....	29
CAPITULO III	30
3 METODOLOGÍA.....	30
3.1. PROCEDIMIENTOS	30
3.1.1 DISEÑO DEL DIGESTOR ANAEROBIO.....	30
3.1.2 PROCEDIMIENTO DE CAMPO	33
3.1.2.1 MÉTODO DE PH	34
3.1.2.2 MÉTODO DE ALCALINIDAD.....	35
• 3.1.2.3. MÉTODO DE NITROGENO TOTAL KJELDAHL Y FÓSFORO TOTAL 38	
CAPITULO IV	41
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
CAPITULO V	49
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49

MATERIALES DE REFERENCIA (BIBLIOGRAFIA).....	52
Bibliografía.....	52
ANEXOS	57
ANEXO I (NORMA OFICIAL MEXICANNOM-004-SEMARNAT, 2003).....	57
ANEXO II (FOTOGRAFIAS)	78

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 Variación de SST y SSV de la PPTAR en enero 2015 (Hazen and Sawyer, 2015).....	42
Gráfico 2 Variación de SST y SSV de la PPTAR en febrero 2015 (Hazen and Sawyer,2015).....	43
Gráfico 3 Variación de SST y SSV de la PPTAR en el mes de marzo 2015 (Hazen and Sawyer, 2015).....	43
Gráfico 4 Reducción de SST/ día (Carcelén, 2015).	45
Gráfico 5 Relación % entre SST y SSV (Carcelén, 2015)	45
Gráfico 6 % reducción de SSV por día (Carcelén, 2015).....	46
Gráfico 7 Relación DQO y tiempo en días (Carcelén, 2015).....	47
Gráfico 8 Relación pH y tiempo (Carcelén, 2015).....	48
Gráfico 9 Relación Alcalinidad y Tiempo (Carcelén, 2015).....	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de los Lodos Antes y Después (Tchobanoglous. George, s.f.) .	18
Tabla 2 Composición media de Biogás (Tchobanoglous. George, s.f.)	19
Tabla 3 Etapas “Digestión anaeróbica de lodos” (Yáñez, s.f.).....	21
Tabla 4 Relación entre pH y alcalinidad en la digestión anaerobia (Yáñez, s.f.).....	23
Tabla 5 Porcentaje de Nutrientes entre fertilizantes y lodos estabilizados (Tchobanoglous. George, s.f.)	26
Tabla 6 Concentración en el Biosólido (Manuel Mahamud, 1996).	29
Tabla 7 Dimensiones del Biodigestor (Carcelén, 2015).	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fase2.- Configuración Esquemática Remoción de DBO/DQO (Hazen and Sawyer, 2015).....	16
Figura 2 : Fase 2.-Configuración Esquemática de Nitrificación (Hazen and Sawyer, 2015).....	16
Figura 3 Configuración Esquemática Procesos Nitrificación/ Desnitrificación (Hazen and Sawyer, 2015).....	17
Figura 4 Reactor discontinuo, intermitente, por lotes o Batch (Comission De L´Océan Indien,, 2013).....	25
Figura N°5 Dimensiones del digestor BATCH (Carcelén, 2015).....	32

RESUMEN

La prevención es un conjunto de técnicas que ayudarán a definir las mejores metodologías para un tratamiento adecuado de las aguas residuales y una buena disposición de los lodos generados en estos tratamientos.

Para dar una idea de la generación de residuos humanos es aproximadamente de 80 a 270 g por persona por día, la cantidad de orina es de 1 a 1,3 kg por persona por día y que estos tienen materia putrescible en su composición química lo cual la hace un problema de salud pública y por esta razón debe ser tratada en plantas de tratamiento antes de ser evacuadas a un cuerpo receptor (Romero, 2001).

Actualmente en la planta piloto de aguas residuales ubicada en el sector “El Batán” no se cuenta con un manejo adecuado de los lodos producidos durante los procesos de tratamiento razón por la cual se busca con este estudio la estabilización de los lodos por digestión anaerobia y así darles una buena disposición final, contribuyendo así para estudios futuros en plantas a mayor escala, este proceso tiene muchas ventajas tales como: bajos costes, producción de energía a partir de metano, Se tiene una buena reducción de la materia orgánica hasta un 50%, es de fácil fabricación, se lo puede realizar en condiciones mesofílicas, el producto final es inofensivo y se lo puede verter a la naturaleza y utilizarlo como abono en la agricultura, hay una producción casi nula de malos olores, durante la estabilización de los lodos se eliminan ciertos patógenos y parásitos (Acosta Yaniris, Baya Ma. Cristina, 2005)

SUMMARY

The prevention is a set of skills that will help to define the best methodologies for a suitable treatment of the wastes water and a good disposition of the muds generated in these treatments.

To give an idea of the generation of human residues it is approximately from 80 to 270 g fo person per day, the urine quantity is from 1 to 1,3 kg for person per day and that these have matter putrescible in its chemical composition which does a problem of public health and for this reason it must be treated in treatment plants before being evacuated to a receiving body. (Romero, 2001).

At present in the pilot plant of wastes water located in the sector “El Batán” there does not tell itself with a suitable handling of the muds produced during the processes of treatment reason for which one looks with this study for the stabilization of the muds for digestion anaerobic and like that to give them a good final disposition, contributing this way to future studies in plants to major scale, this process has many such advantages as: low costs, energy production from methane, has a good reduction of the organic matter up to 50 %, it is of easy manufacture, it is possible to realize it in conditions mesofílicas, the final product is inoffensive and it is possible to spill it to the nature and to use it as a fertilizer in the agriculture, there is an almost void production of bad smells, during the stabilization of the muds they are eliminated true pathogenic and parasites. (Acosta Yaniris, Baya Ma. Cristina, 2005).

[Escriba aquí]

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL TEMA

El crecimiento poblacional del Distrito Metropolitano de Quito ha llevado al incremento en el uso del agua potable y por consiguiente a una mayor producción de aguas residuales domésticas que son descargadas en cuerpos de agua, generando de esta manera contaminación e impactos sobre el ambiente.

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento en su preocupación por recuperar la calidad ambiental de los ríos contrató los servicios de consultoría del proyecto “Diseños definitivos de las obras de intercepción y tratamiento de las aguas residuales de Quito y parroquias anexas”, el cual contempla los diseños definitivos de una planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados (Hazen and Sawyer, 2015).

Para la realización del proyecto se requiere la ejecución de una planta piloto para determinar constantes cinéticas requeridas para simular, modelar y validar el proceso seleccionado, incluyendo el tratamiento de lodos (Hazen and Sawyer, 2015).

El tratamiento de los lodos producido en las plantas de tratamiento de aguas residuales es muy importante, ya que los lodos están formados por sustancias contaminantes y peligrosas para la salud. Los lodos extraídos de los procesos de

tratamiento de las aguas residuales domesticas e industriales tienen un contenido en sólido que varía entre el 0.25 y el 12% de su peso y es por mucho el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos y éstos deben ser estabilizados y desinfectados antes de llevarlos a su disposición final. Por esta razón se realizará un digestor anaerobio a escala de laboratorio para producir un biosólido estable que dada sus características podría ser apto para su uso en agricultura.

1.2. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. PRONÓSTICO

Dependiendo de las características de los lodos como su origen, su edad, tipo de proceso del cual provienen y de la fuente original de los mismos, se aplican procesos de tratamiento que pueden mejorar sus condiciones sanitarias para reducir impactos negativos que pueden presentarse sobre la salud pública y el ambiente .

1.2.3. CONTROL DE PRONÓSTICO

Para que los lodos tengan una disposición final adecuada deben ser tratados a través de procesos de tratamiento como la digestión anaerobia que permite la estabilización de los mismos mediante la reducción de su masa, volumen, organismos patógenos, olores y la atracción de vectores, estos una vez tratados se transforman en biosólidos que pueden ser aprovechados en la agricultura.

1.2.4. ADOPCION DE UNA PERSPECTIVA TEORICA

Con el fin de aprovechar los lodos producidos en una planta de tratamiento de aguas residuales es indispensable su tratamiento por digestión anaerobia para así poder darles una buena disposición final como podría ser su uso en la agricultura.

1.2.5. MARCO CONCEPTUAL

Biosólido._ Son sólidos que provienen del tratamiento de aguas residuales domésticas que se han estabilizado por procesos biológicos con ciertas características como baja prevalencia de microorganismos patógenos, estables, y con suficiente concentración de nutrientes para ser utilizado en la agricultura como fertilizante y mejorador de suelos (Rittmann & McCarthy, 2001).

Implementación._ Una implementación es la instalación de cualquier aplicación informática, realización o la ejecución de un plan, idea, modelo científico, diseño, especificación, estándar, algoritmo o política (Wordreference, s.f.).

PLANTA DE 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 agua o cuerpos de agua que han sido contaminados (Romero, 2001).

Digestión anaerobia.-_La digestión anaeróbica o anaerobia es el proceso por el cual se produce la descomposición de material biodegradable o de materia orgánica en ausencia de oxígeno para dar como resultado productos como el biogás que en su mayoría está compuesto por metano y el segundo producto es el lodo estabilizado, conocido como digerido. Estos procesos se dan también en la naturaleza por ejemplo

en pantanos, yacimientos subterráneos o incluso en el sistema gastrointestinal, y artificialmente se lo realiza en bioreactores o digestores (Romero, 2001).

1.3 ANTECEDENTES

El Gobierno del Ecuador preocupado por el Medio Ambiente y los recursos no renovables, a través de instituciones Públicas como el Instituto Nacional de Pre inversión y la autoridad responsable que es la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, encargada de la implementación de los proyectos de agua potable y tratamiento de aguas residuales de Quito han emprendido un proyecto para recolectar, tratar y descargar las aguas residuales tratadas provenientes de la zona Metropolitana de Quito. Parte de estos proyectos es la implementación de una Planta Piloto de aguas residuales, para la que se realizarán los estudios de los diferentes parámetros de diseño para la construcción de una PTAR ubicada en Vindobona (Hazen and Sawyer, 2015).

El Proyecto de la PTAR de Vindobona incluirá tres componentes principales de infraestructura:

1. Recolección y conducción de aguas residuales a través de interceptores y túneles para descargar el caudal de las aguas residuales a la Planta de Tratamiento de Vindobona ubicada en San Antonio.
2. Tratamiento de aguas residuales para producir de manera fiable aguas residuales tratadas de alta calidad para descargar y producir biosólidos estables para uso benéfico.

3. Generación de energía en el sistema de recolección de aguas residuales y en el sistema de descarga de aguas residuales tratadas (Hazen and Sawyer, 2015).

El diseño preliminar contempla un proceso de tratamiento convencional de aguas residuales utilizando el proceso de Lodos Activados de Alimentación Escalonada, para el tratamiento de lodos se utilizará digestión anaerobia mesofílica (Hazen and Sawyer, 2015).

El desarrollo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Vindobona demuestra una gran oportunidad de desarrollo y de implementación de mejores prácticas globales para encontrar un posicionamiento para el futuro a largo plazo, siendo sus principales objetivos la producción de agua tratada de alta calidad que sea apta para ser reutilizada por una variedad de usuarios aguas abajo a lo largo del sistema fluvial como es el posible uso en la agricultura, gracias al tratamiento anaerobio se busca la recuperación de recursos valiosos como carbono en forma de biogás para ser utilizadas como fuente de energía y la recuperación de micronutrientes como nitrógeno y fosforo en forma de biosólidos estables para ser utilizados como fertilizantes en agricultura y horticultura, recuperación de los cuerpos de agua y permitir la autodepuración de los ríos (Hazen and Sawyer, 2015).

La Asociación Hazen & Sawyer – Pi Épsilon, propuso la construcción de la Planta Piloto de aguas residuales ubicada en el colector “El Batán” para definir con precisión los coeficientes cinéticos requeridos para simular, modelar y validar el proceso

seleccionado usando el programa de modelación llamado BIOWIN, además se incluirá la investigación del fraccionamiento del parámetro DQO y especies de nitrógeno, conjuntamente con la determinación de sólidos en suspensión inertes, tasa de crecimiento de organismos heterotróficos, relación de la utilización del sustrato soluble con el crecimiento bacteriano, tasa de crecimiento de organismos nitrificantes y parámetros cinéticos asociados con la desnitrificación. Pero este proyecto se basará en el estudio del proceso de digestión anaerobia de lodos del sedimentador primario y secundario para ser transformado en biosólidos y ser útiles en la agricultura u otros usos (Hazen and Sawyer, 2015).

1.4 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

El Ecuador es un país rico en recursos hídricos e hidrobiológicos, ciertos factores como la erosión, los cambios de uso del suelo, las descargas de aguas residuales domésticas e industriales vertidas directamente sobre las fuentes receptoras sin ningún tipo de tratamiento han conllevado a que estos recursos se vean afectados en su calidad y disponibilidad.

Es por esta razón que el gobierno se ha preocupado por recuperar estas fuentes hídricas mediante la formulación de normas, de proyectos que rehabiliten, y recuperen la calidad de los recursos hídricos que han sido afectados por las actividades antrópicas.

En términos generales, las opciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales pueden ser de carácter fisicoquímico y biológico, pero dadas las características de la gran mayoría de las aguas residuales domésticas, los sistemas de tratamiento involucran una combinación de procesos, los cuales inician con un

tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario o biológico y tratamiento terciario o avanzado (Díaz, 2014)

Los tratamientos preliminares sirven para ayudar a mejorar de los procesos, ya que en esta fase se eliminan sólidos de gran tamaño y consisten en las rejillas, tamices, desarenadores, tanques de homogenización o neutralización.

Los tratamientos primarios tienen como objetivo principal la remoción de materiales que pueden sedimentar o conocidos también como sólidos sedimentables (Díaz-Báez, C., Espitia, E., Molina, F. , 2002).

El objetivo principal de los tratamientos secundarios es la remoción de la materia orgánica soluble. Aquí se realizan procesos biológicos en los cuales, los microorganismos utilizan aeróbica o anaeróbicamente el material orgánico también conocido como biomasa presente en el agua residual. Los tratamientos más comunes son lodos activados, filtros percoladores, lagunas de estabilización, lagunas de oxidación, biodiscos y digestión anaerobia (Díaz-Báez, C., Espitia, E., Molina, F. , 2002). De todos estos procesos se originan residuos como son los lodos, los cuales son de interés para este estudio, ya que estos deben ser tratados antes de darles una disposición final, porque muchos de ellos pueden contener microorganismos patógenos o sustancias tóxicas y por sus características de ser rápidamente putrescibles atraen vectores que son un problema para el ambiente y para la salud pública. El tratamiento que se va a estudiar y aplicar, es la digestión anaerobia, que transformará los lodos residuales en biosólidos útiles para su posible uso en la agricultura u otros usos.

1.5 OBJETIVO GENERAL

1.5.1 Tratar los lodos de la planta de tratamiento piloto de aguas residuales del colector “El Batán” por digestión anaerobia.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.5.2.1 Realizar la caracterización de los lodos después de la digestión anaerobia.

1.5.2.2 Obtener datos de caracterizaciones de lodos antes y después de su tratamiento para su posible uso en la agricultura.

1.5.2.3 Implementar el sistema de tratamiento y digestión anaerobio a escala de laboratorio para el tratamiento de lodos de aguas residuales.

1.6 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO

La Planta Piloto de aguas residuales se encuentra ubicada al final de la descarga de El Batán esto con la finalidad de contar con un desecho fresco y representativo del agua residual de una parte de la población del Distrito Metropolitano de Quito.

La ubicación de la planta piloto es al final del colector central de Ñaquito, seleccionado tanto por la representatividad de la calidad del agua residual, como por la disponibilidad de servicios necesarios para operación, acceso directo y logística de acceso a los laboratorios de soporte, a los cuales se hará llegar diariamente múltiples muestras para análisis como resultados de 24 horas de monitoreo continuo (Hazen and Sawyer, 2015)

La Planta Piloto fue diseñada para simular y obtener los parámetros de cinética de las tres fases de diseño conceptualizadas en la remoción de contaminantes. Estas fases son:

- Fase 1: Remoción exclusiva de materia carbonácea expresada como DBO_5
- Fase 2: Remoción de materia carbonácea y nitrificación del amoníaco a nitrato
- Fase 3: Igual a fase 2 más desnitrificación

Durante el estudio se evaluaron parámetros como pH, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, DQO, trazas de metales, Nitrógeno Total Kjeldhal, Fósforo, Temperatura, micronutrientes para evaluar su posible aplicación en la agricultura, el gran problema que se presentó son los altos tiempos de retención hidráulica para completar el proceso.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ESTUDIOS PREVIOS

En la actualidad, especialmente en la ciudad de Quito, no se cuenta con ninguna planta de tratamiento de aguas residuales, debido a esto y para dar cumplimiento con la Legislación Ambiental, la EPMAPS está diseñando y construyendo sistemas de tratamiento en los diferentes puntos geográficos de la ciudad para tratar las aguas residuales. Estos sistemas de tratamiento generarán lodos que se podrían convertir en un problema sanitario si no reciben un tratamiento adecuado. La PTAR más grande de Quito será la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en Vindobona, tratará un caudal de $7.5 \text{ m}^3 / \text{s}$ para un horizonte de diseño hasta el año 2045 (Hazen and Sawyer, 2015).

Durante la elaboración del proyecto se encontró un estudio realizado en la ciudad de Cuenca llamado “*Biodigestión anaerobia de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba*”, que tiene concordancia con el tema de investigación del presente proyecto, a diferencia de este estudio la autora le añade estudios microbiológicos como es el estudio de huevos de Helminos y coliformes totales y fecales (Lituma, 2010).

2.2 ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA

2.2.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son necesarias para proteger la salud pública y preservar la calidad ambiental de los ecosistemas hídricos y su entorno. El proceso de tratamiento de aguas residuales se selecciona en base a las características del afluente, a la calidad requerida del efluente, a la disponibilidad del terreno, a los costos de construcción y operación de la PTAR, a la confiabilidad de los procesos. En la línea de líquidos del proceso de tratamiento de las aguas residuales, específicamente en los sedimentadores primario y secundario se genera biomasa más conocidos como lodos que deben ser tratados y ser convertidos en biosólidos antes de su disposición final pudiendo ser utilizados en actividades agrícolas, recuperación de suelos, actividades forestales y cobertura de rellenos sanitarios. Una inadecuada gestión de los mismos podrían convertirse en un problema adicional de salud pública porque contienen gran cantidad de microorganismos patógenos, sustancias tóxicas y atraen vectores por ser altamente putrescibles causando un efecto negativo sobre el ambiente y la salud (Díaz-Báez, C., Espitia, E., Molina, F. , 2002).

Las plantas de Tratamiento de aguas residuales son estructuras artificiales hechas por el hombre que buscan simular procesos que se dan en la naturaleza que permiten reducir niveles de contaminación como niveles de carga orgánica, microorganismos patógenos y otras sustancias y compuestos. En general, el fin de las PTAR es reducir la contaminación antrópica de los cuerpos de agua, para así disminuir o eliminar todo posible contaminante que pudiera dañar o producir impactos ambientales negativos (Imsaguas, s.f.)

A continuación se describen los procesos de tratamiento de aguas residuales que comienza por la fase de pretratamiento donde se utilizan operaciones o procesos

de carácter mecánico conocidos como desbaste que consiste en la separación física de sólidos grandes y finos de la corriente de aguas domésticas o industriales, también existen otros procesos dentro del pretratamiento como son, el desarenado que normalmente coincide con el desengrasado en donde se eliminarán las grasas y arenas que están en las aguas residuales, homogenización que se la hace con el propósito de amortiguar las variaciones diarias de caudal y de la carga contaminante y sólo se la aplicará cuando las características del agua residual sea muy variable y finalmente se encuentra la neutralización que se aplica en vertidos o descargas industriales para regular ciertos parámetros como el pH dentro de los límites óptimos para el crecimiento microbiano (Romero, 2001).

Consecutivamente se debe realizar un proceso conocido como tratamiento primario que se realiza en decantadores o sedimentadores que pueden ser rectangulares o circulares por donde fluye el agua residual a baja velocidad formando un flujo longitudinal o radial respectivamente, logrando que las partículas más pesadas sedimenten al fondo del sedimentador y las menos pesadas queden en suspensión separación de sólidos pequeños. En ciertos casos por ejemplo cuando existe la presencia de sólidos coloidales, y otros elementos como plomo y fósforo se utilizan químicos flocculantes y coagulantes como resina de poliacrilamida y flocculantes como sulfato de aluminio o cloruro de hierro III para eliminarlos en forma de flocs. Normalmente en aguas residuales no se emplean productos químicos para favorecer a la decantación; sin embargo cuando existen descargas industriales puede ser necesaria la adición de coagulantes y/o flocculantes para mejorar los rendimientos en la desestabilización de la materia coloidal. Para el tratamiento primario se deben tomar

ciertas consideraciones para el afluente tales como: se deben eliminar grasas y aceites si sus concentraciones son elevadas, debe hacerse una caracterización del afluente para comprobar la presencia o ausencia de metales pesados tales como cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, níquel y zinc, y en caso de pH no aceptable debe hacerse una neutralización (Romero, 2001).

Hay que mencionar que existe un proceso o fenómeno físico-biológico llamado biofloculación que es donde se formarán los flóculos de materia para luego ser eliminados con los lodos sedimentados. El factor físico que interviene en la biofloculación es la turbulencia que favorece el encuentro entre partículas “no vivas” y microorganismos. Posteriormente la masa biológica es separada o removida en un sedimentador secundario (Romero, 2001).

Los sólidos biológicos separados deberán experimentar un proceso de tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización final apropiada.

A continuación se describe el proceso biológico o conocido también como tratamiento secundario que es la conversión o eliminación progresiva de la materia orgánica disuelta o biodegradable no sedimentable en biomasa sólida. Básicamente consiste en promover el crecimiento microbiano que se encargarán de asimilar o digerir la materia orgánica (Romero, 2001).

Para el caso de agua tratada puede experimentar procesos adicionales conocido como tratamiento terciario que consiste en la desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural u a otro medio natural (Imsaguas, s.f.).

2.2.2 PRODUCCIÓN DE LODOS EN LA PTAR

En las plantas de tratamiento de aguas residuales los lodos se generan principalmente en dos etapas, los primeros se generan en el tratamiento primario y los otros en el tratamiento secundario. Los primeros lodos se generan durante la sedimentación primaria, es en donde se buscará eliminar los sólidos sedimentables. La cantidad generada de lodos dependerá de varios factores como la carga superficial o el tiempo de retención hidráulica. En ciertos casos se utiliza productos químicos para los procesos de sedimentación como son flocculantes y coagulantes lo cual producirá mayor cantidad de lodos (Limón, 2013).

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 (Limón, 2013).

Los problemas que se generan con los lodos procedentes de una PTAR es cuando no se les da un tratamiento y disposición final adecuada. Estos lodos pueden representar un problema sobre la salud pública y el ambiente, dependiendo en gran medida a su composición química y microbiológica (Manuel Mahamud, 1996)

A continuación se explicará brevemente el funcionamiento de la Planta Piloto de aguas residuales ubicada en el colector “El Batán” el cual es objeto de este estudio,

la planta piloto da una facilidad experimental en la cual se realizarán todas las pruebas necesarias para obtener la información de soporte para los diseños definitivos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quito.

El estudio de tratabilidad de las aguas residuales de la ciudad de Quito, se realizará en cuatro fases de experimentación, dentro de las cuales se ensamblarán varios trenes de procesos. La planta piloto fue diseñada para pasar de una fase a otra con solo manipular las válvulas de control, las mismas que pueden aislar unidades y procesos y derivar los flujos según el modelo a ser simulado. En las Figuras No. 1, 2 y 3 se presentan los procesos componentes de las Fases 1, 2 y 3, respectivamente. Se aclara que antes de la Fase 1, hay una fase de desarrollo o crecimiento de la masa celular o microorganismos o licor mezclado, crecimiento necesario antes de iniciar la fase 1. Además la Fase 2 (Nitrificación) consta de dos sub-fases 2a y 2b. La fase 2a con un tiempo de retención celular entre 6 y 8 días que simula el proceso de nitrificación y la fase 2b en cual se reduce el tiempo de retención celular para tensionar o estresar el proceso de nitrificación hasta encontrar el punto de quiebre donde este proceso empieza a degradarse (Hazen and Sawyer, 2015).

Los diferentes tanques componentes de la Planta Piloto, se construyeron de material de fibra de vidrio (Hazen and Sawyer, 2015).

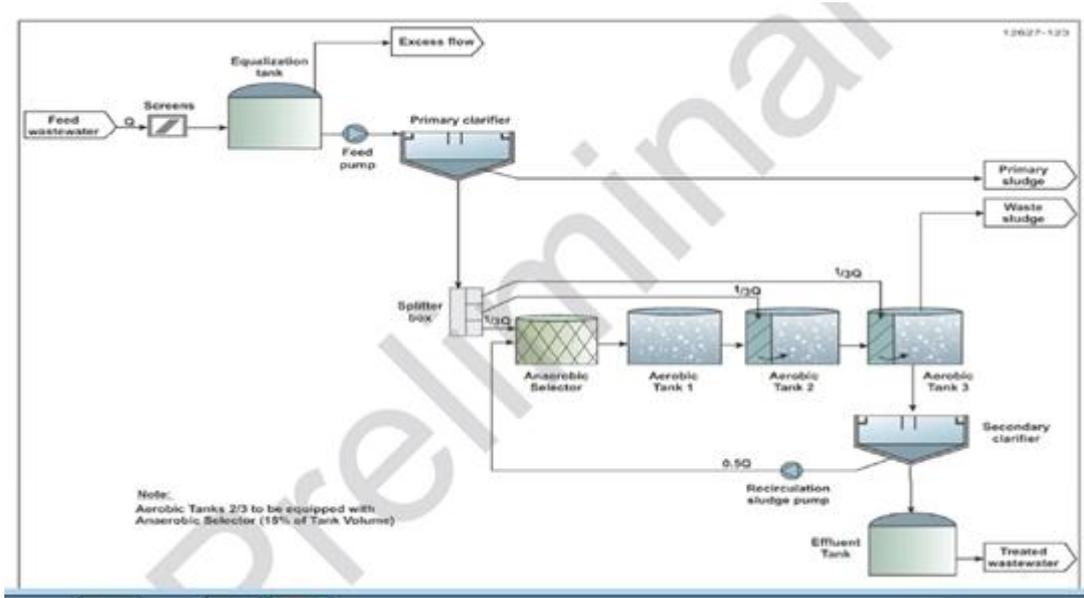


Figura 1: Fase2.- Configuración Esquemática Remoción de DBO/DQO (Hazen and Sawyer, 2015).

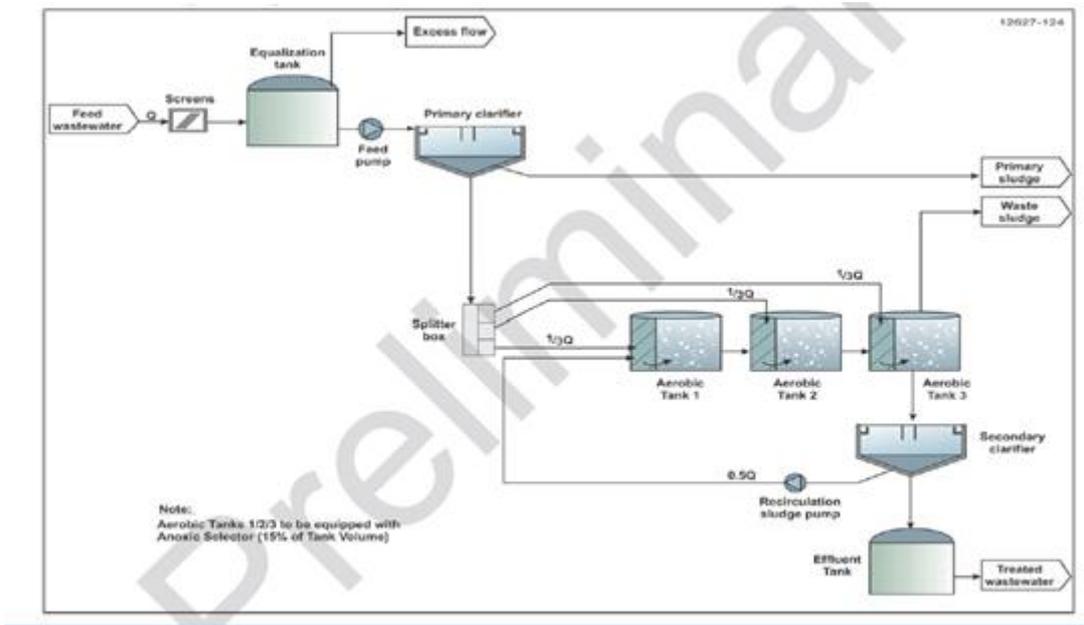


Figura 2 : Fase 2.-Configuración Esquemática de Nitrificación (Hazen and Sawyer, 2015).

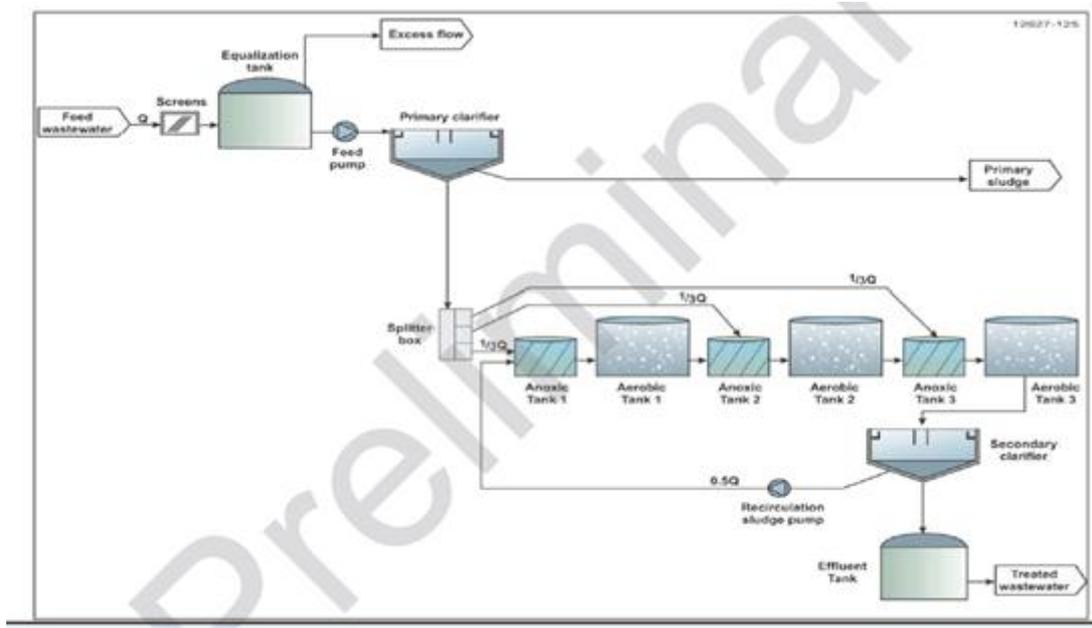


Figura 3 Configuración Esquemática Procesos Nitrificación/ Desnitrificación (Hazen and Sawyer, 2015)

2.2.3 DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS DE AGUAS RESIDUALES

El lodo producido en los procesos de tratamiento de aguas residuales está compuesto en su gran mayoría por materia orgánica que está presente en las aguas residuales crudas o contaminadas. El proceso de digestión de lodos se lo utiliza con el fin de producir un biosólido o un compuesto más estable para su disposición final y eliminar los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en los ellos, se lo realiza en los lodos primarios y secundarios (Romero, 2001).

La reducción del parámetro sólidos volátiles es el criterio para verificar el rendimiento del proceso. En el proceso de digestión se deben reducir el contenido volátil a cerca del 50% y los sólidos a cerca de un 70% de los valores iniciales (Romero, 2001).

Tabla 1 Características de los Lodos Antes y Después Fuente: (Tchobanoglous. George, s.f.)

Características de los lodos antes y después de la digestión anaerobia

Parámetro	Lodos primarios	Lodos secundarios	Lodos digeridos
Sólidos suspendidos volátiles (% SS)	70 – 80	80 – 90	55 – 65
Bacterias patógenas (nº / 100 mL)	10 ³ – 10 ⁵	10 ² – 10 ³	10 ¹ – 10 ²
Parásitos (nº / 100 mL)	8 – 12	1 – 3	1 – 3
Nitrógeno, N (% SS)	2 – 5	1 – 6	3 – 7
Fósforo, P (% SS)	0,5 – 1,5	1,5 – 2,5	0,5 – 1,5
Metales pesados (% SS)	0,2 – 2	0,2 – 2	0,2 – 2
Humedad (%)	92 – 96	97,5 – 98	94 – 97
pH	5,5 – 6,5	6,5 – 7,5	6,8 – 7,6
Hidratos de carbono (% SS)	8 – 10	6 – 8	4 – 12
Grasas (% SS)	12 – 16	3 – 5	10 – 20
Proteínas (% SS)	4 – 14	20 – 30	3 – 7

El proceso de digestión anaerobia se realiza en dos etapas, la primera con calentamiento y mezcla donde se producirá la mayor cantidad de biogás, mientras que en la segunda etapa es donde se realizará el asentamiento, que se usa para almacenar y espesar el lodo digerido dando origen a la formación de un sobrenadante claro. La digestión anaerobia también se puede realizar en digestores convencionales de una sola etapa ejecutándose el proceso en un solo tanque como se lo realizó en este estudio.

Tabla 2 Composición media de Biogás (Tchobanoglous. George, s.f.)

Composición media de Biogás generado en reactor anaerobio

Compuesto	%	Compuesto	%
CH ₄	60-80	CO	0-0,1
CO ₂	20-40	N ₂	0,5-3
H ₂	1-3	Otros (H ₂ S, NH ₃ , ..)	0,5-1
O ₂	0,1-1	Agua	variable

La digestión anaerobia de tasa baja es el tratamiento más antiguo y se lo conoce como convencional o estándar aquí no se utiliza calentamiento ni mezcla, la adición de los lodos se lo hace de manera intermitente, es por esta razón que se lo utiliza en plantas pequeñas (Romero, 2001).

Para un mejor resultado de la digestión anaerobia se debería hacer un pre acondicionamiento de los lodos primarios y los lodos de desecho, esto dará lugar a un mejoramiento en el rendimiento de la digestión de los lodos hablando en términos de la descomposición de los sólidos volátiles, aumentará la producción de biogás, permitirá una mejora en el proceso de deshidratación de lodos, es decir da una mejor calidad al lodo para después poder tener una mejor disposición final (Romero, 2001).

El pre acondicionamiento se lo puede hacer por hidrólisis térmica o utilizando vapor como un proceso de pre tratamiento térmico, pero estas tecnologías sólo se las menciona, ya que actualmente no se cuenta con estos recursos (Romero, 2001).

A continuación se describirá las diferentes fases y mecanismos que se dan en el proceso de digestión anaerobia, la primera fase inicia con la producción de ácidos por

acción de microorganismos saprofíticos facultativos que son los encargados de la fermentación ácida. Estos microorganismos son los encargados de degradar los compuestos complejos contenidos en la materia orgánica como carbohidratos, grasas y proteínas y transformarlos en compuestos intermedios más simples como los ácidos volátiles orgánicos y otros compuestos orgánicos. Durante este proceso las bacterias sintetizan el substrato presente en el lodo crudo para mantener el balance de la población microbiana (Yáñez, s.f.).

La segunda fase es donde se va a dar la producción de metano (CH_4), aquí están implicadas bacterias netamente anaerobias. Estas bacterias utilizan productos intermedios del proceso anterior y producto de este metabolismo se producirán gases lo cuales están constituidos principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfídrico (H_2S), Nitrógeno (N_2) y otros gases en menores cantidades (Yáñez, s.f.).

Tabla 3 Etapas “Digestión anaeróbica de lodos” Fuente: (Yáñez, s.f.).

ETAPA 1: FERMENTACION ACIDA

<u>LODO CRUDO</u>	+	<u>MICROORGANISMOS – A-</u>	⇒	<u>PRODUCTOS INTERMEDIOS DE DEGRADACION</u>	<u>MAS MICROORGANISMOS –A-</u>
COMPLEJOS ORGANICOS SUBSTRATO CARBOHIDRATOS GRASA PROTEINAS		FORMADORES DE ACIDOS SAPROFITICOS FACULATATIVOS	+	ORGANICOS SIMPLES ACIDOS ORGANICOS CO ₂ , H ₂ O	Y OTROS PRODUCTOS INTERMEDIOS

ETAPA 2: FERMENTACION DEL METANO

<u>PRODUCTOS INTERMEDIOS DE DEGRADACION</u>	+	<u>MICROORGANISMOS – B-</u>	⇒	<u>PRODUCTOS FINALES Y GAS</u>	<u>MAS MICROORGANISMOS –B-</u>
ORGANISMOS SIMPLES ACIDOS ORGANICOS CO ₂ , H ₂ O, ETC		FORMADORES DE METANO ANAEROBICOS OBLIGADOS	+	METANO CH ₄ BIOXIDO DE CARBONO CO ₂ SULFURO DE HIDROGENO H ₂ S H ₂ O Y OTROS PRODUCTOS DE DEGRADACION	Y OTROS PRODUCTOS FINALES

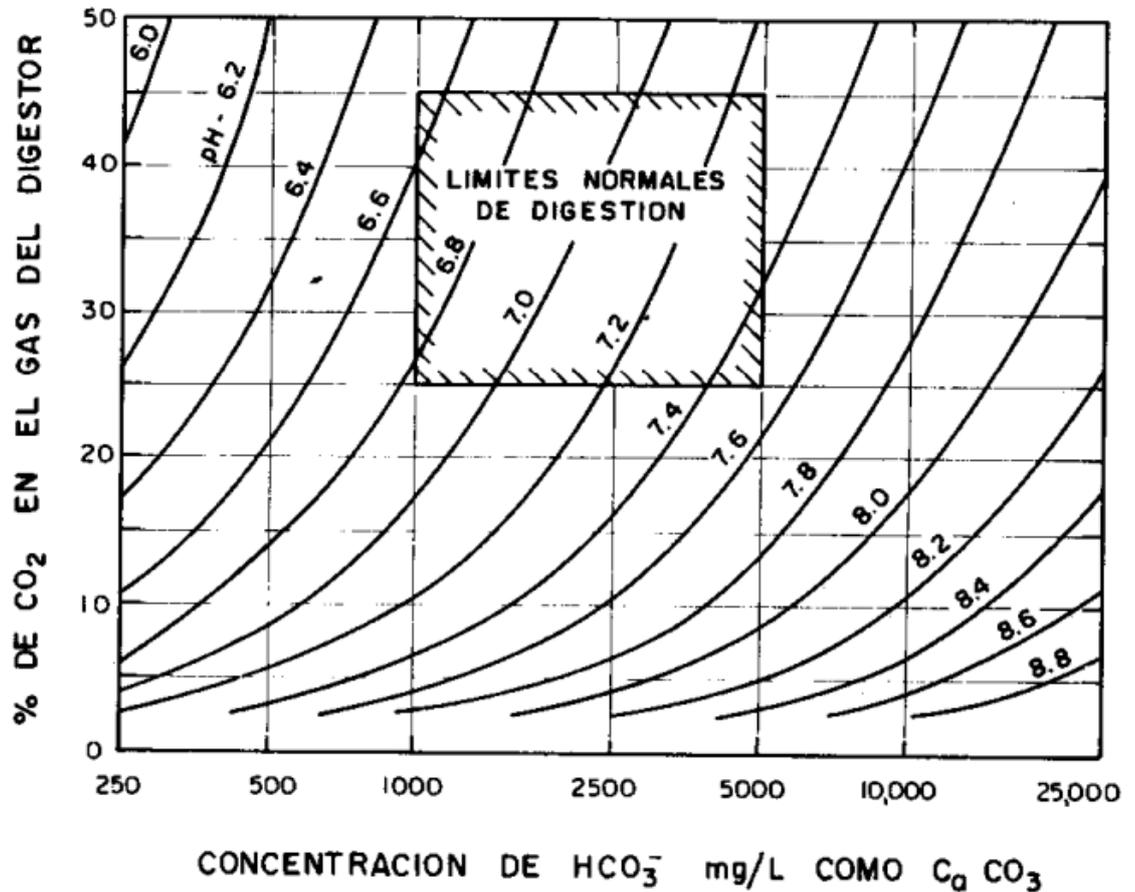
La presencia de oxígeno en el proceso anaerobio podría interrumpir o influir en el crecimiento de la población bacteriana y por lo tanto afectar el proceso de digestión, la presencia de nitratos o sulfatos en el proceso retardarán la acción de los microorganismos metanogénicos produciendo acumulación de ácidos grasos volátiles (Romero, 2001).

Otro factor que influye en el proceso son las bacterias metanogénicas que se desarrollan más lentamente que otras, todo dependerá de la temperatura a la cual se realice el proceso de digestión, ya que a una temperatura óptima el crecimiento bacteriano es mejor y por lo tanto disminuyen los tiempos de retención y se da una mejor digestión con mayor producción de biogás. Los tiempos de crecimiento están en el rango de 2 a 22 días, algunas especies pueden reproducirse en cuatro días a

temperaturas de 35°C, mientras que otras les toman un período de 10 días para su proliferación. En caso de existir una disminución de temperatura daría como resultado períodos más largos de degeneración (Rittmann & McCarthy, 2001).

Hay que acentuar como otro factor importante es el pH y la alcalinidad, (Yáñez, s.f.) Que menciona que en estudios realizados por Heukelekian y Heinemann en 1934, demostraron que el pH óptimo para el desarrollo de estos microorganismos metanogénicos está en el rango de 6,5 y 7,5, siendo un valor óptimo de 7,0, lo cual influirá en la tasa de crecimiento de la biomasa. El valor de pH del digestor dependerá de la relación de la concentración de ácidos volátiles, alcalinidad bicarbonatada y el porcentaje de dióxido de carbono en el biogás, el nivel de alcalinidad mínimo que se debe mantener es de 1000 mg/L como carbonato de calcio (Yáñez, s.f.).

Tabla 4 Relación entre pH y alcalinidad en la digestión anaerobia Fuente: (Yáñez, s.f.).



Se ha verificado que las bacterias productoras de metano requieren del CO_2 como aceptor de Hidrógeno, aunque en la digestión anaerobia existe una relación inversamente proporcional entre la producción de metano y CO_2 , de lo cual se concluye que debe existir un balance entre los dos para permitir un buen desarrollo de bacterias metanogénicas. Se ha visto que el nivel ácidos volátiles en forma de ácido acético no debe exceder los 2000 a 3000 mg/L porque producirían un cese en la fermentación del metano en 24 a 48 horas (Yáñez, s.f.).

Los biodigestores se clasifican según su función, frecuencia de carga del sustrato o materia prima a digerir, tiempos de retención. Cada uno posee diferentes ventajas y desventajas y son los siguientes:

- **Discontinuo:** Son de una sola carga y se retira cuando ha cesado la producción de biogás y ahí es el momento en que se renueva de materia orgánica o prima. Su utilidad está basada en la disponibilidad de materia orgánica. ·
- **Semi-continuo:** Se cargan intervalos cortos como de 12 horas, una vez al día, o cada dos días, es utilizado cuando la disponibilidad de materia orgánica es constante. ·
- **Continuo:** Como su nombre lo indica la carga de materia orgánica es constante y su finalidad es en el tratamiento de aguas negras, o se lo puede utilizar en procesos industriales (BIODIGESTORES, s.f.).

El presente trabajo se enfocó en los Biodigestores de Carga Intermitente, Discontinuo (Tipo Batch). Esta clase de biodigestor, se carga una vez, y una vez finalizado el proceso de fermentación y de producción de biogás se tiene que renovar la materia prima o la materia orgánica. Se caracteriza por tener un solo orificio para la carga y descarga. La duración de la fermentación puede variar entre 2 a 4 meses, todo dependerá de ciertos factores como la temperatura que por ser un catalizador que aumenta o disminuye las velocidades de reacciones químicas y biológicas en el biodigestor influenciara en el proceso de biodegradación de la materia orgánica (BIODIGESTORES, s.f.).

Durante el proceso de digestión anaerobia los lodos se separan en tres fases, la primera en una fase sólida que son los lodos sedimentados que se encuentran en el fondo del reactor, la segunda es la fase líquida que es licor mezcla, y una tercera que es la formación del biogás (Rittmann & McCarthy, 2001).

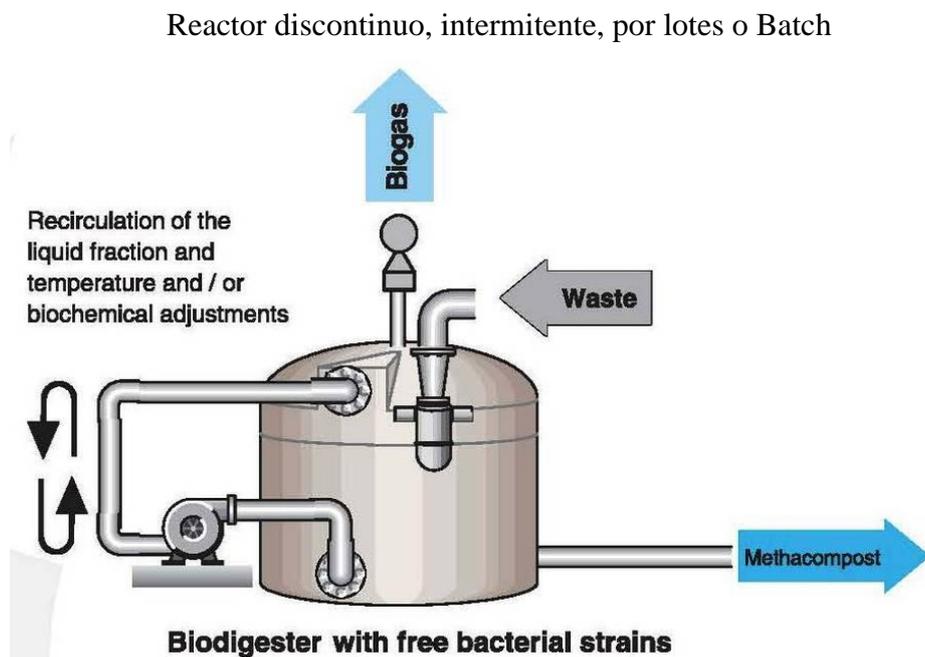


Figura 4 Reactor discontinuo, intermitente, por lotes o Batch (Comission De L’Océan Indien., 2013).
Recuperado del URL:

<http://www.commissionoceanindien.org/archives/environment.ioonline.org/fr/solid-waste-management/anaerobic-treatment-of-organic-waste.html>

2.4.4 Usos en la agricultura

Los Biosólidos son materiales de composición sólida o semisólida que son el producto del tratamiento de aguas residuales urbanas que deben ser lo adecuadamente tratados, los cuales tendrán efectos benéficos cuando son incorporados al mismo y así proveerlo de los nutrientes necesarios para renovar la materia orgánica y ayudar al

crecimiento y proliferación de microorganismos benéficos, todo esto contribuirá a mejorar las características de los suelos como textura y la capacidad de filtración y absorción de agua que permitirá un mejor crecimiento de las raíces favoreciendo a que las plantas tengan mayor absorción de nutrientes y más rápido crecimiento. Los biosólidos se pueden utilizar en diferentes clases de suelos como son suelos agrícolas, bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que necesitan recuperación (Limón, 2013).

Otra ventaja de los biosólidos es proveer nitrógeno y fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre, siendo su utilización de mayor ayuda que los fertilizantes químicos por ser menos dañinos sin mencionar su alto costo. Los biosólidos pueden ser añadidos al suelo lentamente para que las plantas en crecimiento asimilen sus nutrientes y así evitar que los lixiviados pasen y contaminen las aguas subterráneas (Limón, 2013).

A continuación se presenta una tabla de comparación entre fertilizantes comerciales y lodos estabilizados.

Tabla 5 Porcentaje de Nutrientes entre fertilizantes y lodos estabilizados (Tchobanoglous. George, s.f.).

	Nutrientes %		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Fertilizantes para usos agrícolas típicos	5	10	10
Valores típicos para lodos de agua residual estabilizados	3.3	2.3	0.3

Para que los lodos se puedan transformar en biosólidos deben cumplir ciertas características como tener una alta población de microorganismos que sean capaces de degradar toda la materia orgánica y nutrientes que se encuentran en las aguas

residuales, así como también deben tener la propiedad de flocular con una buena velocidad de sedimentación, hay que tomar en cuenta que los biosólidos podrían tener en su composición compuestos inorgánicos e inertes como metales que podrían estar en concentraciones tóxicas o no y de acuerdo a esto se deberá elegir el tipo de tratamiento al cual van a ser sometidos (Lituma, 2010).

Para la utilización de lodos en la agricultura deberían adoptarse algunos criterios en base a su composición como los siguientes:

- Tomar en cuenta la concentración de metales presentes en los biosólidos.
- Tener un límite de aplicación de los biosólidos
- Tomar en consideración la composición química, física y biológica del suelo en el cual se aplicarán los biosólidos.
- La utilización de los lodos de depuradora debe tener en cuenta las necesidades en nutrientes de las plantas, pero no debe perjudicar la calidad de los suelos ni la de las aguas superficiales y subterráneas (Manuel Mahamud, 1996).

Los lodos de las depuradoras de aguas residuales deberían utilizarse en agricultura siempre que esté regulada su utilización y se deben prohibir su utilización cuando la concentración de uno o de varios metales pesados en los suelos supere los valores límite que se fijen (Manuel Mahamud, 1996).

Los lodos no tratados, como ya se ha mencionado con anterioridad, dependiendo de sus características podrían inyectarse o enterrarse en el suelo, lo cual puede o no ser perjudicial para el ambiente y la salud.

No se debe permitir la utilización de biosólidos en pastos o en cultivos que serán utilizados para alimentación de animales, utilización en cultivos hortícolas y frutícolas durante el período de vegetación, con la excepción de los cultivos de árboles frutales.

Utilización en suelos destinados a cultivos de hortalizas o frutas que estén en contacto directo con el suelo y que normalmente se consuman crudas, esto deberá hacerse durante un período de diez meses antes de la cosecha y durante la cosecha misma (Manuel Mahamud, 1996).

Se deben realizar muestreos y análisis periódicos de los biosólidos y de los suelos sobre los que se han utilizado para evitar cualquier clase de impacto ambiental o problema de salud pública o algún problema animal. Es por esta razón que existan normativas, regulaciones que controlen la utilización de biosólidos en la agricultura. Estas regulaciones deben controlar:

- Las cantidades de lodo producidas y las que se dedican a la agricultura
- La composición y las características de los lodos
- El tipo de tratamiento que han tenido los lodos
- Los datos personales como nombres y direcciones de los destinatarios de los lodos y los lugares de utilización de los lodos (Legislación Europea, 1986)

A continuación como explica el autor Manuel Mahamud, hace una comparación de los valores máximos permitidos de presencia de metales pesados en biosólidos para ser utilizados en la agricultura, esta información fue sacada de las leyes ambientales americanas de la EPA de Estados Unidos y del USEPA de la legislación Europea.

Tabla 6 Concentración en el Biosólido (Manuel Mahamud, 1996).

METAL	Concentración en el biosólido (mg/kg)		Aporte de contaminante (kg/ha/año)	
	CE*	EUA	CE	EUA
Arsénico	-	75	-	2.0
Cadmio	20-40	85	0.15	1.9
Cromo	1000-1500	3000	3.0	150
Cobre	1000-1750	4300	12	75
Plomo	750-1200	840	15	15
Mercurio	16-25	57	0.1	0.85
Molibdeno	-	75	-	(0.90)
Níquel	300-400	420	3	21
Selenio	-	100	-	5.0
Zinc	2500-4000	7500	30	140

2.5 NORMATIVA VIGENTE EN EL ECUADOR.

En la actualidad el Ecuador no cuenta con una normativa que cuenten con los rangos y parámetros de control para la disposición final de lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales, es por esta razón que se tomarán en cuenta otras normativas internacionales para tener una idea de cómo se debería proceder en el país.

Se podrían tomar en cuenta muchas normativas internacionales de países como de Estados Unidos, o países de la Unión Europea que son países industrializados y más desarrollados que el Ecuador, pero esto no serviría mucho por las diferencias tecnológicas, industriales, económicas, etc. Es por esta razón que se utiliza para este estudio la normativa mexicana que es la que más se asemejaría a las costumbres, aspectos culturales, estilos de vida y características geográficas del Ecuador.

A continuación se detalla la normativa mexicana aplicable para los lodos de residuos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Ver. ANEXO II).

CAPITULO III

3 METODOLOGÍA

3.1. PROCEDIMIENTOS

3.1.1 DISEÑO DEL DIGESTOR ANAEROBIO

Para la fabricación del digestor y para recolectar el volumen de muestra a digestar se tomó en cuenta que la planta piloto de aguas residuales se encuentra expuesta a ciertas condiciones ajenas a las humanas y más influenciadas por factores biológicos y climáticos, razón por la cual la producción de lodos y biomasa no eran constantes y es por este motivo que se recolectó un volumen de lodo de 14,53 litros, los cuales 12,35 litros (85%) fueron del sedimentador primario y 2,18 litros (15%) fueron del sedimentador secundario que en ese momento estaban disponibles y se los colocó en un contenedor sellado con capacidad de 20 litros

El digestor utilizado para el proceso de digestión anaerobia se ubicó en la planta piloto de aguas residuales, junto al sedimentador primario para facilitar la recolección de los lodos, en el cuadro siguiente se realiza una descripción de las características principales del reactor:

Tabla 7 Dimensiones del Biodigestor (Carcelén Arcos, 2015).

CARATERISTICAS DELREACTOR	
Volumen tanque	0,020 m ³
Area Total	0,415 m ²
Altura	0,311 m
Diámetro	0,29 m
Área de cámara de gas	0,082 m ²
Área ocupada por los lodos	0,333m ²
Volumen de lodos	0,0145 m ³
Accesorios	Manguera de ½ pulgada, 2 adaptadores de tanque de una pulgada, 7 neplós de ½ pulgada, 2 neplós de una pulgada, 2 codos de ½ pulgada, 3 tapones de ½ pulgada, 2 válvulas de una pulgada, 1 válvula de ½ pulgada, agua destilada, teflón, cinta taipe.

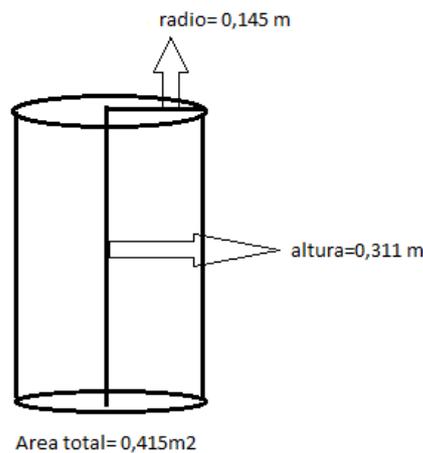


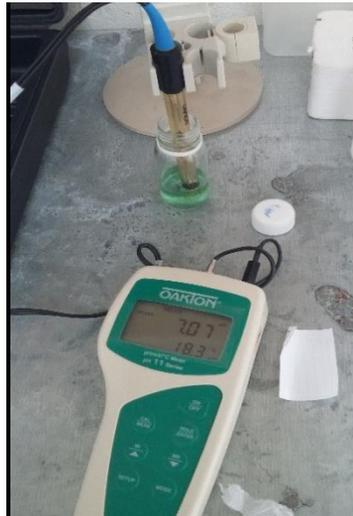
Figura N°5 (Carcelén Arcos, 2015) Dimensiones del digestor BATCH

En el biodigestor anaerobio se colocó una válvula de salida unida a una manguera y esta a su vez unida a un recipiente plástico sellado herméticamente para recolección del biogás (CH_4 , CO_2), se utilizaron los adaptadores de tanque colocados a diferente nivel, uno colocado en la parte media superior y el otro colocado en la parte inferior para la toma de muestra de los lodos, se utilizaron dos válvulas de una pulgada, este tamaño de válvula se lo tomó asumiendo la densidad y el espesor de los lodos, pero se sugeriría utilizar tuberías y válvulas de máximo $\frac{3}{4}$ y mínimo de $\frac{1}{2}$ pulgadas. Se colocaron 2 válvulas para ser conectadas a una bomba para recirculación de los lodos conectada a un temporizador para que la recirculación sea a lapsos de tiempos constantes, pero por cuestión costos se decidió adaptar un sistema manual de agitación de lodos que consistió en la unión de una varios neplos de tubería simulando aspas en la parte inferior y una “S” en la parte superior para que el operador lo pueda mover con facilidad cada cierto tiempo y así mantener la homogeneidad en el digestor como se puede observar en las fotografías (ANEXO II). Para evitar cualquier clase de fugas de gas se colocó silicona, teflón y cinta taipe en los posibles lugares de fuga.

3.1.2 PROCEDIMIENTO DE CAMPO

Se debe considerar que para fines de factibilidad y logística se decidió instalar el digester en la planta piloto de aguas residuales, junto al sedimentador primario, ya que allí se realizaron algunas determinaciones como pH, temperatura, alcalinidad, nitrógeno total Kjeldahl y fósforo total, los análisis restantes se los realizó en el Laboratorio Central de Control de Calidad (L3C) de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS).

Para la toma de muestras primero se homogenizó los lodos con movimiento manual de las aspas, posteriormente se colectó la muestra de lodos de la válvula inferior en un recipiente estéril de orina de aproximadamente 100 mL, posteriormente se procedió a realizar la medición de pH y temperatura como se muestra en las fotografías, para finalmente terminar con el análisis de alcalinidad medido por titulación con ácido sulfúrico 0.02 normal (H_2SO_4 , 0,02N). Hay que recalcar que como método de control de calidad de pH se tomaron medidas de control de pH y temperatura con el buffer de pH 7,0 y para la alcalinidad se valoró el ácido sulfúrico con carbonato de calcio ($CaCO_3$). Los procedimientos utilizados se basaron en el standard methods for the examination of water and wastewater, la edición 22. (Rice E.W., 2012)



(Carcelén Arcos, 2015). Fotografía de verificación del potenciómetro

A continuación se describe el procedimiento utilizado para la medición de pH y alcalinidad.

3.1.2.1 MÉTODO DE PH

- **OBJETIVO:**

El presente documento define las actividades que debe realizar el analista encargado de los ensayos para determinar pH.

- **ALCANCE:**

La determinación de pH abarca agua potable, agua cruda, agua superficial, agua subterránea, agua residual y agua de embalses, agua residual y lodos residuales en un rango que va desde 2 a 12 unidades de pH, estas medidas van acompañadas por la temperatura.

- **INSTRUMENTAL:**

Potenciómetro de Laboratorio marca OAKTON

- REACTIVOS:

Estándares de calibración de pH 4,01, 7,00 y 10,00

- CONDICIONES AMBIENTALES:

El rango de temperatura ambiente en la planta piloto de tratamiento de aguas residuales para realizar las determinaciones debe estar entre 15° y 30° C, y la humedad relativa no mayor que el 70%

- TÉCNICA

Preparación de la muestra:

Las muestras a ser analizadas no deben ser preservadas y deben ser leídas in situ.

Para verificar el equipo, antes de cada medición, se realiza la determinación de una la solución de pH 7.00 conocido, manteniendo los criterios de aceptación.

Si hay alguna desviación durante la verificación, se suspenden los análisis y se procede a una verificación del método y a la calibración del equipo.

3.1.2.2 MÉTODO DE ALCALINIDAD

- OBJETIVO:

Este método describe el procedimiento para la determinación de la alcalinidad por el método titulométrico.

- ALCANCE:

Este procedimiento se aplica a muestras de agua potable y agua cruda (superficial y subterránea) agua residual y lodos residuales, es utilizado para la determinación de la alcalinidad.

- **PRINCIPIO DEL MÉTODO**

Los iones hidroxilo presentes en una muestra, como resultado de disociación o hidrólisis de solutos, reacciona con adición de ácidos estándar y puede ser determinada por titulación o potenciométricamente observando puntos de inflexión en el pH a través de un indicador.

- **CONDICIONES AMBIENTALES**

El rango de temperatura ambiente en la planta piloto de aguas residuales para realizar las determinaciones debe estar entre 15 y 30°C, y la humedad relativa al 70%.

En caso de que el ítem de ensayo haya sido refrigerado, dejar estabilizar al menos una hora aproximadamente previo a la realización del análisis.

- **RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS:**

Las muestras fueron tomadas según Procedimiento Operativo tomar al menos 100mL de muestra, transportar las muestras bajo baño de hielo. Para almacenar la muestra refrigerar. Realizar el análisis en un tiempo recomendado de 24h y un máximo de 14 días después de la toma de la muestra.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

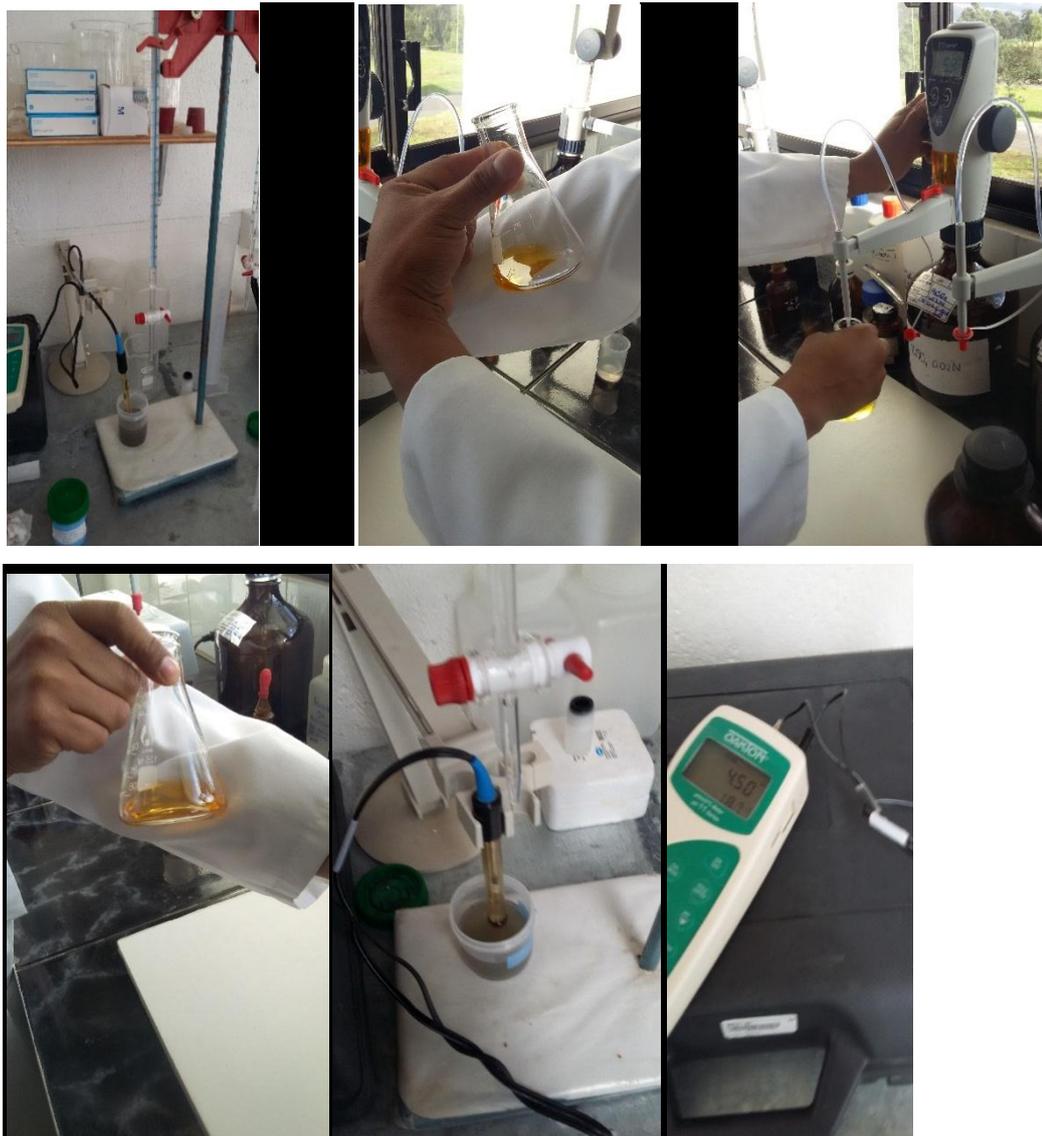
Estandarización del ácido: 25 ml de solución patrón de H₂SO₄ 0.02N se deben titular con aproximadamente 25 ml de solución patrón de Na₂CO₃ 0.02N, utilizando como indicador heliantina o utilizar el método potenciométrico

Valoración: Medir una alícuota de 50 ml de muestra para aguas residuales y 100mL de muestra para agua cruda o potable, para esto utilizar una pipeta volumétrica (calibrada a la temperatura ambiente), y colocar en un Erlenmeyer de 250 ml de capacidad.

- OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

$$\text{Alcalinidad Total}(\text{mgCaCO}_3 / \text{l}) = \frac{V(\text{ml})H_2SO_4 \times N_{H_2SO_4} \times eqCaCO_3}{\text{ml Muestra}} \times 1000$$

A continuación se presentan fotografías del control de verificación realizado al ácido sulfúrico, titulando carbonato de sodio 0,02 N. El cambio de color nos indica que el pH llegó al punto óptimo para la medición de bicarbonatos, otro método es por medición de pH con un potenciómetro hasta llegar a un pH de 4,5.



(Carcelén Arcos, 2015), Fotografías de valoración del ácido sulfúrico para realizar la determinación de la alcalinidad.

- 3.1.2.3. MÉTODO DE NITROGENO TOTAL KJELDAHL Y FÓSFORO TOTAL

Para el procedimiento de determinación de NTK y fósforo total se utilizó el método HACH que consisten en kits ya preparados con los reactivos listos para su uso, sólo se tiene que seguir las instrucciones que ahí se detallan, y al final de los procedimientos como digestión y a adición de otros reactivos se producen reacciones

colorimétricas que son directamente proporcionales a la concentración del analito que se está buscando y van a ser leídas en un espectrofotómetro dentro del rango de luz visible.





(Carcelén Arcos, 2015) Fotografías del Método colorimétrico HATCH para determinación de nitrógeno total Kjeldahl o NTK.

CAPITULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para iniciar el proceso de digestión anaerobia, hay que referirse a la concentración inicial de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles que fueron de 30600 y 21800 mg/l respectivamente y con una demanda química de oxígeno o DQO de 36440 mg/L. Estas son concentraciones relativamente bajas en comparación con otros meses de producción de lodos por ejemplo el 13 de enero del 2015 los sólidos suspendido totales o SST y los sólidos suspendidos volátiles o SSV de los lodos primarios fueron 72836 y 45572 mg/L respectivamente, con un DQO de 144799 mg/L y NTK de 1377 mg/L, esto nos indica que el factor climático puede ser un factor que influye en la producción y concentración de los lodos y biomasa de la planta piloto, ya que en periodos lluviosos el agua residual se diluye y las concentraciones de contaminantes bajan.

Para hacer una relación entre los lodos producidos en los diferentes meses y el mes en que se realizó el estudio, se presenta el siguiente gráfico de análisis de producción de lodos primarios de la planta piloto de aguas residuales basadas en los análisis de sólidos suspendidos totales y volátiles, y se puede observar como en ciertos meses no se realizó la toma de muestras por posibles factores que afectaron el proceso como pueden ser estos climáticos, microbiológicos o por características de los lodos y biomasa que no sedimentaban por ejemplo en el mes de febrero desde el 08 hasta el

18 del mismo mes no se realizó el muestreo posiblemente por cualquiera de los factores antes mencionados (Hazen and Sawyer, 2015).

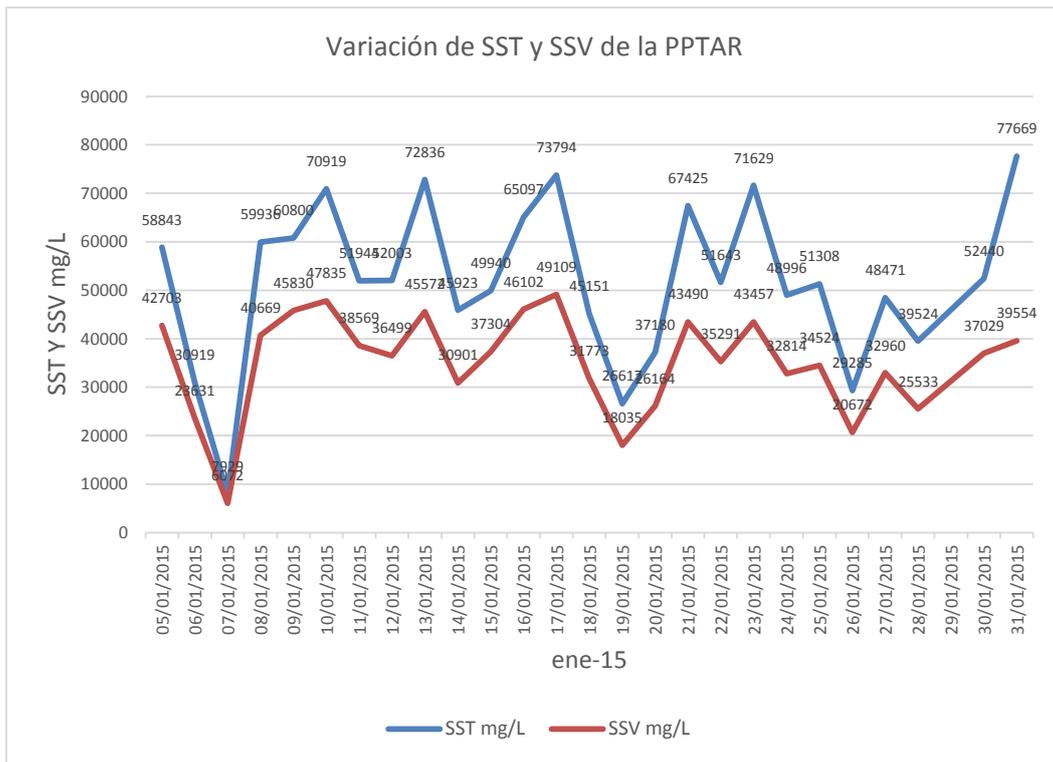


Gráfico 1 Variación de SST y SSV de la PPTAR en enero 2015 (Hazen and Sawyer, 2015)

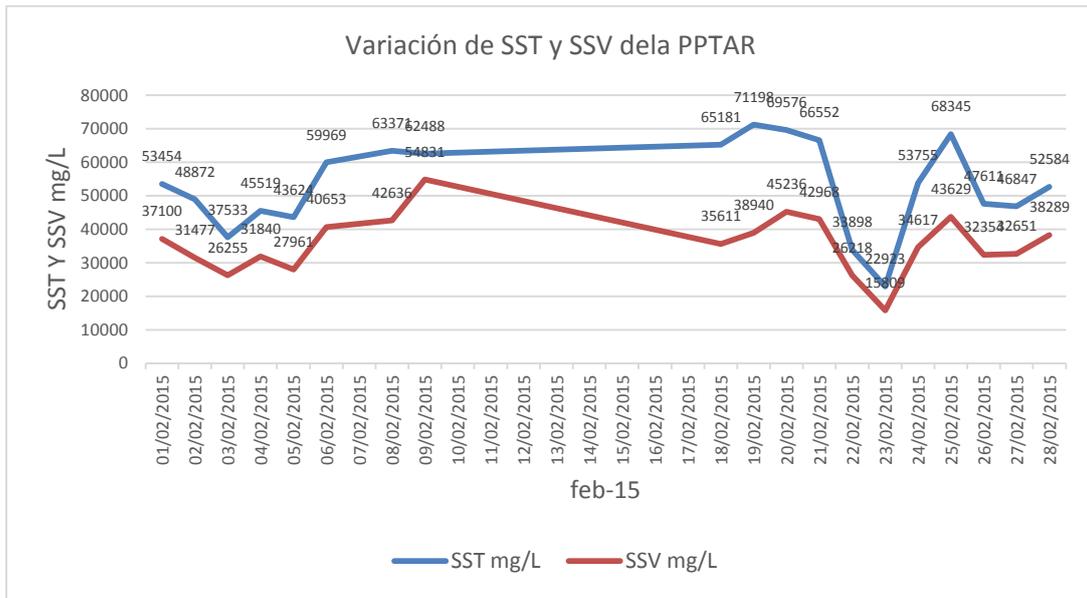


Gráfico 2 Variación de SST y SSV de la PPTAR en febrero 2015 (Hazen and Sawyer, 2015).

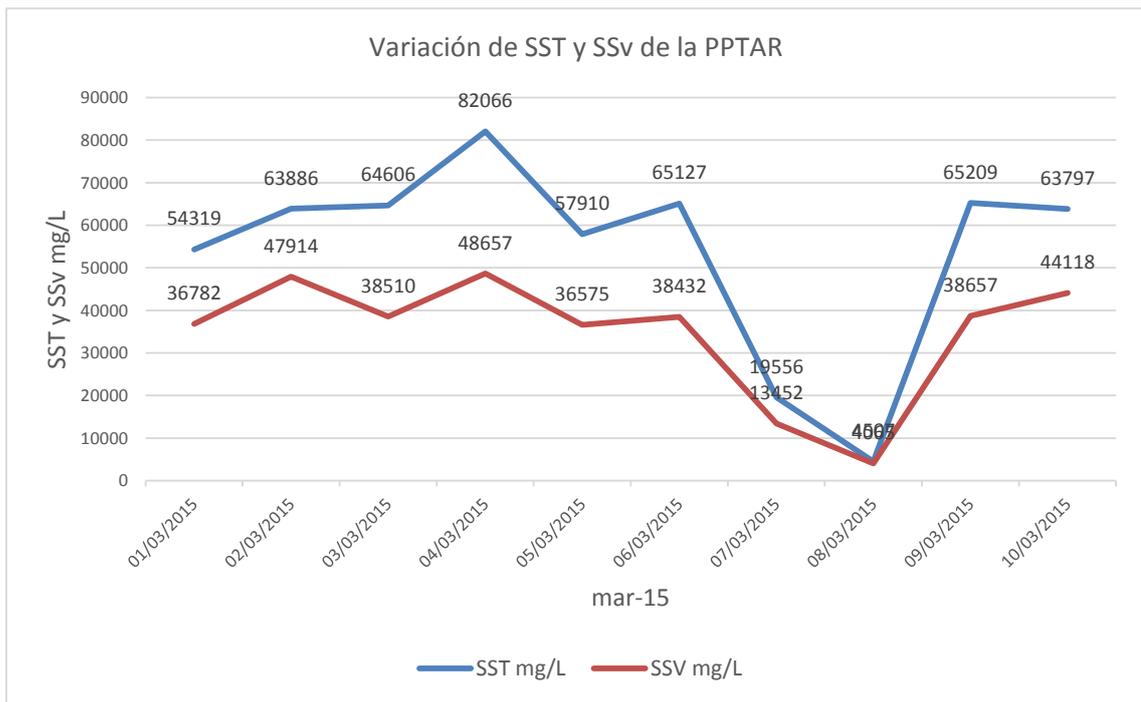


Gráfico 3 Variación de SST y SSV de la PPTAR en el mes de marzo 2015 (Hazen and Sawyer, 2015).

Continuando con el presente trabajo, se realizaron análisis de pH, temperatura, alcalinidad, sólidos suspendidos totales y volátiles, demanda química de oxígeno, nitrógeno total Kjeldhal, fósforo, y trazas de metales como arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc; no se realizó análisis de DBO5, ya que la principal cuestión o problema es que la DBO5 tarda el tiempo estandarizado de incubación de cinco días, y el consumo de oxígeno en realidad puede continuar por más tiempo, por lo que es inútil como mecanismo de control en tiempo real para un proceso de tratamiento de aguas. Por estos motivos se requieren métodos que sean más rápidos y sustituyan la DBO5 como mecanismos de control (Romero, 2001).

Para los análisis de datos se tomaron en cuenta los parámetros realizados y se los comparó en función del tiempo para medir la eficiencia del digestor anaerobio y su proceso de descomposición de materia orgánica como se seguirá viendo más adelante.

Se puede apreciar que el porcentaje de digestión de sólidos suspendidos totales se mantiene a lo largo del proceso de digestión anaerobia en los rangos del 31 al 55% con respecto al valor de los sólidos suspendidos totales iniciales, excepto en los primeros días, es así que al tercer día existe solo una disminución del 9,8%, al quinto día es del 20,92% y al séptimo día el porcentaje de digestión aumenta drásticamente al 72,39% y empieza a descender un poco al noveno día al 62,58% y a partir de este punto se mantienen los rangos antes mencionados.

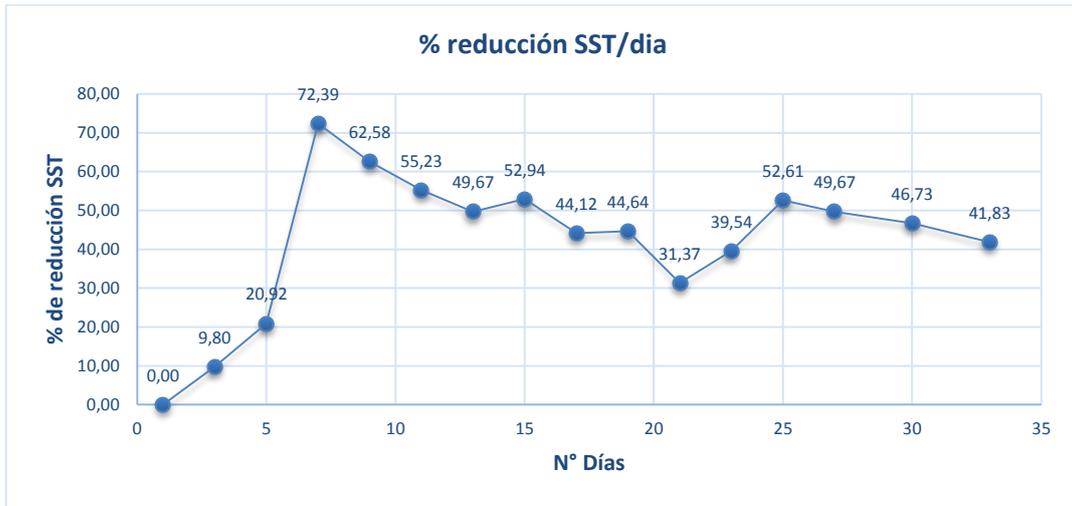


Gráfico 4 Reducción de SST por día (Carcelén Arcos, 2015).

Con respecto a los sólidos suspendidos volátiles en el siguiente gráfico se ve que los SSV son el mayor porcentaje de los sólidos suspendidos totales, estos representan el 60 y 70% de los SST, esto nos da una idea que la gran mayoría son materia orgánica volátil o digerible.

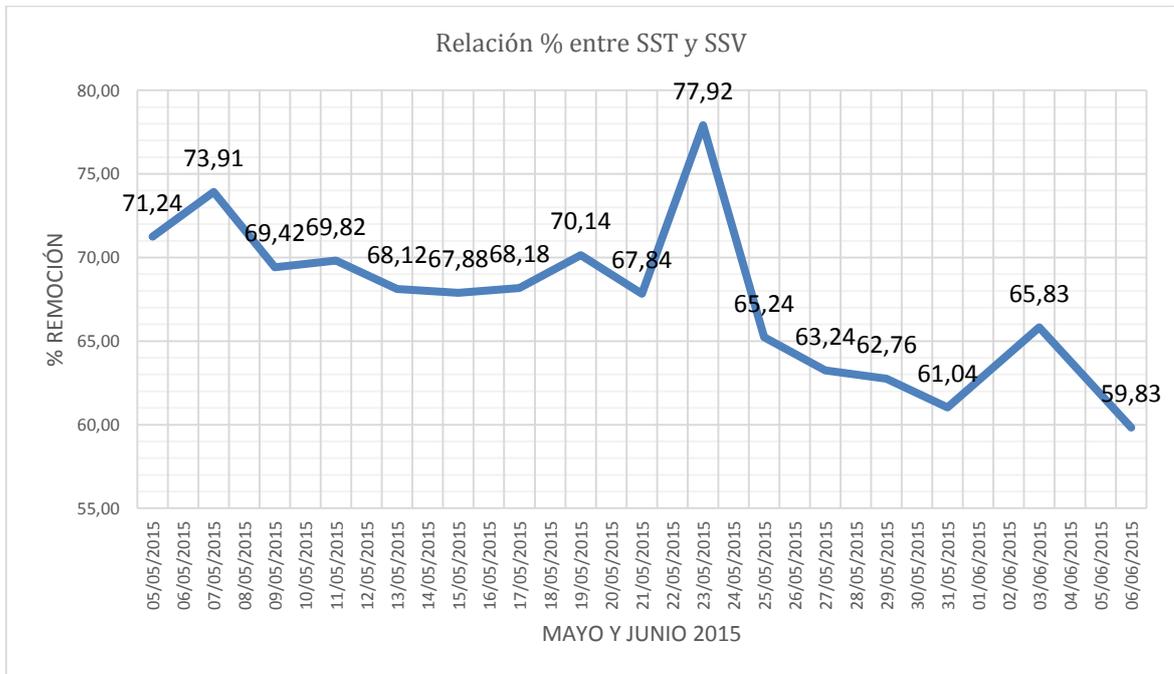


Gráfico 5 Relación % entre SST y SSV (Carcelén Arcos, 2015).

Continuando con el proceso de digestión anaerobia, al igual que en los SST, los Sólidos Suspendidos Volátiles son digeridos en porcentajes parecidos a los SST, los porcentajes de variación entre ellos son mínimos, es así que al tercer día existe solo una disminución del 6,42%, el quinto día es del 22,94% y al igual que en el caso anterior al séptimo día el porcentaje de digestión aumenta drásticamente al 72,94% y empieza a descender un poco al noveno día al 64,22% y a partir de este punto se mantienen los rangos entre 37 y 58%. Hay que resaltar que según lo establecido en la bibliografía estudiada (Yáñez, s.f.), dice que “*la efectividad de la digestión se mide usualmente por el porcentaje de sólidos en suspensión volátiles destruidos*” y basados en esto concluimos que sí existió buena digestión de los SSV y que el digester si estaba realizando su función.

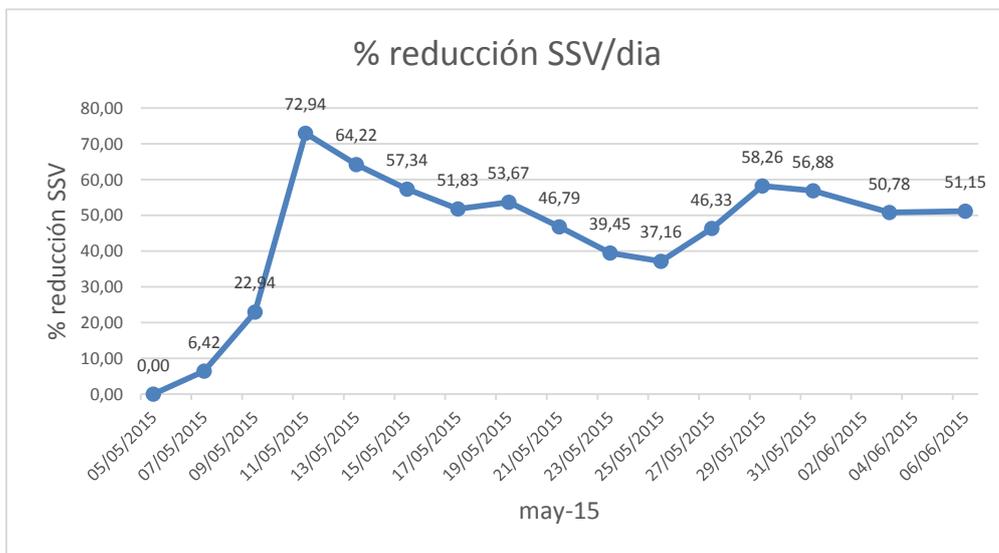


Gráfico 6 % reducción de SSV por día (Carcelén Arcos, 2015).

Para el caso de la demanda química de oxígeno o DQO se puede ver claramente que existe una disminución paulatina en los primeros días hasta el día séptimo que al igual que en los casos de los SST y SSV ocurre una disminución drástica de la DQO,

y a partir de ahí los valores de la DQO se mantienen entre los 16000 hasta los 26000 mg/L con una media de 21938mg/L, lo que se podría deber a que los microorganismos estaban cumpliendo su función de degradación de materia orgánica e inorgánica pero su metabolismo bacteriano había disminuido posiblemente por la presencia de algún compuesto inorgánico de difícil digestión presente en los lodos, pero la eficiencia en la digestión se mantuvo.

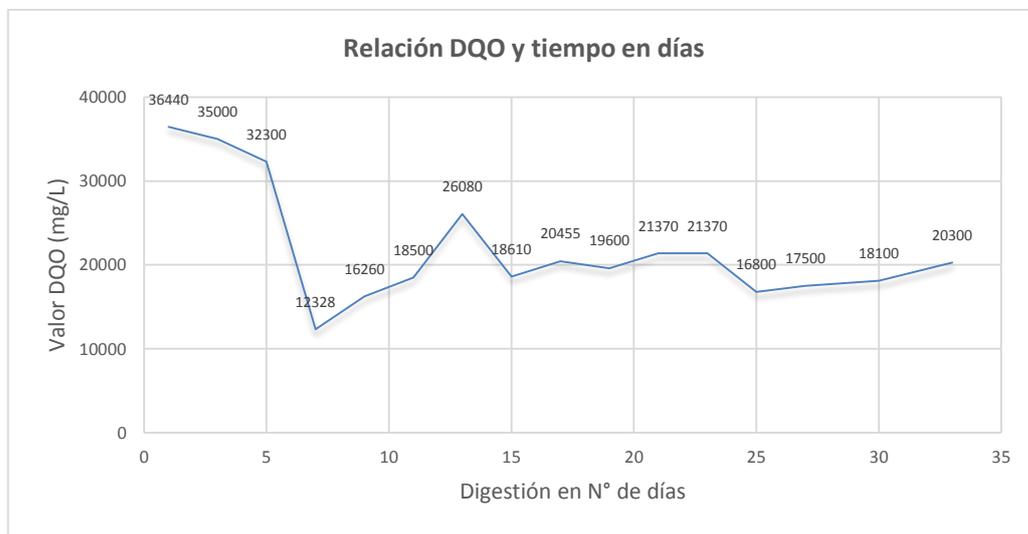


Gráfico 7 Relación DQO y tiempo en días (Carcelén Arcos, 2015).

Para el caso del pH se pudo ver cómo actúan las bacterias acidogénicas, ya que en los primeros días existió un descenso brusco de pH hasta un cierto nivel y a partir de este punto el valor del potencial hidrógeno empezó a subir paulatinamente, esto nos indica que puede ser el inicio de la fase de acetogénesis, y como se aprecia en el gráfico, la tendencia del pH es subir, asumiendo que el pH subirá hasta un valor óptimo para que se den los procesos de producción de metano o metanogénesis.



Gráfico 8 Relación pH y tiempo (Carcelén Arcos, 2015).

Para el caso de la alcalinidad, fue aumentando conforme pasaban los días como se puede ver en el gráfico siguiente, esto es un factor importante para el proceso de digestión y producción de metano como se ha dicho en los capítulos anteriores.

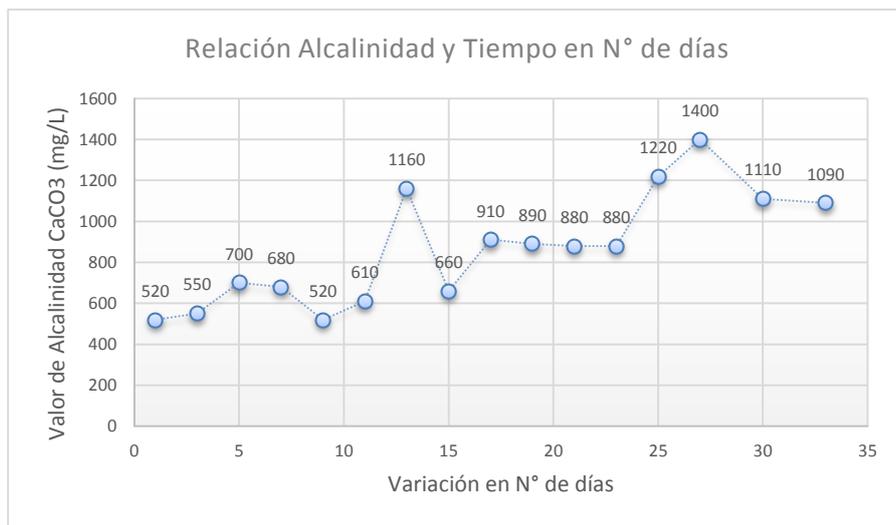


Gráfico 9 Relación Alcalinidad y Tiempo (Carcelén Arcos, 2015).

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a la bibliografía planteada a lo largo del proyecto se ha llegado a concluir lo siguiente:

- Sí la temperatura no es regulada o controlada, el periodo de retención puede extenderse por varios meses, es decir, los digestores anaerobios termófilos son más eficientes que los digestores anaerobios mesofílicos ya que sus tiempos de retención son más cortos y la producción de biogás será de igual manera en un tiempo menor, pero los digestores anaerobios mesofílicos aunque tengan tiempos de retención mayores no dejan de ser eficientes aunque la producción de biogás sea en tiempos mayores, ya que el pH se tarda más tiempo en llegar a valores óptimos para la producción del mismo como se ha demostrado a lo largo de este estudio.
- Existen muchas variables que necesitan ser controladas tales como temperatura, homogenización, agitación o mezcla, tiempos de retención, pH y alcalinidad, etc. Todos estos deben ser controlados porque estos influyen en la calidad del producto final del proceso de digestión.
- El tipo de agua a tratar es muy importante, ya que aquí se encuentran todos los nutrientes o sustrato y microorganismos para que se dé un excelente proceso de digestión.

- Los lodos provenientes del sedimentador primario tienen mayor concentración de sólidos, nutrientes y microorganismos que los lodos del sedimentador secundario y su pH es más ácido.

Entre las recomendaciones para mejorar la calidad del proceso y del producto final podemos mencionar lo siguiente:

- Se podría hacer diferentes pruebas para la mezcla entre los lodos primarios y los lodos secundarios para demostrar cuál de estas es la mejor y más óptima para un buen proceso de digestión anaerobio y optimización del proceso.
- Se debería dedicar más tiempo a este estudio y probar diferentes métodos, procesos y tipos de digestores anaerobios para definir cuál de estos sería el mejor para ser empleado a gran escala.
- La temperatura es uno de los factores más importantes, ya que es un catalizador de las reacciones químicas, es por esta razón que se la debería estabilizar y mejorar la temperatura del biodigestor utilizando alguna clase de recubrimiento sobre el tanque digestor como mantas de calentamiento, mantas normales, lonas, etc., o algún sistema de calentamiento externo que se encargue de calentar y mantener la temperatura del lodo mientras es recirculado manteniendo la temperatura constante a 35°C o más.
- Se debería además mejorar el sistema de agitación incorporando un motor al sistema de aspas unido a un temporizador para que el lodo este en constante agitación en tiempos iguales y siempre manteniendo una matriz homogénea, conjuntamente con la ayuda del temporizador se evitaría que el motor o la bomba se sobrecaliente por el funcionamiento excesivo y se quemara previniendo percances en el proceso.

- La adición de una bomba también es una buena opción para recircular el lodo a tiempos constantes y así obtener una mezcla más homogénea entre el sobrenadante y el lodo sedimentado. Estas opciones permitirían mejorar la calidad del proceso y de la biomasa manteniéndole más activa y por lo tanto el proceso de digestión podría mejorar, hay que mencionar que durante este estudio la agitación manual de lodo se la hizo durante periodos de tiempo aproximadamente constantes a lo largo del día, es por este motivo que se sugiere mejorar este sistema con un mecanismo automático.
- Se recomienda además que para la medición del biogás se debería utilizar un medidor de flujo de gases o gasómetro para medir su producción, además se sugiere que se debería hacer la caracterización del biogás para determinar la composición y los porcentajes de gases presentes en él. Un método sencillo de comprobación de producción de metano es encender con cuidado el gas que se está desprendiendo por la válvula de salida y enseguida se producirá la combustión del gas. En este caso de estudio no se pudo realizar este procedimiento, ya que para la obtención de biogás se necesitan tiempos de retención mucho más prolongados hasta que se tengan las condiciones óptimas de producción del mismo, y hay que recalcar también que este no es el objeto del estudio.
- Como se mencionó con anterioridad el estudio es muy interesante y requiere de más tiempo para realizarlo para obtener mejores resultados y que sean de mayor utilidad para la construcción de un digestor anaerobio a gran escala.
- Para finalmente concluir se puede decir que el proceso de digestión anaerobia de los lodos de la planta piloto de aguas residuales tuvo buenos resultados para la degradación de materia orgánica en un 50% con un tiempo de retención de 35 días,

pero para otros procesos se necesitará un mayor tiempo de retención hasta que se alcance condiciones óptimas como el pH para que se inicie el proceso de metanogénesis o producción de metano, pero en general podemos decir que sí se cumplió el objetivo planteado en la tesis y gracias a los resultados de los análisis realizados en el laboratorio se demuestra que sí podría ser factible la utilización de este biosólido para la agricultura, ya que se encuentra libre de metales, libre de patógenos y es rico en micronutrientes como fósforo (51,2mg/L), nitrógeno (66,4 mg/L) y el carbono está representado en la materia orgánica posiblemente para poder ser utilizado en la agricultura.

MATERIALES DE REFERENCIA (BIBLIOGRAFIA)

Bibliografía

Acosta Yaniris, Baya Ma. Cristina. (2005). *La digestión anaerobia aspectos teóricos*.

Obtenido de derivados de la caña de azúcar:

<http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>

AGROWASTE. (s.f.). *DIGESTION ANAEROBIA*. Obtenido de

<http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>

Alejandro Mauricio Hammeken Arana, E. R. (13 de mayo de 2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula*. Obtenido de Tratamiento de lodos:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/portada.html

AMBIENTAL. (27 de noviembre de 2010). *Que es un Biosólido*. Obtenido de

<http://tratamientosanitario.blogspot.com/2010/11/que-es-biosolido.html>

BIODIGESTORES. (s.f.). *TIPOS DE BIODIGESTORES*. Obtenido de <http://biodigestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>

- Carcelén Arcos, R. D. (2015). *Tratamiento de lodos por digestión anaerobia de la Planta Piloto de Aguas Residuales del colector “El Batán” del Distrito Metropolitano de Quito y su posible aplicación en la agricultura*. Quito: UISEK.
- Carolina Guzmán, Caludia Campos. (2004). *INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL EN BIOSÓLIDOS APLICADOS EN AGRICULTURA*. Obtenido de <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/4923/3798>
- CEDECAP. (abril de 2007). *Biodigestor de polietileno : construcción y diseño*. Obtenido de https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/8bib_arch.pdf
- Comission De L’Océan Indien,. (2013). *Biodigestores*. Obtenido de <http://www.commissionoceanindien.org/archives/environment.ioonline.org/fr/solid-waste-management/anaerobic-treatment-of-organic-waste.html>
- Crespo González, M. R. (2006). *USO DE UNA COMPOSTA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES COMO MEJORADOR DE SUELOS AGRÍCOLAS*. Obtenido de Avances en la Investigación Científica en el CUCBA: http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances_2006/Agronomia/CrespoGonzalezMarcosRafael/Crespo_Gonzalez_Marcos_Rafael.pdf
- Cruz, C. F. (noviembre de 2010). *Digestión anaerobia de lodos residuales secundarios en reactores en lote y continuo*. Obtenido de Tesis para la obtención del grado de Maestro en Biotecnología: <http://www.slideshare.net/nellyyvettebetancofigueroa/tesis-digestin-anaerobia>
- Díaz, J. (2014). *PROCESOS BIOLÓGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Universidad de Boyacá.

- Díaz-Báez, C., Espitia, E., Molina, F. . (2002). *Digestión Anaerobia, una Aproximación a la Tecnología*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>
- Evanylo, G. K. (2009). *CHEMISTRY, BIOAVAILABILITY, TRANSPORT, AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF NUTRIENTS, TRACE ELEMENTS, AND ORGANIC MATTER IN RESIDUAL BY-PRODUCTS*.
- Ferrer José, Seco Aurora,. (2010). *TRATAMIENTO BIOLÓGICOS DE AGUAS RESIDUALES*. Universidad Politécnica de Valencia .
- Google earth. (2015). *Google earth*.
- Hazen and Sawyer. (2015). *PLANTA METROPOLITANA PILOTO DE AGUAS RESIDUALES*. QUITO.
- Hernández, A. (2001). *DEPURACIÓN Y DESINFECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES 5ta Edición*. MADRID: Colegio de Ingenieros de Caminos.
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) . (octubre de 2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Obtenido de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf
- Imsaguas. (s.f.). *IMSAGUAS LTDA*. Obtenido de Planta de tratamiento de aguas : http://www.imsaguas.com/files/planta_tratamiento_agua_potable.pdf
- Laines José, Sosa José,. (2001). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO TIPO CÚPULA A ESCALA REAL PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS*. Obtenido de <http://www.redisa.uji.es/artSim2011/TratamientoYValorizacionDeResiduos/Dise%C3%B1o,%20construcci%C3%B3n%20y%20operaci%C3%B3n%20de%20un%20biodigestor%20anaerobio%20tipo%20c%C3%BApula%20a%20escala%20real%20para%20la%20obtenci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s.pdf>
- Legislación Europea. (12 de junio de 1986). *Utilización de lodos de depuradora en agricultura*. Obtenido de Directiva 86/278/CEE : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=URISERV:l28088>

- León, Junta de Castilla y. (5 de diciembre de 2011). *Normativa Europea*. Obtenido de http://www.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1131977551852/_/_/_
- Limón, J. (8 de julio de 2013). *LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO?* Obtenido de Tesis para la obtención de especialista en Ingeniería Química: http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf
- Lituma, P. (4 de octubre de 2010). *BIODIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS RESIDUALES, DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA*. Obtenido de Tesis previa a la obtención de Ingeniera Ambiental: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1522/13/UPS-CT001986.pdf>
- Manuel Mahamud. (24 de mayo de 1996). *BIOSÓLIDOS GENERADOS EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS*. Obtenido de http://www.researchgate.net/publication/39430804_Bioslidos_generados_en_la_depuracin_de_aguas_%28I%29_planteamiento_del_problema
- MARIANA TREJOS VÉLEZ, N. A. (junio de 2012). *PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA “COMESTIBLES LA ROSA” COMO ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DE BIOSÓLIDOS*. Obtenido de Proyecto de Grado para optar al título de Administrador Ambiental: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2775/1/62839T787.pdf>
- NORMA OFICIAL MEXICANNOM-004-SEMARNAT. (15 de agosto de 2003). *PROTECCION AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSOLIDOS.- ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL*. Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003

Rice E.W., R. B. (2012). *STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER*, edición 22. USA.

Rittmann , B., & McCarthy, P. (2001). *BIOTECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE*. España: McGraw-Hill.

Romero, J. (2001). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sawyer, H. a. (2015). *PROCESOS PARA ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES VINDOBONA,*. QUITO.

Tchobanoglous. George, B. F. (s.f.). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Fourth Edition*. Obtenido de http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TCHOBANOGLOUS%20et%20al.%202003%20

Yáñez, F. (s.f.). *Digestión anaeróbica de lodos*. Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/05862/05862-16.pdf>

Zambrano Colombo, Saltos Xavier. (22 de julio de 2009). *DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de Principales tipos de tratamiento de aguas residuales: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/30/CAPITULO%203.pdf>

ANEXOS

ANEXO I (NORMA OFICIAL MEXICANOM-004-SEMARNAT, 2003)

NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCION AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSOLIDOS.- ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL.

CASSIO LUISELLI FERNANDEZ, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, II, IV, V y 39 fracciones I, VIII y XXI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 8 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; 5o. fracciones V y VI, 36, 37, 37 Bis, 119, 139 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 5o. fracción VI y 6o. del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental; 38 fracción II, 40 fracciones I y X; 41, 43, 44 y 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28, 31 fracción II, 33 y 34 de su Reglamento, expide la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, y

CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo establecido en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, con fecha 18 de febrero de 2002 se publicó en el **Diario Oficial de la Federación**, con carácter de proyecto la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001, Protección ambiental- Lodos y biosólidos- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, con el fin de que dentro de los 60 días naturales siguientes a su publicación, los interesados presentaran sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sito en bulevar Adolfo Ruiz Cortines número 4209, piso 5o., colonia Jardines en la Montaña, código postal 14210, Delegación Tlalpan, Distrito Federal o se enviaron al correo electrónico o al fax que para el efecto se señalaron. Durante el citado plazo, la Manifestación de Impacto Regulatorio correspondiente estuvo a disposición del público en general para su consulta en el citado domicilio, de conformidad con el artículo 47 fracción I del citado ordenamiento.

Que en el plazo de los 60 días antes señalado, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto en cuestión, los cuales fueron analizados por el citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes al mismo. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales publicó las respuestas a los comentarios recibidos en el **Diario Oficial de la Federación** el día 18 de junio de 2003.

Que habiéndose cumplido con el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en sesión ordinaria de fecha 24 de septiembre de 2002, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Lodos y biosólidos-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Por lo expuesto y fundado se expide la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCION AMBIENTAL-LODOS Y BIOSOLIDOS-ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL

INDICE

0. Introducción

1. Objetivo y campo de aplicación

2. Referencias

3. Definiciones

4. Especificaciones

5. Muestreo y métodos de prueba

6. Evaluación de la conformidad

7. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales

8. Bibliografía

9. Observancia de esta Norma

Anexos

I Opciones para la reducción de atracción de vectores

II Método de muestreo de lodos y biosólidos

III Método para la cuantificación de coliformes fecales en lodos y biosólidos

IV Método para la cuantificación de *Salmonella spp.*, en lodos y biosólidos

V Método para la cuantificación de huevos de helmintos en lodos y biosólidos

VI Método para la cuantificación de metales pesados en biosólidos

VII Contenido de la bitácora de control de lodos y biosólidos

0. Introducción

En las actividades de desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, así como en las correspondientes a la operación de las plantas potabilizadoras y de plantas de

tratamiento de aguas residuales se generan volúmenes de lodos, que en caso de no darles una disposición final adecuada, contribuyen de manera importante a la contaminación de la atmósfera, de las aguas nacionales y de los suelos, afectando los ecosistemas del área donde se depositen.

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

1. Objetivo y campo de aplicación

1.1 Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

1.2 Campo de aplicación

Es de observancia obligatoria para todas las personas físicas y morales que generen lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

2. Referencias

Constancia de no peligrosidad de residuos, anteriormente trámite INE-04-007 modificada su homoclave el 29 de mayo de 2003, mediante el acuerdo por el que se dan a conocer todos los trámites y servicios inscritos en el Registro Federal de Trámites y Servicios que aplica la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ahora procedimiento SEMARNAT-07-007.

NMX-B-231-1990, Cribas para la clasificación de materiales granulares, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de diciembre de 1990.

3. Definiciones

Para efectos de la presente Norma Oficial Mexicana, se establecen las siguientes definiciones:

3.1 Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

3.2 Almacenamiento

Acción de mantener en un sitio los lodos y biosólidos, hasta su aprovechamiento o disposición final.

3.3 Aprovechamiento

Es el uso de los biosólidos como mejoradores o acondicionadores de los suelos por su contenido de materia orgánica y nutrientes, o en cualquier actividad que represente un beneficio.

3.4 Atracción de vectores

Es la característica de los lodos y biosólidos para atraer vectores como roedores, moscas, mosquitos u otros organismos capaces de transportar agentes infecciosos.

3.5 Biosólidos

Lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento.

3.6 Coliformes fecales

Bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Bacilos cortos Gram negativos no esporulados, también conocidos como coliformes termotolerantes. Pueden identificarse por su tolerancia a temperaturas de 44°C-45°C. Tienen la capacidad de fermentar la lactosa a temperatura de 44.5°C. Incluyen al género *Escherichia* y algunas especies de *Klebsiella*.

3.7 Desazolve

La acción de extraer sólidos provenientes de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no incluye los provenientes de las presas o vasos de regulación.

3.8 Digestión aerobia

Es la transformación bioquímica de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en bióxido de carbono y agua por los microorganismos en presencia de oxígeno.

3.9 Digestión anaerobia

Es la transformación bioquímica de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en gas metano y bióxido de carbono y agua por los microorganismos en ausencia de oxígeno disuelto y combinado.

3.10 Disposición final

La acción de depositar de manera permanente lodos y biosólidos en sitios autorizados.

3.11 Estabilización

Son los procesos físicos, químicos o biológicos a los que se someten los lodos para acondicionarlos para su aprovechamiento o disposición final para evitar o reducir sus efectos contaminantes al medio ambiente.

3.12 Estabilización alcalina

Es el proceso mediante el cual se añade suficiente cal viva (óxido de calcio CaO) o cal hidratada (hidróxido de calcio Ca(OH)_2) o equivalentes, a la masa de lodos y biosólidos para elevar el pH.

3.13 Helminto

Término designado a un amplio grupo de gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales), de vida libre, con forma y tamaños variados. Poseen órganos diferenciados, y sus ciclos vitales comprenden la producción de huevos o larvas, infecciosas o no.

3.14 Huevos de helmintos viables

Huevos de helmintos susceptibles de desarrollarse e infectar.

3.15 La Secretaría

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

3.16 Límite máximo permisible

Valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido por los lodos y biosólidos para que puedan ser dispuestos o aprovechados.

3.17 Lixiviado

Líquido proveniente de los lodos y biosólidos, el cual se forma por reacción o percolación y que contiene contaminantes disueltos o en suspensión.

3.18 Lodos

Son sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

3.19 Mejoramiento de suelos

Es la aplicación de los biosólidos en terrenos para mejorar sus características físicas, químicas o microbiológicas.

3.20 Muestra

Parte representativa de un universo o población finita, obtenida para conocer sus características.

3.21 Parásito

Organismo animal o vegetal que vive sobre o dentro de un individuo de otra especie.

3.22 Patógeno

Microorganismo capaz de causar enfermedades, si está presente en cantidad suficiente y condiciones favorables.

3.23 *Salmonella spp.*

Bacilos móviles por sus flagelos peritricos, que fermentan de manera característica glucosa y manosa sin producir gas, pero no fermentan lactosa ni sacarosa. La mayoría produce sulfuro de hidrógeno (H₂S). A menudo, son patógenos para el hombre y los animales cuando se ingieren, ocasionando fiebre tifoidea y enterocolitis (conocida también como gastroenteritis).

3.24 Sistema de alcantarillado urbano o municipal

Es el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de un servicio público de alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiéndose como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales.

3.25 Sólidos Totales (ST)

Son los materiales residuales que permanecen en los lodos y biosólidos, que han sido deshidratados entre 103°C a 105°C, hasta alcanzar un peso constante y son equivalentes en base a peso seco.

3.26 Sólidos Volátiles (SV)

Son sólidos orgánicos totales presentes en los lodos y biosólidos, que se volatilizan cuando éstos se queman a 550°C en presencia de aire por un tiempo determinado.

3.27 Tasa Específica de Absorción de Oxígeno (TEAO)

Es la masa de oxígeno consumida por unidad de tiempo y por unidad de masa en peso seco de los sólidos totales de los lodos y biosólidos.

3.28 Terrenos con fines agrícolas

Son las superficies sobre las cuales se pueden cultivar productos agrícolas para consumo humano y animal, incluyendo los pastizales.

4. Especificaciones

4.1 Las personas físicas o morales interesadas en llevar a cabo el aprovechamiento o disposición final de los lodos y biosólidos a que se refiere esta Norma Oficial Mexicana, deberá de recabar la constancia de no peligrosidad de los mismos en términos del trámite SEMARNAT-07-007.

4.1.1 En el caso del proceso de estabilización alcalina, las muestras de lodos deben ser tomadas antes de ser sometidas a este proceso.

4.2 Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la especificación 4.1, pueden ser manejados como residuos no peligrosos para su aprovechamiento o disposición final como se establece en la presente Norma Oficial Mexicana.

4.3 Para que los biosólidos puedan ser aprovechados, deben cumplir con la especificación 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8; y lo establecido en las tablas 1, 2 y 3 de la presente Norma Oficial Mexicana.

4.4 Los generadores de biosólidos deben controlar la atracción de vectores, demostrando su efectividad. Para lo cual se pueden aplicar cualquiera de las opciones descritas, de manera enunciativa pero no limitativa, en el Anexo 1 u otras que el responsable demuestre que son útiles para ello. Se deben conservar los registros del control por lo menos durante los siguientes 5 (cinco) años posteriores a su generación.

4.5 Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana 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.

4.6 Los límites máximos permisibles de metales pesados se establecen en la tabla 1.

TABLA 1

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSOLIDOS

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

4.7 Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en la tabla 2.

TABLA 2

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA PATOGENOS Y PARASITOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS

	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

NMP número más probable

4.8 El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la tabla 3 y su contenido de humedad hasta el 85%.

TABLA 3

APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS

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

4.9 La aplicación de los biosólidos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se sujetará a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia.

4.10 Para la disposición final de los lodos y biosólidos, éstos deben cumplir con la especificación 4.1 y con los límites máximos permisibles para el contenido del indicador de contaminación, patógenos y parásitos especificados en la tabla 2, para clase C.

4.11 Los sitios para la disposición final de lodos y biosólidos, serán los que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en la materia.

4.12 Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana, pueden ser almacenados hasta por un periodo de dos años. El predio en el que se almacenen debe ser habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo y contar con un sistema de recolección de lixiviados.

4.13 Se permite la mezcla de dos o más lotes de lodos o biosólidos, siempre y cuando ninguno de ellos esté clasificado como residuo peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana.

4.14 Muestreo y análisis de lodos y biosólidos

El generador de lodos y biosólidos por medio de laboratorios acreditados debe realizar los muestreos y análisis correspondientes para demostrar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana y deberá conservar los registros por lo menos los siguientes 5 (cinco) años posteriores a su realización.

4.15 La frecuencia de muestreo y análisis para los lodos y biosólidos se realizará en función del volumen de lodos generados como se establece en la tabla 4.

TABLA 4

FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANALISIS PARA LODOS Y BIOSOLIDOS

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

4.16 El generador podrá quedar exento de realizar el muestreo y análisis de alguno o varios de los parámetros establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, siempre y cuando la detección de éstos sea en cantidades menores que los límites máximos establecidos, o cuando por la procedencia de los lodos y biosólidos éstos no contengan los contaminantes regulados en la presente Norma Oficial Mexicana, en ambos casos, deberá manifestarlo ante la Secretaría por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad se reserva el derecho de verificar dicha información.

4.17 El generador deberá contar con una bitácora de control de lodos y biosólidos, de acuerdo a lo establecido en el Anexo VII.

5. Muestreo y métodos de prueba

Para el muestreo y determinación de los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma, se deberán aplicar los métodos de prueba establecidos en los anexos II, III, IV, V y VI de la presente Norma Oficial Mexicana.

6. Evaluación de la conformidad

La evaluación de la conformidad de la presente Norma Oficial Mexicana se realizará a petición de parte, de conformidad a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

El procedimiento de verificación se realizará por la PROFEPA o por las unidades de verificación y laboratorios acreditados y aprobados para llevar a cabo la verificación. En caso de que existan unidades de verificación acreditadas para la presente Norma, la verificación se realizará exclusivamente a través de las mismas.

7. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales

Esta Norma Oficial Mexicana no concuerda con ninguna norma o lineamiento internacional, tampoco existen normas mexicanas que hayan servido de base para su elaboración.

8. Bibliografía

8.1 A Guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule. EPA 832-B-93-005.

Environmental Protection Agency USA. September 1995. (Guía para la evaluación de riesgos en los biosólidos por la EPA. Parte 503, Reglamento EPA 832-B-93-005.- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América. Septiembre 1995).

8.2 A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. EPA/832/R-93/003. Environmental Protection Agency USA. September 1994. (Guía sencilla de la EPA. Parte 503 Biosólidos Reglamento EPA/832/R-93/003.- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América. Septiembre 1994).

8.3 APHA, AWWA, WPCF. 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Ed. American Public Health Association. Washington, D.C. (Métodos establecidos para el análisis de agua y agua residual. 18ava. Edición. Asociación Americana de Salud Pública. Washington, D.C.).

8.4 Biosolids Treatment and Management. Processes for Beneficial Use. Marcel Dekker, Inc. 1996. (Tratamiento y Manejo de los Biosólidos.- Procesos para Uso Benéfico.- Marcel Dekker, Inc. 1996).

8.5 Campos, R., Maya, C. y Jiménez, B. Estabilización Térmica Alcalina de Lodos Químicos con un Alto Contenido de Microorganismos Patógenos . XIX Encuentro Nacional AMIDIQ, Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, A.C. Memorias pp. 365-366, Ixtapa- Zihuatanejo, Gro., del 13 al 15 de mayo de 1998.

8.6 Environmental Regulations and Technology. Use And Disposal Of Municipal Wastewater Sludge. EPA 625/10-84-003. Environmental Protection Agency USA. September 1984. (Tecnologías y Regulaciones Ambientales.- Uso y disposición de lodos de aguas municipales. EPA 625/10-84-003. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América. Septiembre 1984).

8.7 Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens in Municipal Wastewater Sludge. EPA/625/10-89/006. Environmental Protection Agency USA. September 1989. (Tecnologías y Regulaciones Ambientales.- Control de Patógenos en lodos de aguas

municipales. EPA/625/10-89/006. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América. Septiembre 1989).

8.8 Fundamento técnico para la elaboración de la Norma Oficial Mexicana en materia de estabilización, manejo y aprovechamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas municipales e industriales. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1997.

8.9 Geochemistry, Groundwater and Pollution. C.A.J. Appelo y D. Postma.- A.A. Balkema/Rotterdam/ Brookfield/1996. (Geoquímica, aguas subterráneas y contaminación. C.A.J. Appelo y D. Postma.- A.A. Balkema/ Rotterdam/ Brookfield/ 1996).

8.10 Goepfert, J., Olson, N. and Marth, E., 1968. Behavior of *Salmonella typhimurium* During Manufacture and Curing of Cheddar Cheese. Applied Microbiology. 16: 862-866. (Comportamiento de la *Salmonella typhimurium* durante el procesamiento y curado del queso Cheddar. Microbiología aplicada 16: 862-866.

8.11 Ground Water, Quality Protection. Larry W. Canter, Robert C. Knox y Deborah M. Fairchild. Lewis Publishers, Inc. 198 (Aguas subterráneas, características de protección.- Larry W. Canter, Robert C. Knox y Deborah M. Fairchild. Lewis Publishers, Inc. 1987).

8.12 Guía para el manejo, tratamiento y aprovechamiento de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales. Comisión Nacional del Agua. SGIHUI. 1994.

8.13 Guía para el manejo, estabilización y disposición de lodos químicos. Tema Potabilización. Comisión Nacional del Agua. SGIHUI. 1994.

8.14 Jawetz, E., Melnick, J. y Adelberg, E., 1995. Microbiología Médica. Ed. Manual Moderno. México. pp. 803.

8.15 Jiménez B., Barrios, J.A. and Maya, C. 1999. Class B Biosolids Production from Wastewater Sludge with High Pathogenic Content Generated in an Advanced Primary Treatment. Disposal and Utilisation of Sewage Sludge: Treatment Methods and Application Modalities. Water Resources, Hydraulics and Maritime Engineering NTUA. Athens, Greece 13-15 October 1999 (Producción de biosólidos clase B de los lodos de aguas residuales con alto contenido patógeno generados en un tratamiento primario avanzado. Disposición y utilización de lodos residuales. Métodos de tratamiento y técnicas de aplicación. Recursos de agua, ingeniería marítima e hidráulica NTUA. Atenas, Grecia, 13-15 octubre 1999).

8.16 Jiménez C.B., Muñoz C.A. M. y Barrios Pérez, J. A., 1997. Fundamento Técnico para la Elaboración de la Norma Oficial Mexicana en Materia de Estabilización, Manejo y Aprovechamiento de Lodos Provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Municipales e Industriales. Elaborado para la Comisión Nacional del Agua (CNA) por el Instituto de Ingeniería, UNAM. Proyecto 8313, pp. 107 (diciembre, 1997).

8.17 Jiménez, B., Chávez, A., Barrios, J.A., Maya, C. y Salgado, G., 1998. Manual Curso: Determinación y Cuantificación de Huevos de Helminto Norma Mexicana NMX-AA-113-SCFI/992 . Grupo Tratamiento y Reuso, Instituto de Ingeniería UNAM. pp. 160,

8.18 Jiménez, B., Maya, C. y Pulido, M., 1996. Evaluación de las Diversas Técnicas para la Detección de los Huevos de Helminto, y Selección de una para Conformar la NMX Correspondiente. Instituto de Ingeniería, UNAM. México. pp. 52.

8.19 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 1996.

8.20 Manual of good practice for utilization of sewage sludge in agriculture. 2nd. Revision october 1991. Anglian Water. (Manual de buenas prácticas para la utilización de lodos residuales en la Agricultura.- 2a. Revisión octubre 1991. Agua).

8.21 Miller, V. And Banwart, G., 1965. Effect of Various Concentration of Brilliant Green and Bile Salts on Salmonellae and Other Microorganisms. Applied Microbiology. 13: 77-80. (Efecto de varias concentraciones de sales de verde brillante y biliarias en la *Salmonella* y otros microorganismos. Microbiología aplicada. 13: 77-80).

8.22 Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL/1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. (**Diario Oficial de la Federación** 6 de enero de 1997).

8.23 Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI/1993, Sistema General de Unidades de Medida. (**Diario Oficial de la Federación** 14 de octubre de 1993).

8.24 Norma Oficial Mexicana NMX-AA-015-1985, Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Muestreo-Método de Cuarteo-Environmental Protection-Soil Pollution-Municipal Solid Residues-Sampling-Quarter Method (**Diario Oficial de la Federación** 18 de marzo de 1985).

8.25 Norma Mexicana NMX-AA-113-SCFI/1999, Análisis de Agua.- Determinación de Huevos de Helminto. Método de Prueba. (**Diario Oficial de la Federación** 5 de agosto de 1999).

8.26 Reglamento de lodos de clarificación. Alemania. 15 de abril de 1992.

8.27 Reglamentación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S.E.P.A.) para el Uso o Aplicación de Lodos de Drenaje, Parte 503 del 40 CFR, publicada en el Federal Registry el 19 de febrero de 1993.

8.28 Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos. (**Diario Oficial de la Federación** 25 de noviembre de 1988).

8.29 Santos Mendoza, Salvador. Estabilización con Cal de Lodos de la Planta Piloto del Tratamiento Primario Avanzado . Ingeniería Ambiental, DEPI- UNAM. 15 de junio de 1998. Tesis de Maestría.

8.30 Santos M., S., Campos M., R. y Jiménez C., B. Una Opción de Manejo para el Lodo Generado al Tratar el Agua Residual del Gran Canal de la Ciudad de México. 1er. Simposio Latinoamericano de Tratamiento y Reuso del Agua y Residuos Industriales. Memorias Tomo I, pp. 28-1-28-10, del 25 al 29 de mayo de 1998, México, D.F.

8.31 Satchwell, G.M., 1986. An Adaptation of Concentration Techniques for the Enumeration of Parasitic Helminth Eggs from Sewage Sludge (Adaptación de la Técnica de Concentración para la Enumeración de Huevos de Helmintos Parásitos Provenientes de Lodos Residuales). Water Res. 20: 813-816.

8.32 Schaffner, C., Mosbach K., Bibit V. and Watson C., 1967. Coconut and *Salmonella* Infection. *Applied Microbiology*. 15: 471-475. (Infección de la *Salmonella* y coco. *Microbiología aplicada*. 15: 471-475).

8.33 Shiflett M., Lee J. and Sinnhuber, R., 1967. Effect of Food Additives and Irradiation on Survival of *Salmonella* in Oysters. *Applied Microbiology*. 15: 476-479. (Efecto de aditivos alimenticios e irradiación en la supervivencia de la *Salmonella* en ostras. *Microbiología aplicada*. 15: 476-479).

8.34 Silliker, J. Deibel, R. and Chiu, J., 1964. Occurrence of Gram-Positive Organisms Possessing Characteristics Similar to Those of *Salmonella* and the Practical Problem of Rapid and Definitive *Salmonella* Identification. *Applied Microbiology*. 12: 395-399. (Aparición de organismos Gram positivos, poseyendo características similares a la *Salmonella*, y el problema práctico de identificación rápida y definitiva de *Salmonella*. *Microbiología aplicada*. 12: 395-399).

8.35 Silliker, J., Deibel, R. and Fagan, P., 1964. Isolation of *Salmonella* from Food Samples: VI Comparison of Methods for the Isolation of *Salmonella* from Egg Products. *Applied Microbiology*. 12: 224- 228. (Aislamiento de la *Salmonella* de muestras alimenticias: VI. Comparación de métodos para el aislamiento de la *Salmonella* desde productos de huevo. *Microbiología aplicada*. 12: 224-228).

8.36 Sludge Management & Disposal. For The Practicing Engineer. P.A. Vesilind, G.C., Hartman y E.T., Skene. Lewis Publishers, Inc. 1986. (Manejo y disposición de lodos. Para Ingenieros Profesionales. P.A. Vesilind, G.C. Hartman y E.T., Skene. Lewis Publishers, Inc. 1986).

8.37 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th. Edition. American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environment Federation. 1995. (Métodos Estándar para la examinación del agua y aguas residuales, 19th. Edición Asociación Americana de salud pública. Asociación Americana de aguas tratadas. Federación Ambiental del Agua 1995).

8.38 Sludge Stabilization. Manual of Practice FD-9. Facilities Development. Water Environment Federation 1993. (Estabilización de lodos. Manual de prácticas FD-9. Facilidades de Desarrollo. Federación Ambiental del Agua 1993).

8.39 Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge; Final Rules. 40 CFR Parts 257, 403 and 503. Environmental Protection Agency. USA. Federal Register Friday February 19, 1993. (Estándares para el Uso o Disposición de lodos residuales, Reglamento 40 CFR Parte 257, 403 y 503. Agencia de Protección Ambiental de EUA. Registro Federal 19 de febrero de 1993).

8.40 Sludge Conditioning. Manual of Practice FD-14. Water Pollution Control Federation. 1988. Alexandria, VA. (Manual de prácticas de acondicionamiento de lodos FD-14. Federación para el control de la contaminación en el agua. 1988.) y Alejandría, V. A.

8.41 Stuart, P. and Pivnick, H., 1965. Isolation of *Salmonellae* by Selective Motility Systems *Applied Microbiology* 13: 365-372 (Aislamiento de la *Salmonella* por selectos sistemas de motilidad. *Microbiología aplicada* 13: 365-372).

8.42 Taylor, W., Betty, C. and Muriel, E., 1964. Comparison of Two Methods for Isolation of *Salmonella* from Imported Foods. *Applied Microbiology* 12: 53-56. (Comparación de dos

métodos para el aislamiento de *Salmonella* de alimentos importados. Microbiología aplicada. 12: 53-56).

8.43 US EPA 1994, Land Application of Sewage Sludge: A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use of Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503. Water Environment Federation. USA. pp. 62. (Aplicación de lodos residuales al suelo: una Guía para aplicadores al suelo en los requerimientos de las normas federales para el uso y disposición de lodos residuales, 40 CFR Parte 503. Federación Ambiental del Agua. EUA. pp. 62).

8.44 US EPA/625/R92/013 1992, Environmental Regulation and Technology, Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge pp. 152. (Tecnología y Regulación Ambiental. Control de patógenos y atracción de vectores en lodos residuales).

9. Observancia de esta Norma

9.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, así como a los gobiernos estatales, municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, sus reglamentos y demás ordenamientos jurídicos aplicables. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, así como los gobiernos estatales, municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de su respectiva competencia, llevarán a cabo de manera periódica o aleatoria los muestreos y análisis de los lodos y biosólidos, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los 60 días posteriores al de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

SEGUNDO.- Con fundamento en lo dispuesto en el artículo 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, provéase la publicación de este proyecto en el **Diario Oficial de la Federación**.

México, Distrito Federal, a los quince días del mes de abril de dos mil tres.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Cassio Luiselli Fernández**.- Rúbrica.

ANEXO I

OPCIONES PARA LA REDUCCION DE ATRACCION DE VECTORES

Los responsables podrán aplicar cualquiera de las siguientes opciones para el control de atracción de vectores o cualquier otra que se demuestre que es efectiva.

Opción 1: Reducción en el contenido de sólidos volátiles

La atracción de vectores se reduce si la masa de sólidos volátiles en los biosólidos es reducida por lo menos un 38% durante su tratamiento. Este porcentaje es equivalente al conseguido mediante digestión aeróbica o anaeróbica más alguna reducción adicional que ocurra después de que los biosólidos salen de las instalaciones de estabilización, tales como el procesamiento en lechos de secado o lagunas o mediante el composteo.

Opción 2: Digestión adicional de los biosólidos digeridos anaeróticamente

Frecuentemente, los biosólidos han sido reciclados a través del tratamiento biológico de las aguas residuales o han transitado durante largos periodos por los sistemas de alcantarillado. Durante este tiempo, sufren una degradación biológica sustancial. Si los biosólidos son subsecuentemente tratados mediante digestión anaerobia, su atracción de vectores será reducida adecuadamente. Debido a que ingresan al digestor parcialmente estabilizados, la reducción de sólidos volátiles después del tratamiento frecuentemente es menor de 38%. Bajo estas circunstancias, pudiera no ser factible la reducción de 38% requerida en la opción 1. La opción 2 permite al operador demostrar la reducción de atracción de vectores probando una porción de los biosólidos previamente digeridos en una unidad a escala de laboratorio. Se demuestra la reducción, si después de la digestión anaerobia de los biosólidos por 40 días adicionales, a una temperatura entre 30°C y 37°C, la reducción de los sólidos volátiles en los biosólidos es menor de 17%.

Opción 3: Digestión adicional de los biosólidos digeridos aeróticamente

Esta opción es apropiada para los biosólidos digeridos aeróticamente que no pueden cumplir con la opción 1, incluye a aquellos producidos por plantas de aireación extendida donde el tiempo mínimo de residencia para los biosólidos en el tren de aguas generalmente excede de 20 días. En estos casos, los biosólidos ya estarán sustancialmente degradados antes de la digestión aerobia.

Bajo esta opción, se considera que los biosólidos digeridos aeróticamente con 2% de sólidos o menos, han logrado la reducción de atracción de vectores si después de 30 días de digestión aerobia en una prueba de laboratorio a 20°C, la reducción de los sólidos volátiles es menor de 15%. Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos líquidos digeridos aeróticamente.

Opción 4: Procesos aerobios a más de 40°C

Esta opción se aplica primordialmente a los biosólidos composteados que también contienen agentes abultadores orgánicos parcialmente descompuestos. Los biosólidos deben ser tratados aeróticamente por 14 días o más, tiempo durante el cual la temperatura deberá rebasar siempre los 40°C y el promedio será mayor de 45°C. Esta opción pudiera aplicarse a otros procesos aeróbicos, tales como la digestión aeróbica, sin embargo, las opciones 3 y 4 parecen más fáciles de cumplir para los otros procesos aeróbicos.

Opción 5: Adición de materia alcalina

Se considera que los biosólidos reducen adecuadamente su atracción de vectores si se adiciona suficiente materia alcalina para lograr lo siguiente:

- ◆ Elevar el pH por lo menos hasta 12, medido a 25°C, y sin añadir más materia alcalina, mantenerlo por 2 horas, y

- ◆ Mantener un pH de al menos 11,5 sin la adición de más materia alcalina durante otras 22 horas.

Estas condiciones tienen la intención de asegurar que los biosólidos puedan ser almacenados por lo menos durante varios días en las instalaciones de tratamiento, transportados y posteriormente aplicados sin que el pH descienda a niveles en los que ocurre la putrefacción y se atraen vectores.

Opción 6: Reducción en la humedad de biosólidos que no contienen sólidos sin estabilizar

Se considera que la atracción de vectores se reduce si los biosólidos no contienen sólidos sin estabilizar generados durante el tratamiento primario y su contenido de sólidos es por lo menos del 75% antes de ser mezclados con otros materiales. Por consiguiente, la reducción debe lograrse removiendo agua y no mediante la adición de materiales inertes.

Es importante que los biosólidos no contengan sólidos sin estabilizar porque los desechos de comida parcialmente degradados que seguramente existen en tales biosólidos atraerían a pájaros, algunos mamíferos y posiblemente a insectos aun si el contenido de sólidos es mayor del 75%.

Opción 7: Reducción en la humedad de biosólidos que contienen sólidos no estabilizados

Se considera que la habilidad para atraer vectores de cualesquier biosólido se reduce adecuadamente si su contenido de sólidos se incrementa al 90% o más sin importar si se trata de biosólidos provenientes del tratamiento primario. El incremento debe conseguirse removiendo agua y no mediante la dilución con sólidos inertes. El secado hasta este punto limita severamente la actividad biológica y destroza o descompone los compuestos volátiles que atraen vectores.

La manera en que se manejan los biosólidos secos, incluyendo su almacenamiento antes de la aplicación puede propiciar la atracción de vectores. Si éstos se exponen a una humedad alta, la superficie exterior tendrá un alto contenido de humedad y posiblemente atraerá vectores. Esto debe ser prevenido adecuadamente.

Opción 8: Tasa específica de absorción de oxígeno (TEAO) para biosólidos digeridos aeróbicamente

Frecuentemente, los biosólidos digeridos aeróbicamente son circulados a través de los procesos biológicos de tratamiento aeróbico de las aguas residuales hasta por 30 días. En estos casos, los biosólidos que entran al digester aeróbico ya están parcialmente digeridos, lo cual dificulta cumplir con la Opción 1.

La Tasa Específica de Absorción de Oxígeno (TEAO) es la masa de oxígeno consumida por unidad de tiempo y por unidad de masa en peso seco de los sólidos totales de los biosólidos. La reducción en la atracción de vectores puede demostrarse si la TEAO de los biosólidos que son aplicados, determinada a 20°C, es igual o menor de 1,5 mg de O₂/h/g de sólidos totales (peso seco).

Esta prueba se basa en el hecho de que, si los biosólidos consumen muy poco oxígeno, su valor como fuente alimenticia para los microorganismos es muy baja como para atraerlos. Se

pueden utilizar otras temperaturas para la prueba si los resultados se corrigen sobre la base de 20°C. Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos aeróbicos.

Opción 9: Incorporación de biosólidos al suelo

Los biosólidos deben ser incorporados al suelo dentro de las 6 horas posteriores a su aplicación sobre el terreno. La incorporación se consigue arando o mediante algún otro método que mezcle los biosólidos con el suelo. Si los biosólidos son Clase A con respecto a patógenos, el tiempo entre la aplicación y el procesado no debe exceder de 8 horas.

ANEXO II

MÉTODOS DE MUESTREO DE LODOS Y BIOSOLIDOS

Consiste en obtener una porción del volumen generado, la cual debe conservar la integridad de todos sus constituyentes desde el momento en que es tomada la muestra (parte representativa de un universo o población finita obtenida para conocer sus características) y hasta el final de su análisis o determinación en el laboratorio. El tiempo en que éstas 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 su depósito final.

El tamaño y número de muestras dependen de las fuentes generadoras, así como de los procesos utilizados para su estabilización. Es importante considerar la selección del sitio de muestreo, la homogeneidad y representatividad de la muestra, el grado de degradación, el volumen, tipo de análisis y la accesibilidad al sitio seleccionado para el muestreo.

1. Método

Obtener muestras representativas de lodos y biosólidos para determinar su contenido de Coliformes fecales, *Salmonella* spp., huevos de helmintos, tasa específica de absorción de oxígeno, contenido de sólidos totales y sólidos volátiles, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc.

1.1 Equipo y materiales

Sólo se relacionan los equipos y materiales que son de relevancia para el presente método.

1.1.1 Equipo.

1.1.1.1 Báscula con capacidad mínima de 100 kg y precisión de 10 g.

1.1.1.2 Báscula con capacidad mínima de 10 kg y precisión de 1 g.

1.1.1.3 Criba M 2.00 según Norma Mexicana NMX-B-231-1990.

1.1.2 Materiales.

1.1.2.1 Bioldos.

- 1.1.2.2 Bolsas de polietileno de 0,70 m x 0,50 m y calibre mínimo del No. 200.
- 1.1.2.3 Bolsas de polietileno de 1,10 m x 0,90 m y calibre mínimo del No. 200.
- 1.1.2.4 Botas de hule.
- 1.1.2.5 Brocha de tamaño adecuado para la limpieza.
- 1.1.2.6 Cascos de seguridad.
- 1.1.2.7 Escobas.
- 1.1.2.8 Guantes de carnaza.
- 1.1.2.9 Ligas de hule de 1,5 mm de ancho.
- 1.1.2.10 Marcadores de tinta permanente, preferentemente color negro.
- 1.1.2.11 Mascarillas protectoras.
- 1.1.2.12 Overoles.
- 1.1.2.13 Papelería y varios (formatos de muestreo, lápices, gomas y otros).
- 1.1.2.14 Papelería y varios (informe de campo, marcadores, ligas, etc.).
- 1.1.2.15 Palas curvas.
- 1.1.2.16 Recogedores.
- 1.1.2.17 Tablas de inventario, tamaño carta u oficio.
- 1.1.2.18 Tambos metálicos de forma cilíndrica, con capacidad de 20 L.
- 1.1.2.19 Bolsas de polietileno estéril sin pastilla de tiosulfato o recipientes de polietileno o propileno inerte, de boca ancha y con tapa y cierre hermético, de 500 ml de capacidad y susceptibles de ser esterilizados en autoclave, para coliformes fecales.
- 1.1.2.20 Recipientes de polietileno o propileno inerte o de vidrio, de boca ancha y con tapa y cierre hermético, de 50 ml, para metales.
- 1.1.2.21 Recipientes de polietileno o propileno inerte, de boca ancha y con tapa y cierre hermético, de 500 ml de capacidad, para huevos de helmintos, sólidos y TEAO.

2. Tipos de lodos

2.1. Muestras líquidas o semisólidas

Colectar la muestra directamente del vertedor en un recipiente de plástico de 20 L, hasta obtener el doble del volumen por utilizar para cada uno de los análisis por realizar, como mínimo.

2.1.1 Tuberías

Colectar la muestra directamente de la tubería a través del grifo de purga que presente un diámetro interno mínimo de 3,8 cm.

2.1.2 Canales

Colectar la muestra en el vertedor o en otro punto donde el lodo esté bien mezclado.

2.1.3 Digestores

Colectar la muestra de un tanque mezclado que es alimentado a través de líneas provenientes de diferentes niveles en el digestor. Antes del muestreo asegurarse de eliminar el lodo acumulado previamente en las líneas.

2.1.4 Tanques

Mezclar completamente el tanque y colectar varias muestras a diferentes profundidades y puntos. Juntar todas las muestras en una sola antes de realizar el análisis.

2.1.5 Lodos de sitios específicos en plantas de tratamiento

Los siguientes puntos de muestreo se recomiendan para el muestreo de lodo en plantas de tratamiento de agua residual.

2.1.6 Lodo primario

Conducir el lodo desde el tanque de estabilización hasta el cárcamo antes del bombeo, mezclar perfectamente y colectar una muestra representativa en este punto. Alternativamente colectar muestras de la bomba de lodos y de las tuberías, cercanas a éstas.

2.1.7 Lodo activado

Colectar muestras en:

- a) cárcamo de bombeo
- b) de la bomba o tubería adyacente
- c) del punto de descarga de los lodos de retorno al afluente primario

El punto de muestreo se debe localizar en una región de buena agitación para la suspensión de sólidos.

2.1.8 Lodo digerido

Colectar muestras en la tubería de descarga del digestor al equipo o lechos de secado.

2.1.9 Lodos del lecho de secado

Colectar muestras del mismo tamaño en diferentes puntos del lecho sin incluir arena. Mezclar totalmente.

2.1.10 Lodo filtrado

Colectar porciones del mismo tamaño (utilizar cortadores de galletas) en la descarga del filtro.

2.1.11 Azolves

Para el caso de los azolves, aplica cuando ha sido extraída una muestra representativa de la zona donde se encuentran depositados.

2.2 Muestras sólidas

Para conformar las muestras se usa el método del cuarteo. Para eso:

Se toman de 4 a 8 bolsas de polietileno de 0,70 m x 0,50 m o 1,10 m x 0,90 m, se selecciona al azar el mismo número de sitios diferentes. Posteriormente, se llena cada una de las bolsas con el material de cada sitio y se trasladan a un área plana horizontal de aproximadamente 4 m x 4 m, preferentemente de cemento pulido o similar y bajo techo y se deposita su contenido en montículo.

Traspalear el material con pala o biello, para obtener una mezcla homogénea. A continuación, dividir en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C y D y eliminar las partes opuestas A y C o B y D. Repetir esta operación hasta dejar 10 kg aproximadamente de lodo o biosólido. La pila resultante sirve para determinar en el laboratorio el contenido de Coliformes fecales, *Salmonella ssp.*, huevos de helmintos, contenido de sólidos totales y sólidos volátiles, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc. El material restante se usa para determinar el peso volumétrico de los lodos *in situ*, conforme al punto 8.

Trasladar la muestra al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (véase marcado). Evitar que queden expuestas al sol durante su transporte, además tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna ruptura. El tiempo máximo de transporte de la muestra al laboratorio, no debe exceder de 8 horas.

3. Preparación de la muestra

La secuencia del muestreo por parámetro se debe realizar conforme con lo descrito en los puntos correspondiente con el propósito de minimizar sesgos en los resultados.

4. Recipientes para cada parámetro

A la muestra, antes de ser procesada, se le determinará el contenido de sólidos totales en por ciento en peso, para el caso del TEAO el contenido de éstos deberá ser menor o igual al 2%.

4.1 Coliformes fecales y *Salmonella spp.*

Los recipientes de polietileno o polipropileno inerte de 500 ml de capacidad, antes del muestreo deben ser esterilizados preferentemente en autoclave. Posteriormente, se deposita la muestra que corresponda a 4 g de sólidos totales. Etiquetarlo y mantenerlo en refrigeración hasta su análisis.

4.2 Huevos de helmintos, Sólidos totales y Sólidos volátiles y TEAO

Los recipientes de polietileno o polipropileno inerte de 500 ml de capacidad, antes de la toma de muestra deben ser enjuagados primero con agua potable a chorro y luego con agua destilada.

Para el caso de huevos de helmintos, se toma el peso en fresco que corresponda a 2 g de sólidos totales. Para el caso de sólidos totales y volátiles y TEAO se llenan los recipientes hasta un 75% de su capacidad total, se cierran, etiquetan y mantienen en refrigeración, hasta su análisis, excepto para TEAO que se mantiene a temperatura ambiente.

4.3 Compuestos inorgánicos: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc

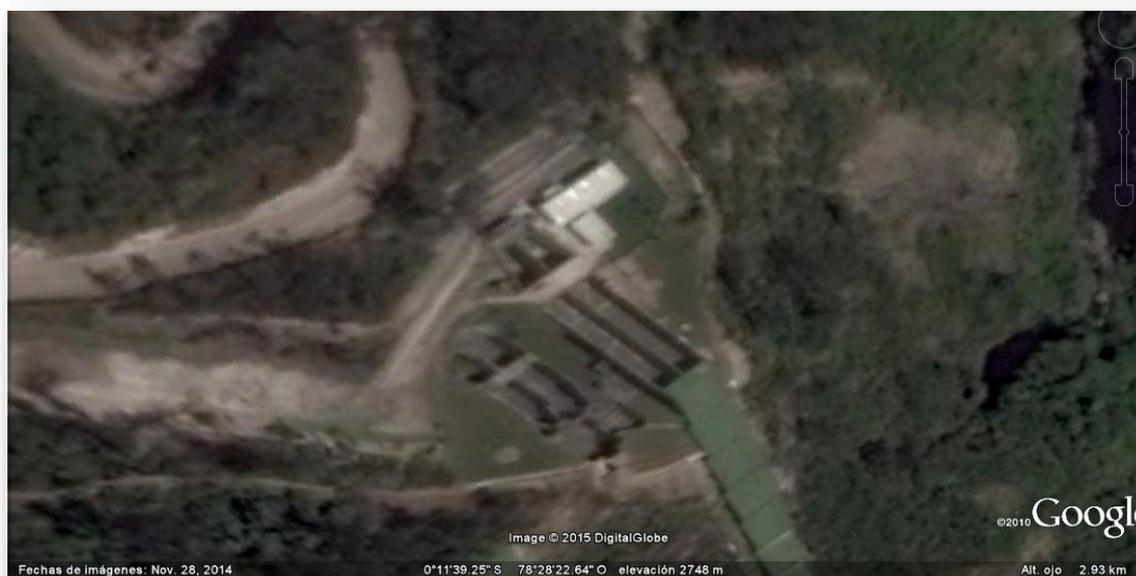
El recipiente de polietileno o polipropileno inerte de vidrio de 50 ml de capacidad, antes de la toma de muestra se debe enjuagar primero con agua potable a chorro y luego destilada.

Posteriormente, se deposita la muestra hasta el total de la capacidad, se cierra, se etiqueta.

ANEXO II (FOTOGRAFIAS)



Fuente: Google Earth (2015), Coordenadas de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales.



Fuente: Google Earth (2015), Coordenadas de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Fotografía del digester anaerobio



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Fotografía del digester anaerobio



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Colector “El Batán”.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015)Entrada a la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales Sector “El Batán” .



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Colector “El Batán”.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Colector “El Batán”.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015), PPTAR.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015), PPTAR.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Digestor anaerobio de lodos de la PPTAR.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Lodo primario de la PPTAR.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Digestor anaerobio.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Digestor anaerobio.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Digestor anaerobio junto al sedimentador primario.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Medición de pH de los lodos durante la digestión .



Fuente : (Carcelén Arcos, 2015), Medición de pH de los lodos durante la digestión



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Kit HACH para hacer Nitrógeno Total Kjeldahl.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Proceso de digestión para NTK .



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Tubos post tratamiento de digestión para NTK.



Fuente: (Carcelén Arcos, 2015) Medición de NTK en HACH.