

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

ANÁLISIS DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL
LANDÍVAR PARA SU USO COMO ABONO ORGÁNICO
TESIS DE GRADO

DANIELA MARIA FLORES BARRIOS
CARNET 10963-13

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, AGOSTO DE 2018
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

ANÁLISIS DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL
LANDÍVAR PARA SU USO COMO ABONO ORGÁNICO

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR

DANIELA MARIA FLORES BARRIOS

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, AGOSTO DE 2018

CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. PAMELA ANDREA ELIZABETH CAMARERO BARREDA DE QUIÑONEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. MAYRA ARACELY DEL CID MAZARIEGOS DE CHINCHILLA
MGTR. NADIA MIJANGOS LÓPEZ
MGTR. VIRGINIA MOSQUERA SALLES

Guatemala, 10 de agosto de 2018

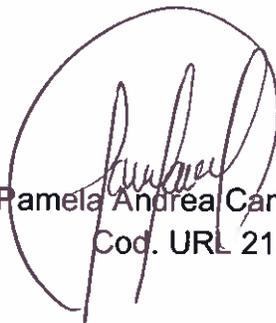
Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación de la estudiante Daniela María Flores Barrios, carné 10963-13, titulada: "Análisis de los lodos de la planta de tratamiento de la Universidad Rafael Landívar para su uso como abono orgánico".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Pamela Andrea Camarero Barreda
Cod. URL 21591



**Universidad
Rafael Landívar**
Tradición Jesuita en Guatemala

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06974-2018**

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante DANIELA MARIA FLORES BARRIOS, Carnet 10963-13 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 06115-2018 de fecha 11 de julio de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**ANÁLISIS DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL
LANDÍVAR PARA SU USO COMO ABONO ORGÁNICO**

Previo a conferírsele el título de INGENIERA AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 9 días del mes de agosto del año 2018.



**MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar**

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la oportunidad de superarme.

Mi familia, por el apoyo incondicional y su esfuerzo constante en mi formación académica, personal y espiritual.

Mis amigos que han estado conmigo a lo largo de la carrera compartiendo buenos momentos y mostrando su apoyo para seguir adelante, en especial a: Juan Carlos Paz, Daniela Basterrechea, Laura Rivadeneira, Nathalie Duarte y Melany Soria.

Colegas de trabajo, incluyendo a mi asesora y mis revisoras, por compartir su conocimiento y ayudarme en mi crecimiento profesional.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación y por el apoyo que recibí a lo largo de mis años de estudio.

DEDICATORIA

A:

Dios: Quien me dio sabiduría, paz y fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida y me bendice con las personas que me rodean.

Mis padres: David Flores y Flor Barrios de Flores, por enseñarme a ser agradecida, a disfrutar de los regalos que Dios me da y ayudarme en el camino para alcanzar mis metas.

Mis hermanos: Marisa, Luisa, Lorena, Jose, Karla y Miguel por apoyarme en todo lo que hago y por compartir muchos momentos de alegría y diversión.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Función de los abonos y fertilizantes	2
2.1.1 Fertilizantes inorgánicos o minerales	2
2.1.2 Abonos orgánicos	4
2.2 Lodos residuales.....	6
2.2.1 Tipos de lodos residuales	7
2.2.2 Metodología de estabilización de lodos	8
2.3 Composición del lodo residual y sus características	12
2.3.1 Características del lodo.....	12
2.4. Legislación base para el manejo y tratamiento de lodos en Guatemala.....	16
2.4.1 Riesgos de uso de lodos.....	17
2.5 Normativa internacional de metales pesados y contaminación microbiológica	17
2.5.1 Normativa General para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos.....	17
2.5.2 Reglamento Técnico Centroamericano de Alimentos	18
2.6 Descripción del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de la Universidad Rafael Landívar	19
2.6.1 Pre-tratamiento	20
2.6.2 Unidades de Tratamiento Primario	21
2.6.3 Unidades de Tratamiento Secundario.....	21
2.6.4 Unidades de Tratamiento Terciario.....	22
2.6.5 Unidad de tratamiento de lodos	23

2.7	Datos analizados de los lodos de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar	25
3.	PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	26
4.	OBJETIVOS.....	27
4.1.	GENERAL.....	27
4.2.	ESPECÍFICOS.....	27
5.	METODOLOGÍA	28
5.1.	LUGAR DE TRABAJO	28
5.2.	UNIDAD DE ANÁLISIS	29
5.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	29
5.4.	INSTRUMENTO.....	29
5.5.	PROCEDIMIENTO.....	30
5.5.1	Consulta Documental.....	30
5.5.2	Fase de Campo	30
A.	Toma y almacenamiento de muestras	30
B.	Porcentaje de humedad	31
C.	Potencial de hidrógeno (pH)	31
D.	Análisis de Fósforo Total.....	31
E.	Análisis de Nitrógeno Total	32
F.	Análisis de coliformes fecales	33
G.	Análisis de Metales pesados.....	34
5.6.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	34
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
6.1.	Caracterización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar en época seca	35
6.1.1	Nitrógeno total	38
6.1.2	Fósforo total	40
6.2	Comparación de nitrógeno, fósforo y pH de los lodos residuales con diferentes tipos de lombricompost	42

6.3	Análisis de la factibilidad de uso de los lodos de acuerdo con la presencia de contaminación microbológica y metales pesados	44
6.3.1	Unidades formadoras de colonias (UFC)	44
6.3.2	Metales pesados	47
7.	CONCLUSIONES	49
8.	RECOMENDACIONES	51
9.	BIBLIOGRAFÍA	53
10.	ANEXOS	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de fertilizantes por el tipo de deficiencia.	3
Cuadro 2. Características fisicoquímicas de Lombricompost	5
Cuadro 3. Niveles de indicadores de presencia de bacterias patógenas y virus en lodos.	15
Cuadro 4. Límites máximos permisibles de metales pesados.	16
Cuadro 5. Límites máximos en productos alimenticios.	18
Cuadro 6. Límites máximos microbiológicos en productos alimenticios.	19
Cuadro 7. Porcentaje de humedad presente en muestras de lodos residuales provenientes del digestor de la PTAR URL, 2017.	36
Cuadro 8. Concentración de Nitrógeno total presente en muestras de lodos residuales provenientes del digestor de la PTAR URL, 2017.	39
Cuadro 9. Concentración de Fósforo total presente en muestras de lodos residuales provenientes del digestor de la PTAR URL, 2017.	40
Cuadro 10. Comparación de nutrientes presentes en lodo residual del digestor de la PTAR de la URL en relación con datos teóricos del humus de lombriz.	42
Cuadro 11. Unidades Formadoras de Colonias de coliformes fecales por kilogramo de lodo residual (UFC/g) presente en muestras de lodos residuales provenientes del patio de secado de la PTAR URL, 2017.	46
Cuadro 12. Concentración de metales pesados presentes en muestras de lodos residuales provenientes del digestor de la PTAR URL, 2017.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de un digester anaeróbico (Davis y Masten, 2005)	9
Figura 2. Esquema de los flujos de carbono en la digestión anaeróbica (Davis y Masten, 2005).....	9
Figura 3. Pasos del proceso de digestión anaeróbica con flujo de energía (Davis y Masten, 2005).....	10
Figura 4. Localización de la salida del digester de lodos de la PTAR de la URL.....	28
Figura 5. Concentración de Nitrógeno total presente en muestras de lodos residuales provenientes del digester de la PTAR URL, 2017.	40
Figura 6. Concentración de Fósforo total presente en muestras de lodos residuales provenientes del digester de la PTAR URL, 2017.	41
Figura 7. Comparación de lodo residual del digester de la PTAR de la URL en relación a datos teóricos de diferentes tipos de humus de lombriz.....	43
Figura 8. Unidades Formadoras de Colonias de coliformes fecales por gramo de lodo residual (UFC/g) presente en muestras de lodos residuales provenientes del patio de secado de la PTAR URL, 2017.	46
Figura 9. Concentración de metales pesados presentes en muestras de lodos residuales provenientes del digester de la PTAR URL, 2017.	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados obtenidos en Informe de análisis de lodos (Nov. 2010).....	58
Anexo 2. Ficha técnica de lombricompost con materia prima de pulpa de café, en el año 2005.....	59
Anexo 3. Ficha técnica de lombricompost con materia prima de estiércol de bovino sin compostar, en el año 2010.....	60
Anexo 4. Ficha técnica de lombricompost con materia prima de residuos orgánicos en relleno sanitario, en el año 2009.....	61
Anexo 5. Entrevista a Director de Mantenimiento, en el año 2017.....	62
Anexo 6. Datos tabulados del porcentaje de sólidos y humedad presentes en los lodos tratados del digestor anaerobio obtenidos en el año 2017.....	63
Anexo 7. Datos tabulados del potencial de hidrógeno (pH) presente en los lodos tratados del digestor anaerobio obtenidos en el año 2017	63
Anexo 8. Datos tabulados de concentración de nitrógeno total y fósforo total presentes en los lodos tratados del digestor anaerobio obtenidos en el año 2017.....	64
Anexo 9. Datos tabulados de las unidades formadoras de colonias de coliformes fecales presentes en los lodos tratados del patio de secado en el año 2017.	65
Anexo 10. Días de secado de los lodos tratados del patio de secado obtenidos en el año 2017.....	65
Anexo 11. Datos tabulados de metales pesados (arsénico, cadmio y plomo) presentes en los lodos tratados del digestor anaerobio obtenidos en el año 2017.....	66
Anexo 12. Muestreo de lodos tratados en la salida del digestor anaerobio de la PTAR obtenidos en el año 2017.	67
Anexo 13. Cinco muestras de lodos tratados en la salida del digestor anaerobio de la PTAR obtenidos en el año 2017.	67
Anexo 14. Lodos tratados en estado líquido del digestor anaerobio de la PTAR obtenidos en el año 2017.....	68
Anexo 15. Secado de lodos tratados a una temperatura de 110°C por 48 horas.....	68

Anexo 16. Lodos molidos para poder realizar análisis de nutrientes y metales pesados.	69
Anexo 17. Muestras de lodo secado y molido para análisis.	69
Anexo 18. Cajas Petri con medio de cultivo MacConkey para conteo de UFC/kg de lodo residual.	70
Anexo 19. Aspecto físico del producto final del tratamiento de los lodos residuales en la PTAR en el año 2017.	70
Anexo 20. Análisis fotométrico de nitrógeno y fosfato.	71
Anexo 21. Análisis de pH en los lodos residuales de la Universidad Rafael Landívar en el año 2017.	71

ANÁLISIS DE LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR PARA SU USO COMO ABONO ORGÁNICO

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, departamento de Guatemala. El objetivo principal fue caracterizar los lodos de la planta de tratamiento del Campus Central para conocer el potencial de los mismos como un abono orgánico. Los lodos evaluados se muestrearon en la salida del digestor que desemboca en el patio de secado, para después analizarlos y así conocer las características fisicoquímicas que los conforman. Los parámetros que se midieron fueron: porcentaje de humedad, nitrógeno total, fósforo total, potencial de hidrógeno, coliformes fecales y metales pesados. En los lodos se presentó un porcentaje de humedad del 96.15% complementándose con 3.85% de material sólido; el cual se conforma con 3.65% de nitrógeno total, 9.76% de fosfatos y un potencial de hidrógeno de 5.59. Además, estos lodos no cumplen con los límites máximos permisibles en microbiología, pero si en los parámetros de metales pesados que dicta el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y el CODEX STAN 193-1995. Estos valores permiten demostrar que los lodos residuales poseen una alta cantidad de nutrientes en comparación al lombricompost y debido a la abundante presencia de coliformes es necesario realizar un periodo más largo de estabilización o modificar la metodología de tratamiento de lodos. Además, es necesario aplicar el abono dependiendo de las características y el potencial de hidrógeno del suelo en donde se desea aplicar el lodo.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural esencial para los seres vivos, ya que permite que en él se desarrollen diferentes actividades productivas que ofrecen beneficios como alimento, recreación, entre otros. El suelo contiene elementos nutritivos que dan lugar a que puedan ser aprovechados. Al utilizarlos, poco a poco se van reduciendo los nutrientes presentes en el suelo y una forma de regenerar naturalmente un suelo es a través de materia orgánica.

El abono orgánico cuenta con abundante materia orgánica y puede obtenerse de diferentes fuentes, entre ellas se encuentra el abono proveniente de la descomposición de desechos orgánicos, estiércol, excremento humano, entre otros (Martin, 2013). Haciendo uso de los excrementos humanos, es posible obtenerlo dentro de los lodos residuales provenientes de un tratamiento de aguas residuales domésticas.

El interés en este tema, llevó a la caracterización del estado actual de los lodos resultantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Esto mediante la toma de muestras para análisis fisicoquímicos, para poder dar a conocer el potencial nutritivo de estos lodos como abono orgánico.

En el presente estudio se analizaron los lodos obtenidos de la PTAR utilizando los parámetros de porcentaje de humedad, potencial de hidrógeno, nitrógeno, fósforo, coliformes fecales y metales pesados. Con el objetivo principal de comparar los resultados de nitrógeno y fósforo de los lodos obtenidos con abono orgánico proveniente del lombricompostaje; y así conocer el potencial como un fertilizante orgánico. Verificando que los mismos cumplan con los límites máximos permisibles (LMP) descritos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y otras normas internacionales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Función de los abonos y fertilizantes

Los abonos, son sustancias que proveen nutrientes digeribles que permiten que las plantas puedan crecer y desarrollarse adecuadamente. La composición de los abonos de origen orgánico, proceden de residuos de origen animal o vegetal. Por otro lado, se encuentran los fertilizantes, los cuales se aplican para mejorar las deficiencias de nutrimentos del suelo como se muestran en el Cuadro 1. Los abonos o fertilizantes permiten ser un factor que contribuye a resolver problemas presentes en tierras cultivables que han sido utilizados en periodos largos de tiempo que han comprometido la fertilidad del área. Al presentarse un suelo degradado y con pocos nutrientes, existen varias acciones para la restauración del mismo; entre las que se encuentra la restauración ecológica y fertilización, y la fertilización como una estrategia de restauración y disponibilidad de nutrientes a corto plazo (Carolina, 2015).

Los abonos orgánicos se comportan muy similares a los fertilizantes químicos, con la diferencia de que estos son más beneficiosos para los suelos a causa de la cantidad de materia orgánica que presentan. Dentro de las ventajas de utilizar abonos orgánicos se encuentra la mejora en la estructura del suelo, aumento en la retención de agua en época seca, mejora la absorción de los nutrimentos de las plantas, ayuda al balance del pH del suelo y es más accesible económicamente (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura - INTAGRI, 2016).

2.1.1 Fertilizantes inorgánicos o minerales

Los fertilizantes inorgánicos consisten en la transformación de diferentes elementos presentes en la naturaleza, en nutrientes asimilables por las plantas por medio de procesos químicos; en donde, las diferentes fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio son

manipulados para poder encapsular estos macronutrientes y que al disolverse en el agua, puedan estar en disposición para las plantas. Estas sustancias son producidas sintéticamente y utilizadas como fertilizantes comerciales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO, 2002).

Cuadro 1. Clasificación de fertilizantes por el tipo de deficiencia.

Clasificación	Nombre y símbolo	Forma absorbida	Síntoma de deficiencia
Sin Clasificación	Carbono (C)	CO ₂	
	Hidrógeno (H)	H ₂ O	
	Oxígeno (O)	H ₂ O, O ₂	
Primarios	Nitrógeno (N)	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	Clorosis en las hojas viejas
	Fósforo (P)	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁻	Hojas con margen color púrpura
	Potasio (K)	K ⁺	Hojas con márgenes cloróticos
Secundarios	Calcio (Ca)	Ca ⁺⁺	Achaparramiento y raíces cortas
	Magnesio (Mg)	Mg ⁺⁺	Hojas con clorosis intervenal
	Azufre (S)	SO ₄ ⁻ , SO ₂	Hojas jóvenes cloróticas y poco desarrolladas
Micronutrientes	Hierro (Fe)	Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	Hojas con clorosis intervenal
	Manganeso (Mn)	Mn ⁺⁺	Clorosis intervenal
	Boro (B)	H ₃ BO ₃	Poco Crecimiento apical y puntos cloróticos
	Zinc (Zn)	Zn ⁺⁺	Hojas jóvenes con clorosis intervenal
	Cobre (Cu)	Cu ⁺⁺	Hojas jóvenes amarillas y poco desarrolladas
	Molibdeno (Mo)	MoO ₄ ⁻	Hojas con clorosis y achaparramiento
	Cloro (Cl)	Cl ⁻	Hojas marchitas cloróticas y raíz corta

(Gavi, 2014)

2.1.2 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos se encargan de mejorar la calidad del suelo y nutrición de las plantas. Estos además de mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo también mejoran la actividad biológica de los mismos. Los recursos utilizados para estos fertilizantes están al alcance de los productores agrícolas, teniendo la disponibilidad de producirse in-situ a un bajo costo. Algunas fuentes de fertilizantes orgánicos pueden ser: el lombricompost, excremento humano o animal, residuos de cosecha, compostaje y el abono líquido como la orina (Martin, 2013).

a. Lombricompostaje

El humus de lombriz, llamado también lombricompost o vermicompost, es el resultante de las excretas de la lombriz. Producto de alimentar a la lombriz roja californiana, *Eisenia foetida*, con residuos animales y/o vegetales (materia orgánica) predigeridos por microorganismos especializados: bacterias, hongos y otros. Las lombrices transforman estos residuos en feca de la lombriz que resulta como producto. Observando las características fisicoquímicas teóricas de diferentes tipos de humus de lombriz en el cuadro 2 (Girón, 2005).

El lombricompost es considerado de alta calidad debido a todos los beneficios que este abono provee al suelo. El humus de lombriz aporta una carga bacteriana que promueve la humificación de la materia orgánica presente en el suelo, mejorando de esta forma la estructura y la aireación del suelo. Además, el lombricompost actúa como regulador de pH (Castillo, 2010).

El humus de lombriz es utilizado para la fertilización orgánica de cualquier tipo de suelo. Se puede utilizar en la producción de todos los productos de la agricultura, como lo son

en plantas ornamentales, frutas y hortalizas. Son fácilmente manipulables y no presentan problemas de fitotoxicidad. Además, este abono se produce en un periodo de 2.5 - 3 meses, en donde las lombrices han transformado todos los residuos en humus (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes - IFA, 1992).

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de Lombricompost

Parámetros	Lombricompost de pulpa de café ¹	Lombricompost de estiércol ²	Lombricompost de residuos orgánicos ³
pH	6.75	6.92	7
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) (Meq. /100g)	52.5	52.3	-
Conductividad eléctrica (dS/m)	5.4	12.8	-
Humedad (%)	30 – 60	51.7	30 – 60%
Materia orgánica (%)	12 – 20	-	-
Densidad aparente (gr/cc)	1.2 – 1.4	0.79	-
Nitrógeno total (%)	1.5 – 2.5	2.11	1 – 2.6%
Fósforo total (%)	1.075	1.81	2 – 8
Potasio total (%)	6.28 meq/100g	4.63	1 – 2.5
Calcio (%)	-	2.09	2 – 8
Hierro (%)	146.64 ppm	1	< 1%
Zinc (ppm)	39.68	31	< 450
Magnesio (%)	-	1.54	1 – 2.5
Manganeso (ppm)	74.96	428	898
Boro (%)	1.28	37	-
Cobre (ppm)	5.4	43	< 30

¹. (Girón, 2005)

². (Castillo, 2010)

³. (Argotty, 2009)

2.2 Lodos residuales

Para poder tratar los lodos, es necesario conocer el origen y las características que se presentan en los mismos con el fin de reducir los posibles impactos negativos que estos puedan provocar. Por esta razón, es necesario analizar diferentes variables en los lodos, algunas de estas variables son: el tipo de agua residual que se está tratando, los tipos de tratamientos que se realizan en el proceso que se lleva a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, los tipos de reactivos que se agregan en el tratamiento para sedimentar o mejorar la calidad del agua (Hammeken, 2005).

Los lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales se generan a partir de los contaminantes extraídos de cada proceso durante la planta de tratamiento. Estos concentran los contaminantes presentes inicialmente en el agua residual, combinados con otros compuestos que hayan sido agregados dentro del tratamiento. Por esta razón, los lodos pueden contar con diferentes características que puedan impactar o no al medio ambiente (Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos -REPAMAR, 1999).

Dependiendo del tipo de lodo proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales pueden o no ser reusados o revalorizados. En algunos casos, los lodos pueden utilizarse como mejoradores de suelos, fuente de energía por su potencial calórico y en algunos casos, debido a sus características, deben ser destinados a sitios especiales de confinamiento o darles un manejo específico al ser clasificados como desechos peligrosos (REPAMAR, 1999).

2.2.1 Tipos de lodos residuales

Los tipos de lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales dependen directamente del tipo de agua a tratar y del manejo que se le ha dado a los mismos a lo largo del proceso. Dentro de los tipos de lodos se encuentran:

- a) Lodos primarios o sin tratar
- b) Lodos secundarios
- c) Lodos terciarios

a) Lodos primarios o sin tratar

El lodo del fondo de los clarificadores primarios tiene de 3 a 8% de sólidos, que son aproximadamente 70% orgánicos y tiene como característica que se vuelve anaeróbico con rapidez y es muy oloroso (Davis y Masten, 2005).

b) Lodos secundarios

Este lodo está compuesto por microorganismos y materiales inertes que se han desechado de los procesos de tratamiento secundario. En este caso los lodos cuentan con un 90% de materia orgánica. Este lodo presenta un contenido de sólidos dependientes de la fuente. En algunos casos los lodos secundarios contienen precipitados químicos, ya que el tanque de aireación se utiliza como estanque de reacción para añadir sustancias que eliminen el fósforo (Davis y Masten, 2005).

c) Lodos terciarios

Las características de estos lodos dependen de la naturaleza del proceso. Por ejemplo, la eliminación de fósforo en los lodos vuelve a este un lodo químico difícil de manejar y tratar. En otro caso, la eliminación del nitrógeno por desnitrificación forma un lodo biológico de propiedades parecidas a las del lodo activado desechado (Davis y Masten, 2005).

2.2.2 Metodología de estabilización de lodos

La estabilización de lodos tiene como objetivo principal descomponer los sólidos orgánicos en forma bioquímica para disminuir la producción de olor y la capacidad de putrefacción. Se utiliza este proceso solamente para aquellos lodos que se le busca dar una disposición final que no sea la incineración. Por el contrario, es necesario realizar alguno de los procesos básicos de estabilización. Uno de estos procesos es realizado en tanques cerrados con privatización de oxígeno que es identificado como digestión anaeróbica. Y el otro método presenta aire inyectado al lodo para realizar una digestión aeróbica (Hammeken, 2005).

Para el proceso de tratamiento a través de un digestor anaeróbico, es necesario desarrollar tres etapas: la hidrólisis, la acidogénesis o acetogénesis y la metanogénesis. En la primera etapa los complejos de desecho (grasas, proteínas y polisacáridos) se hidrolizan en sus componentes, por medio de un grupo heterogéneo de bacterias facultativas y anaeróbicas que someten los productos del hidrólisis (triglicéridos, ácidos grasos, aminoácidos y azúcares) a una fermentación y a otros procesos metabólicos que inducen la formación de compuestos orgánicos simples e hidrógeno, esto mediante la acidogénesis. Los compuestos orgánicos mencionados anteriormente son principalmente ácidos y alcoholes de cadena corta, lo que los hace volátiles (Martínez, 2007).

Posteriormente, al final de la etapa de la acidogénesis se obtienen como productos finales principalmente al metano y dióxido de carbono resultantes de la descomposición de las distintas bacterias anaeróbicas. Es aquí donde sucede la estabilización del material orgánico por medio de la fermentación del metano. En donde, se debe tener presente que estas etapas se efectúan sinérgica y simultáneamente como se muestra en la Figura 2 y 3 (Davis y Masten, 2005).

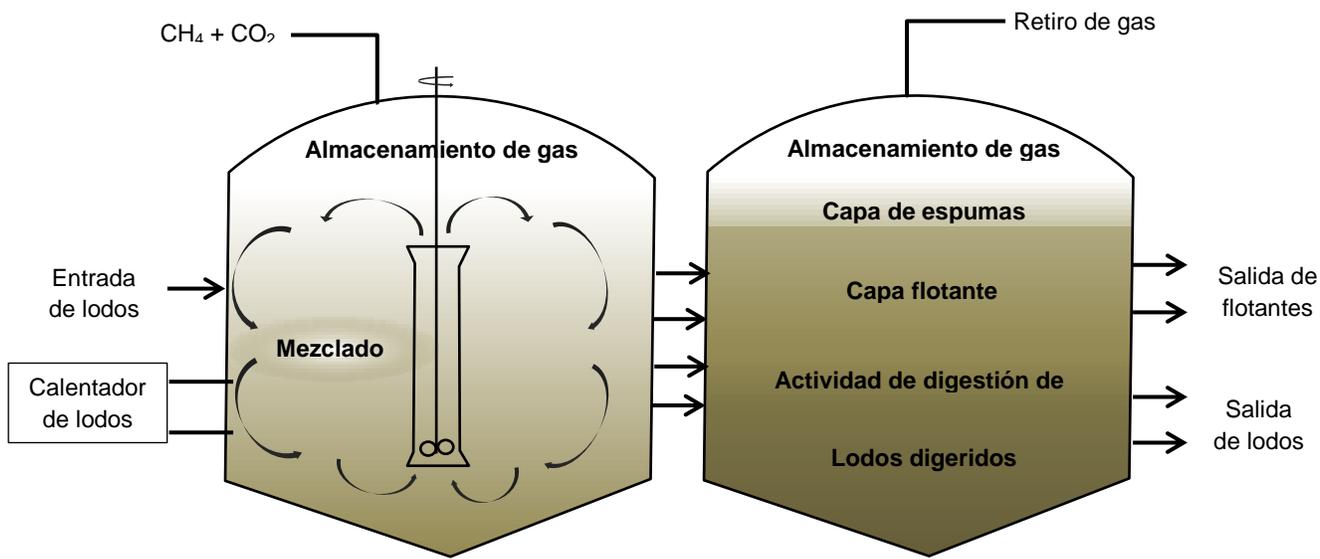


Figura 1. Diagrama de un digester anaeróbico (Davis y Masten, 2005)

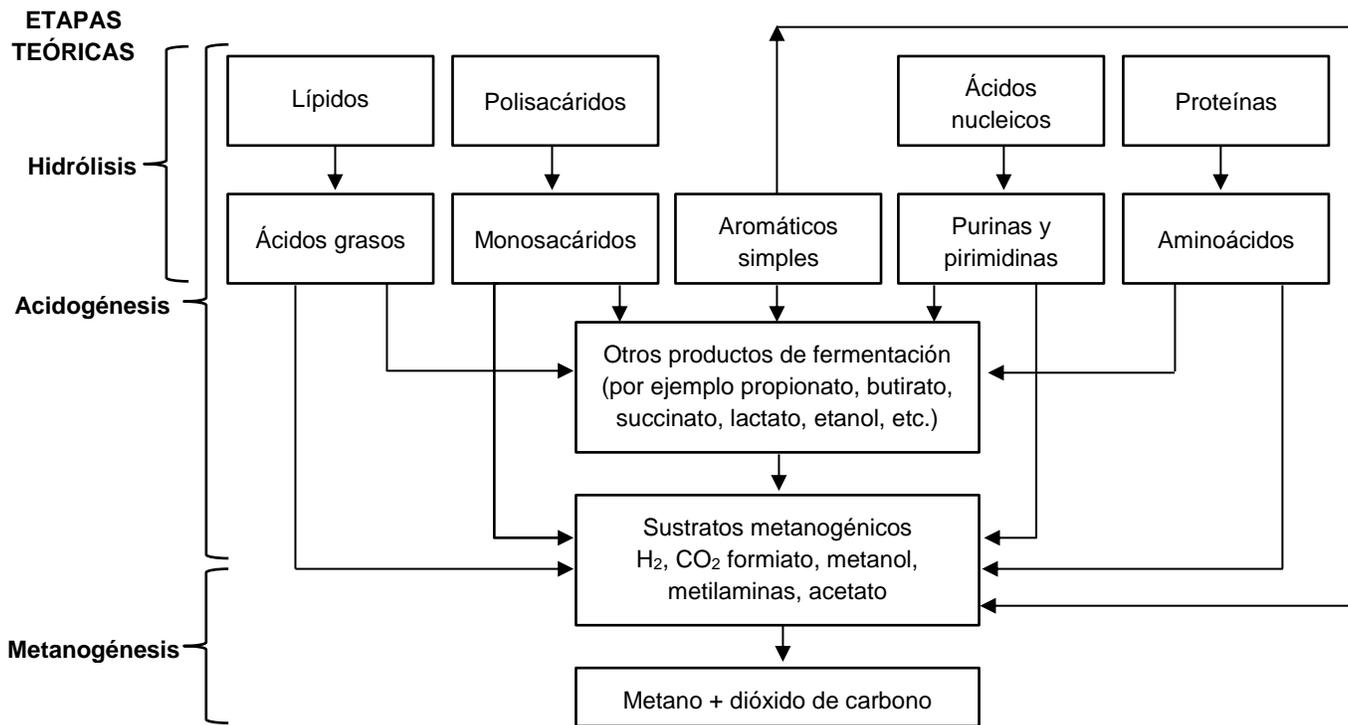


Figura 2. Esquema de los flujos de carbono en la digestión anaeróbica (Davis y Masten, 2005)

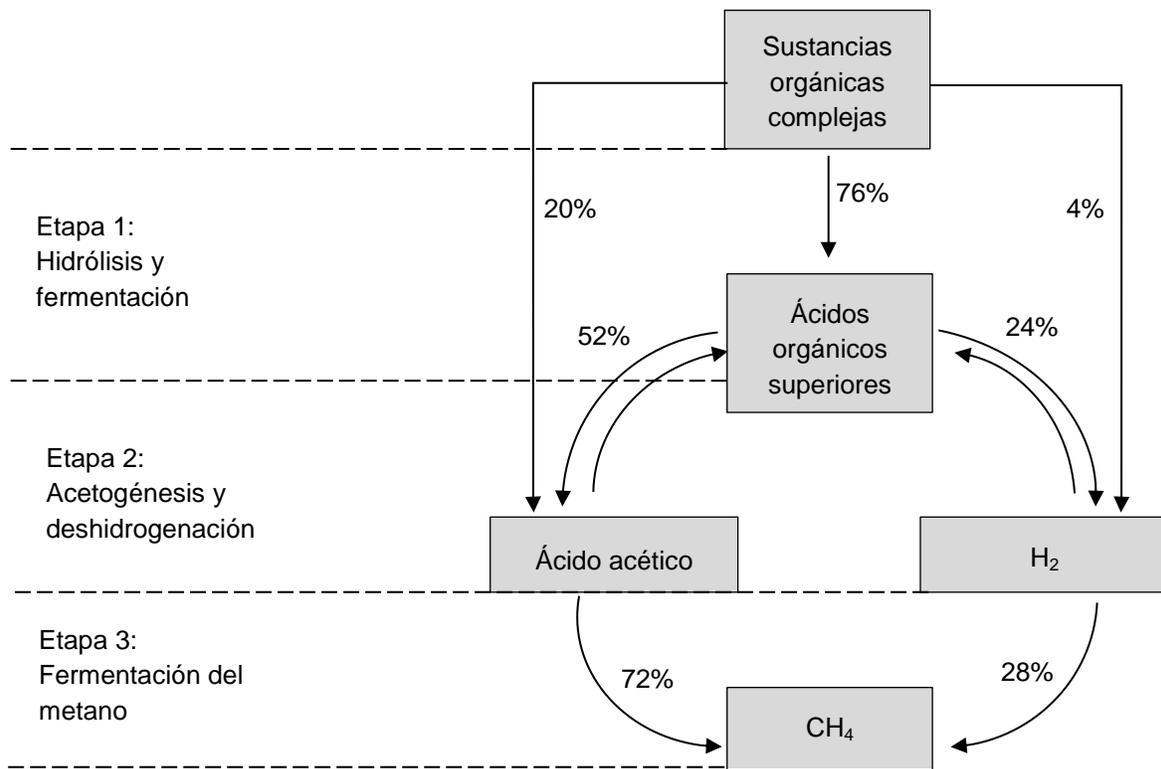


Figura 3. Pasos del proceso de digestión anaeróbica con flujo de energía (Davis y Masten, 2005)

En el caso de la digestión aeróbica, los lodos biológicos continúan el proceso de lodos activados. Los lodos orgánicos se airean en un tanque abierto para que los organismos aeróbicos se mantengan con vida y puedan aprovechar el material orgánico. Donde, una fracción del material orgánico eliminado se usará en la síntesis de nueva biomasa y el resto se canalizará al metabolismo de la energía para mantener la conservación de los organismos (Agrowaste, 2013).

En el momento en que la fuente externa de material orgánico esté agotada, los microorganismos entran en una respiración endógena, en la cual el material celular es oxidado para propiciar la energía para mantener la vida de estos microorganismos. Y sí en dado caso se mantiene esta condición, da a lugar que la cantidad de biomasa se vea

reducida considerablemente y se obtendrá un lodo biológicamente estable para descartar al ambiente (Davis y Masten, 2005).

Para que la digestión, en ambos casos, pueda desarrollarse correctamente se debe de mantener ciertas condiciones ambientales y operacionales adecuadas. Dentro de los parámetros a medir se encuentra el potencial de hidrógeno y la presencia de nutrientes. Con el fin de que el proceso de digestión sea eficiente, cada uno de estos parámetros debe cumplir sus especificaciones (Agrowaste, 2013).

Dentro de los parámetros a medir se encuentran:

- a. Potencial de hidrógeno
- b. Nutrientes

a. Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno debe mantenerse próximo a la neutralidad, obteniendo fluctuaciones entre 6,5 y 7,5. En el digestor su valor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. La alcalinidad también es un factor importante ya que es una medida de la capacidad reguladora del medio. Puede ser proporcionada por un amplio rango de sustancias, siendo por tanto una medida inespecífica. En el rango de pH de 6 a 8, el principal equilibrio químico que controla la alcalinidad es el dióxido de carbono-bicarbonato. La relación de alcalinidad se define como la relación entre los ácidos grasos volátiles y al bicarbonato, recomendándose no sobrepasar un valor de 0,3-0,4 para evitar la acidificación del reactor (Hammeken, 2005).

b. Nutrientes

Deben ser valores que aseguren el crecimiento de los microorganismos. Una de las ventajas inherentes al proceso de digestión anaerobia es su baja necesidad de nutrientes como consecuencia de su pequeña velocidad de crecimiento. El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimento de las bacterias formadoras de

metano. Por tanto, la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) tiene una gran importancia para el proceso fermentativo (Agrowaste, 2013).

2.3 Composición del lodo residual y sus características

La composición del lodo residual depende de las características del efluente del agua residual que entra a las plantas de tratamiento de aguas residuales y de los procesos de tratamientos utilizados, ya que entre más industrializada sea un área, tendrá mayores posibilidades de contener metales pesados en mayor proporción y será un problema para la aplicación de los lodos en suelos agrícolas (García, 2011).

El conocimiento al caracterizar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los lodos permitirá conocer su aptitud o inadecuación por posibles afecciones al suelo, cultivo y agua, así como su capacidad como fertilizante y acondicionador de suelos. Los criterios que se utilizan para determinar la calidad de los lodos para ser usados en la agricultura están basados, fundamentalmente, en características físicas: porcentaje de humedad y en características químicas: la materia orgánica, potencial de hidrógeno, nitrógeno, fósforo, microorganismos presentes y los metales pesados (arsénico, cadmio, mercurio, plomo y cromo) (García, 2011).

2.3.1 Características del lodo

Estas características son las que permiten brindar beneficios al suelo; ya que por medio del porcentaje de humedad (a), características químicas (b) y materia orgánica (c) el suelo puede ser revitalizado (Morales, 2005). Presentando también diferentes factores que pueden limitar las alternativas para la disposición final de los lodos, como es la presencia de nutrientes (d), la microbiología (e) y presencia de metales pesados (f).

a. Porcentaje de Humedad

El porcentaje de humedad es un factor que afecta en su mayoría al volumen de lodo, presentando variaciones principalmente por el tipo de lodo a analizar. Un lodo primario tiene del 91 al 95% de humedad, con un valor característico del 94%. En cambio, un lodo secundario, tiene del 98.5 al 99.5% de humedad, con un valor típico del 99.2%. Normalmente, los lodos cuentan con una humedad que puede dificultar la obtención de una muestra representativa. Por lo tanto, si el método lo permite, se deben secar y moler los lodos para reducir la variabilidad de las submuestras a usarse en los análisis. Es importante conocer el porcentaje de humedad presente en los lodos, ya que dependiendo de la humedad de los mismos se tiene la alternativa del reúso de los lodos como abono o combustible (García, 2011).

b. Características químicas

Las características químicas de los biosólidos están relacionadas a sus cuatro constituyentes principales: contenido orgánico, elementos nutritivos, concentración de patógenos, concentración de metales. Estas características tienen incidencia sobre la fertilidad del suelo y su capacidad de fijar metales pesados (Morales, 2005).

c. Materia orgánica

La materia orgánica de un sustrato es el componente más global que contribuye significativamente a mantener su capacidad productiva; influye en características físicas tales como porosidad, estado de agregación de las partículas, densidad aparente, etc. y proporciona una reserva estable de elementos nutritivos para las plantas y organismos en el medio edáfico, modificando ciertas propiedades químicas de éste durante su mineralización (García, 2011).

Los lodos residuales se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica. Se considera que los lodos residuales cuentan con un 50% de materia orgánica, entonces estos biosólidos son susceptibles a ser aplicados a suelos, previos estudios y

caracterización física y química. La materia orgánica presente en estos residuos a diferencia de otros, contiene elementos orgánicos (proteínas, azúcares simples, ácidos orgánicos, aminoácidos, péptidos, u otros compuestos) considerados de fácil degradación por los microorganismos del suelo. (García, 2011).

d. Nutrientes

Los lodos residuales estabilizados son aptos para mejorar las características del suelo, ya que proveen de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal. Incluyendo macronutrientes como el nitrógeno y fósforo, así como otros micronutrientes esenciales como el níquel y zinc. Por estas características nutritivas, los lodos pueden servir como una alternativa o sustituto de los fertilizantes químicos (Limón, 2013).

- **Nitrógeno**

El nitrógeno se encuentra naturalmente en la atmósfera, este elemento se encuentra de forma orgánica en el material orgánico de las células y por lo tanto de los procesos vitales de los seres vivos. Se encuentra, en forma de aminoácidos, proteínas y ácido nucleicos que son esenciales para todos los organismos; por fijación de bacterias o degradación de materia orgánica, se encuentra disponible en el suelo como amoníaco y amonio; y que por nitrificación causada por microorganismos en presencia de oxígeno producen nitrito y nitrato (Martín, 2013).

- **Fósforo**

Al igual que el nitrógeno, el fósforo es un nutriente vital para todos los organismos. Esto se debe a que es el componente de ácidos nucleicos, membranas celulares y de energía en forma de ATP. Este se encuentra presente en los lodos residuales debido a la materia orgánica, ya que las células degradadas liberan estos compuestos cargados de fósforo (Martín, 2013).

e. Microbiología

Existen tres tipos de microorganismos contenidos en los lodos que representan una amenaza para la salud pública, estos son los parásitos, bacterias y virus. Dentro de los más predominantes en los lodos, se encuentra la *Salmonellae* que puede inactivarse por medio de la incineración en donde la digestión aerobia o anaerobia no conseguirá eliminarla, pero si reducir el riesgo de alguna infección (Morales, 2005).

Los parásitos presentes en los lodos son huevos de cisticercos, nematodos y especies de áscaris; en donde un solo embrión de estas especies puede causar alguna infección. Y dentro de los virus se puede encontrar los causantes de la polio y la hepatitis. Es de suma importancia conocer los niveles de presencia de microorganismos presentes en los lodos (ver Cuadro 3) (Morales, 2005).

Cuadro 3. Niveles de indicadores de presencia de bacterias patógenas y virus en lodos.

Lodos Sin tratar	Coliformes totales	Coliformes fecales	<i>Streptococci</i> Fecal	Especies de <i>Salmonella</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Virus entericos
Primario	$10^6 - 10^8$	$10^6 - 10^7$	$\sim 10^6$	4×10^2	3×10^3	0.002-0.004 MPN
Secundario	$10^7 - 10^8$	$10^7 - 10^9$	$\sim 10^6$	9×10^2	1×10	0.015-0.026 MPN
Mezcla	$10^7 - 10^9$	$10^5 - 10^6$	$\sim 10^6$	$\sim 5 \times 10^2$	$\sim 10^3 - 10^5$	-

Las unidades son el número de organismos por gramo de peso seco (Morales, 2005)

f. Metales Pesados

La presencia de metales pesados en los lodos residuales, debe de ser tomada en cuenta para evitar la acumulación de metales pesados en los horizontes superficiales del suelo, ya que la arcilla o el humus absorben a los metales y estos generalmente no se lixivian. Además, algunos de estos metales pesados se acumulan en el medio ambiente y son tóxicos para los animales y las plantas. Su concentración en los lodos residuales puede limitar su idoneidad para el reúso de los mismos (Limón, 2013).

2.4. Legislación base para el manejo y tratamiento de lodos en Guatemala.

La Legislación de Guatemala cuenta con un reglamento de aguas y lodos residuales creado en el 2006, el cual se identifica como Acuerdo Gubernativo 236-2006. En este se describen los límites máximos permisibles (LMP) relacionados a los lodos residuales. El cual dicta que se permite la aplicación al suelo como acondicionador, abono o compost como una disposición final a los lodos, según el artículo 41 del Reglamento 236-2006 (En el Cuadro 4, se describen los parámetros y LMP). Para los lodos que sirven como acondicionador de suelos, es decir, para mejorar la estructura y composición del suelo se permitirá disponer hasta doscientos mil kilogramos por hectárea por año. Y si se desea utilizar como abono se permitirá hasta cien mil kilogramos por hectárea por año, como se establece (artículo 43).

Cuadro 4. Límites máximos permisibles de metales pesados.

Metales pesados	Dimensionales	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1500	3000	> 3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	> 50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	500	1000	> 1000

(Reglamento, 2006)

2.4.1 Riesgos de uso de lodos

Es importante tener en cuenta las prohibiciones relacionadas con el riesgo en la disposición de lodos, en donde según el Capítulo IX en el Artículo 59 del Reglamento 236-2006, se prohíbe la disposición final de lodos como abono para cultivos comestibles que se pueden consumir crudos o pre cocidos, hortalizas y frutas, sin haberlos estabilizado y desinfectado; además los metales pesados deben estar ausentes y los coliformes fecales deben ser menor a dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo (Reglamento, 2006).

2.5 Normativa internacional de metales pesados y contaminación microbiológica

Internacionalmente, se han normalizado ciertos lineamientos que controlan los índices de contaminación en suelos, agua y alimentos. Dentro de las normativas internacionales existentes, se encuentra el CODEX STAN 193-1995 emitido por la FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el cual expresa los límites máximos relacionados a contaminantes por toxinas y metales pesados.

Respecto a la contaminación microbiológica, se encuentra el Reglamento Técnico Centroamericano identificado como RTCA 67.04.50:08. Este reglamento es una adaptación parcial de la Norma Sanitaria de Perú sobre criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano.

2.5.1 Normativa General para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos

La presente normativa contiene los principios del Codex Alimentarius, con recomendaciones relacionadas a los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. En esta normativa se indican los niveles máximos de los

contaminantes y las sustancias tóxicas naturales que se encuentran en los alimentos y piensos que circulan en el comercio internacional. Esta norma comprende únicamente niveles máximos de contaminantes que pueden ser pertinentes para la salud pública. Presentando en el Cuadro 5, los límites máximos permisibles relacionados a los metales pesados en productos agrícolas.

Cuadro 5. Límites máximos en productos alimenticios.

Metales pesados	Dimensional	Arroz	Hortalizas	Legumbres, raíces y tubérculos	Frutas	Calidad alimentaria
Arsénico – As	mg/kg	0.2	-	-	-	0.5
Cadmio – Cd	mg/kg	0.4	0.05	0.1	-	0.5
Plomo – Pb	mg/kg	-	0.05	0.1	0.1	2

(FAO, 2015)

2.5.2 Reglamento Técnico Centroamericano de Alimentos

El reglamento tiene como objeto establecer los parámetros microbiológicos de la inocuidad de los alimentos, incluyendo los límites de aceptación de coliformes fecales en productos de comercialización. En el Cuadro 6, se especifican los límites máximos de coliformes fecales que se pueden presentar en productos agrícolas.

Cuadro 6. Límites máximos microbiológicos en productos alimenticios.

Parámetro	Frutas y hortalizas frescas	Cereales, raíces, tubérculos, legumbres y leguminosas	Té y hierbas para infusión	Semillas y nueces
<i>Escherichia coli</i>	100 UFC /g	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g

(Ministerio de Salud, 2009)

2.6 Descripción del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de la Universidad Rafael Landívar

La Universidad cuenta con diferentes tratamientos para aguas residuales resultantes de los edificios L, M, J, G, H, I, A, B, C y D del Campus Central (Lavagnino, 2010), presentando los tratamientos siguientes:

- Pre-tratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario
- Tratamiento de lodos

La PTAR de la Universidad Rafael Landívar cuenta con una caja de excedencias que se encuentra ubicada en el inicio del caudal a la planta; y tiene como función descartar cualquier cantidad de agua que ingrese y eleve el caudal a uno mayor que el de diseño. Este consiste en un canal con una capacidad de tratar un caudal máximo instalado de 24.03 litros por segundo. Diariamente se cuenta con un caudal promedio de 5.66 litros por segundo. Cualquier exceso de caudal que se rebalsa, se recolecta y se descarga directamente al cuerpo receptor (Lavagnino, 2010).

2.6.1 Pre-tratamiento

Son todos aquellos procesos físicos principalmente que permiten separar a los sólidos insolubles y de gran tamaño; encontrando dentro de estos tratamiento a las trampas de grasa, desarenadores por gravedad, rejillas o malla, entre otras tecnologías (Lizarazo, 2013). En el caso de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar se cuenta con los tres tratamientos mencionados con anterioridad.

a. Canal de Rejas y Desarenador

Es la primera unidad de la planta y junto con la trampa de grasa conforman el pre-tratamiento. Consiste en una caja dividida en dos canales rectangulares en paralelo que aseguran el servicio, siempre es necesario realizar limpiezas o mantenimientos. Cada canal tiene una reja con perfiles de secciones rectangulares pintadas con pintura anticorrosiva en el ingreso del caudal. Estas rejas sirven para separar los desechos de mayor tamaño como palos, piedras, trapos, plásticos, cadáveres de animales o cualquier basura de gran tamaño que sea parte del agua cruda. A lo largo de cada canal el agua fluye, y por acción de la gravedad las piedras y arenas que pueden obstaculizar las tuberías y circulación del agua, quedan retenidas en el canal para únicamente dejar pasar al siguiente proceso de tratamiento la materia orgánica (Lavagnino, 2010).

b. Trampa de Grasas

Deposito dispuesto para que la materia menos densa que el agua flote para ser removida, permitiendo así que el agua residual continúe circulando sin grasas por una abertura en la parte baja del depósito. Las grasas impermeabilizan las superficies porosas y no pueden ser eliminadas mediante procesos físicos o biológicos (Lavagnino, 2010).

2.6.2 Unidades de Tratamiento Primario

La función de estas unidades es reducir los sólidos en suspensión de las aguas residuales (Lizarazo, 2013).

a. Sedimentador Primario

La sedimentación es la separación de los sólidos sedimentables en el agua mediante la acción de la gravedad. Está compuesto por un canal rectangular donde el agua circula lentamente, permitiendo la sedimentación de sólidos en suspensión; que debido al tiempo de retención permite que los sólidos disueltos en el agua residual se sedimenten formando lodos que se envían al digestor. El resto de materia no sedimentada puede ser tratada mediante procesos biológicos. Los lodos son descargados por válvulas al digestor de lodos y luego al patio de secado para su desecho final. Todo el proceso primario elimina hasta el 60% de los sólidos en suspensión (Lavagnino, 2010).

2.6.3 Unidades de Tratamiento Secundario

Durante este tipo de tratamientos, se busca remover la DBO soluble y de sólidos suspendidos que no son removidos en los procesos anteriores. En estos tratamientos se reduce aproximadamente el 85% de DBO₅ y SS, aunque la remoción de nutrientes, nitrógeno, fósforo, metales pesados y patógenos no es tan significativa. Estas unidades de tratamiento realizan procesos con reacciones generalmente biológicas (Lizarazo, 2013).

a. Filtro Percolador

Inicio del tratamiento secundario. El agua residual, a la que se le ha eliminado los sólidos de mayor tamaño, y parte de los sólidos suspendidos y sedimentables en el tratamiento primario, es rociada sobre un lecho de piedras volcánica de 1.50 metros de profundidad, filtrándose hacia abajo donde se recolecta en un canal de vaciado. A

medida que el agua se filtra entre las piedras, se va formando una película de bacterias aerobias alrededor de las rocas. Estas bacterias descomponen a los contaminantes orgánicos contenidos en el agua en compuestos más sencillos de tratar. De esta forma, la cantidad de sólidos suspendidos en el agua es transformada en sólidos sedimentables. A su vez, la película biológica que se forma en las rocas es parcialmente removida por el paso del agua y arrastrada con ella hasta el siguiente proceso. Del filtro percolador se hace pasar el agua a otro tanque para que sedimenten los lodos (Lavagnino, 2010).

b. Sedimentador Secundario

Está compuesto por un canal rectangular donde el agua circula lentamente permitiendo que los lodos resultantes de los filtros percoladores se sedimenten al fondo del canal. Es indispensable colocar un proceso de sedimentación posterior a la unidad de filtros percoladores ya que ésta provoca el aumento de sólidos sedimentables en el agua. Luego de este proceso el agua está lista para descargarse al cuerpo receptor con niveles muy bajos de materia orgánica y suspendida. Los lodos sedimentados son descargados al digestor de lodos, para finalmente llevarlos al patio de secado para su desecho final (Lavagnino, 2010).

2.6.4 Unidades de Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario en algunos casos es la etapa final de la planta de tratamiento, ya que en este tratamiento se busca aumentar la calidad del efluente antes de que sea descargado al cuerpo receptor. En algunas plantas de tratamiento pueden utilizar más de un proceso, dependiendo siempre del tipo de agua residual que se esté tratando. En estas unidades de tratamiento se estabiliza el agua, a veces se eliminan algunos nutrientes y al final, el agua pasa por un proceso de desinfección (Camacho y Pérez, 2011). En la PTAR de la Universidad Rafael Landívar solo se separan los lodos del

agua residual y posteriormente las aguas residuales son desinfectadas con hipoclorito de sodio.

a. Hipoclorador

Única unidad de tratamiento terciario. Está compuesto por una caja de concreto, la cual sirve de protección al clorinador, en donde la cloración es un proceso utilizado para la desinfección del agua residual, en algunos casos se emplea para oxidación química o el control de olores (Lizarazo, 2013). Una tubería de agua residual previamente tratada, proveniente de la universidad, se conecta al clorinador en donde se mezcla el agua tratada con hojuelas de hipoclorito de sodio al 13% para obtener una solución de alta concentración de cloro que elimina los microorganismos del agua proveniente de los sedimentadores secundarios. Con esta unidad se completa el proceso de tratamiento de agua residual teniendo como resultado agua totalmente apta para su descarga al cuerpo receptor, según los parámetros que indica el Acuerdo Gubernativo No.236-2006 (Lavagnino, 2010).

2.6.5 Unidad de tratamiento de lodos

a. Digestor de lodos

Unidad de tratamiento de lodos provenientes de los sedimentadores primarios y secundarios. La digestión de lodos se lleva a cabo por medio de los organismos anaerobios que fermentan la materia reduciendo los sólidos volátiles, aumentando la gravedad específica de los lodos y produciendo gases. Los procesos de estabilización anaerobia trabajan mejor a temperaturas en el rango de 20-35°C. Los lodos que entran a esta unidad de tratamiento deben estar en un rango de potencial de hidrógeno entre 6 y 8; para regular este parámetro y controlar olores y la proliferación de vectores puede agregarse cal hidratada (Lavagnino, 2010).

El aumento de la temperatura y la reducción del potencial de hidrógeno durante la digestión es normal debido los procesos bioquímicos. La finalidad del proceso es inactivar los lodos, es decir, disminuir la concentración de DBO y cantidad de materia orgánica, para luego eliminar los agentes patógenos en el patio de secado. Por tratarse de un tratamiento anaerobio se debe producir mal olor, de lo contrario indicaría presencia de oxígeno en el proceso (Lavagnino, 2010).

b. Patio de Secado de lodos

Área destinada a secar los lodos inactivos provenientes del digester de lodos está compuesta por 2 patios que abarcan un espacio de 331.2 metros cuadrado y una profundidad de 0.50 metros. Es el método de deshidratación más utilizado por ser de bajo costo, requerir mínimo cuidado y mantenimiento, y a su vez cumple con el Artículo 40 del Acuerdo Gubernativo 236-2006. Su objetivo principal es eliminar los agentes patógenos al mismo tiempo que deshidrata los lodos para hacerlos más manejables y fáciles de transportar, esto al volverlos más consistentes y con olor menos ofensivo (Lavagnino, 2010).

En este proceso, se extraen los lodos del digester diariamente. Posteriormente estos formarán una mezcla sólida y homogénea para luego ser secados naturalmente por la radiación solar. El piso es una base permeable de baldosa que permite facilitar el secado de los lodos, pero se recomienda utilizar un rastrillo para homogenizar el secado de los mismos, realizando el volteo de los lodos 2 veces a la semana (Escobar, comunicación personal, enero 2017).

La planta está compuesta por dos líneas de tratamiento en paralelo, que pueden trabajar en simultáneo o independiente. Desde el tratamiento primario, hasta el tratamiento de lodos; logrando así que la limpieza de cada unidad de tratamiento no implique suspender la operación de la planta (Lavagnino, 2010).

2.7 Datos analizados de los lodos de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar

Los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar cuentan solamente como antecedente el Informe de lodos 2010, del Departamento de Mantenimiento, presente en el Anexo 1. En este, se analizaron únicamente metales pesados; incluyendo al arsénico, cadmio, mercurio, plomo y cromo. Obteniendo para el 2010, un resultado dentro de los límites máximos permisibles (LMP) que se encuentran en el Reglamento 236-2006, lo que dio a lugar la disposición final de los mismos como abono.

3. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El tratamiento de aguas residuales permite reducir la contaminación a los cuerpos de agua, pero tiene un efecto contra productivo con el subproducto de esta actividad. En una planta de tratamiento de aguas residuales además de producir aguas tratadas y con una mejora en su calidad física, química y biológica, se obtienen como subproducto los lodos. Esto se debe a que los lodos son la carga contaminante que se encuentra presente en las aguas residuales, que por medio de diferentes tipos de tratamiento son separados del agua. Posteriormente todos estos lodos son agrupados y deben de ser tratados para que estos no afecten al medio ambiente.

La Universidad Rafael Landívar dentro del Campus Central construyó en el año 2008 una Planta de Tratamiento para las aguas residuales, la cual se inauguró en el año 2010. En noviembre de ese mismo año, se realizó el único análisis de lodos de esta planta con el fin de conocer el funcionamiento de la PTAR, y se analizó exclusivamente los metales pesados. Esta planta brinda un tratamiento de agua residual de tipo doméstico generada en la universidad. Además cuenta con un digestor anaerobio, utilizado para estabilizar los lodos obtenidos que se presentan con abundante materia orgánica, los cuales posteriormente se deshidratan en el patio de secado.

En la actualidad, no se había realizado otro tipo de análisis de los lodos residuales por lo que se desconocía el estado físico-químico de los mismos. Teniendo presente que los lodos residuales de tipo domésticos suelen tener un alto potencial de reúso y al mismo tiempo, ser de alto riesgo al no presentar una desinfección y estabilización idónea. Por ello, es necesario establecer información para brindarle un uso correcto a los lodos y que estos puedan aprovecharse correctamente. Validando el uso como abono orgánico proveniente de los lodos residuales, al compararlo con diferentes parámetros físicos y químicos del abono de lombricompost.

4. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

Caracterizar el potencial de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Universidad Rafael Landívar, Campus Central como abono orgánico.

4.2. ESPECÍFICOS

- Determinar el porcentaje de humedad, el potencial de hidrógeno y las concentraciones de nitrógeno, fósforo en los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar en época seca.
- Comparar resultados de nitrógeno, fósforo y pH de los lodos con lombricompost proveniente de diferentes fuentes de materia orgánica.
- Analizar la factibilidad de uso de los lodos de acuerdo a la presencia de metales pesados y contaminación microbiológica.

5. METODOLOGÍA

5.1. LUGAR DE TRABAJO

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central se encuentra ubicada en Vista hermosa III zona 16, Guatemala, Ciudad Guatemala. Dentro de las coordenadas $14^{\circ}35'44.33''N$ y $90^{\circ}29'11.6''O$ mostradas en el mapa de la Figura 4.

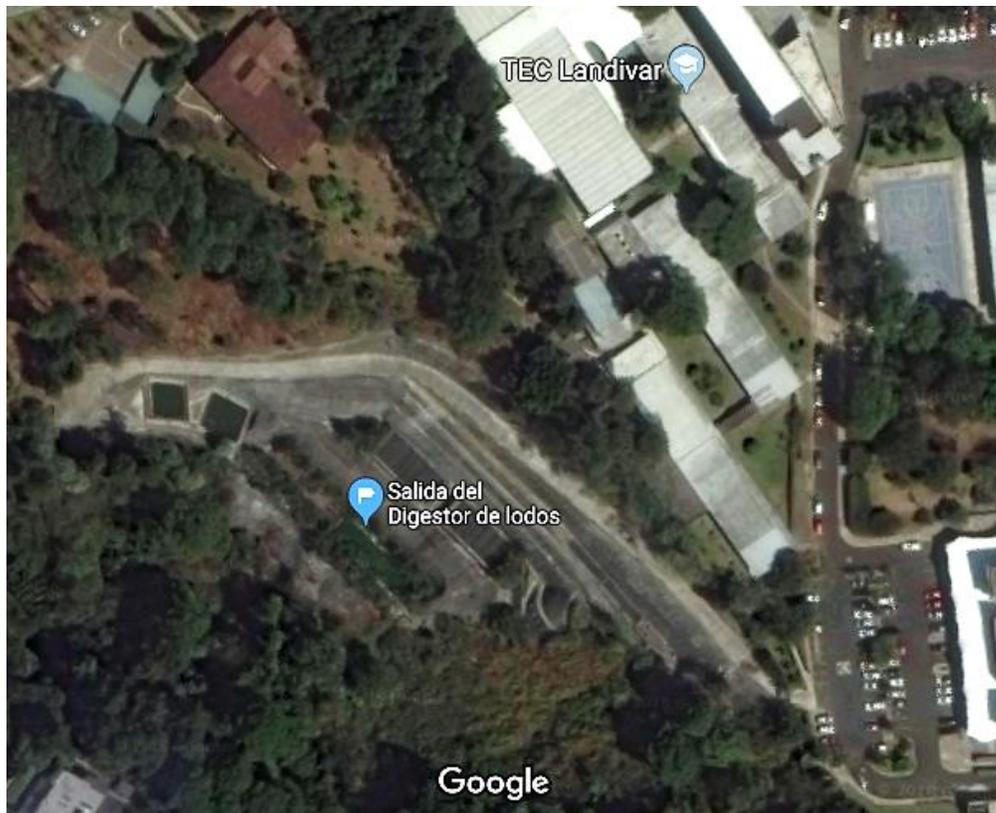


Figura 4. Localización de la salida del digestor de lodos de la PTAR de la URL. (Google, 2017)

5.2. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis de la investigación se basa en evaluar la factibilidad de uso de los lodos como abono orgánico, por medio de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras periódicas de lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central; específicamente en época seca.

5.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación de tipo Descriptiva, debido a que se analizó el potencial nutritivo de los lodos residuales conociendo la concentración de nitrógeno, fósforo, metales pesados y coliformes fecales.

5.4. INSTRUMENTO

Para el análisis de los lodos de la PTAR, se utilizarán los siguientes instrumentos:

- Utilización de N-P-K Soil Test Kit LaMotte®, para el análisis de nitrógeno y fósforo, en los Laboratorios de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas de la Universidad Rafael Landívar.
- Determinación de parámetros en los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales descritos en el Reglamento 236-2006:
 - a. Cálculo de la presencia de metales pesados por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica, en Laboratorios AMSA.
 - b. Determinación de Unidades Formadoras de Colonia (UFC), con diluciones y conteo en placa.

- Comparación de resultados obtenidos en los lodos con diferentes tipos de lombricompost, variando su materia prima (ver Anexo 2, 3 y 4).

5.5. PROCEDIMIENTO

5.5.1 Consulta Documental

La recopilación de información se conformó realizando dos entrevistas (ver Anexo 5) a las personas relacionadas con la planta de tratamiento. Obteniendo información principalmente del director del Departamento de Mantenimiento de la Universidad Rafael Landívar y del técnico encargado del mantenimiento diario de la planta.

5.5.2 Fase de Campo

Para la fase de campo se realizaron diferentes tipos de análisis, que permiten la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos residuales. Dentro de los cuales se encuentran: el análisis de nitrógeno y fósforo para conocer su potencial nutritivo, análisis de coliformes fecales y metales pesados; que deben de realizarse para conocer su capacidad de reúso según el Reglamento 236-2006. Comparando los resultados obtenidos de macronutrientes y potencial de hidrógeno (pH) que cuentan los lodos tratados en relación al abono orgánico derivado de lombricompost.

A. Toma y almacenamiento de muestras

Para la toma de la muestra se extrajeron cinco diferentes muestras obtenidas de la salida del digestor de lodos en cada muestreo, con un volumen aproximado de 500 mL. Estas muestras se rotularon con la fecha, hora, ubicación y nombre del responsable. Posteriormente, las muestras se almacenaron a 5°C hasta que se realizó el análisis. Obteniendo en total, veinticinco muestras recolectadas en época seca (23 de febrero, 31 de marzo, 3 de abril, 5 de mayo y 18 de mayo del 2017).

B. Porcentaje de humedad

Se pesaron 90 g de muestra húmeda en una cápsula de porcelana, exponiendo la misma a una temperatura de 100°C a 110°C por 48 horas. Posteriormente esta muestra se colocó en la desecadora a temperatura ambiente para normalizar la temperatura y no alterar el peso de la muestra seca. Por último, se calculó el porcentaje de humedad de la muestra.

$$\% \text{ sólidos} = \frac{\text{peso final} - \text{peso tara} \times 100}{\text{Peso inicial de la muestra}}$$

$$\% \text{ humedad} = \% \text{ sólidos} - 100$$

C. Potencial de hidrógeno (pH)

Se tomaron 20 g de lodo y se le agregan 40 mL de agua destilada en un beacker. Esta solución se mezcló durante 30 segundos y se dejó reposar durante 3 minutos, repitiendo el procedimiento cinco veces. Posteriormente, se dejó reposar la muestra alrededor de cinco minutos hasta que formó un sobrenadante; se midió el sobrenadante con un potenciómetro calibrado, y se tomó el dato del potencial de hidrógeno (pH) presente en el lodo.

D. Análisis de Fósforo Total

El método utilizado fue el Método de Ácido Ascórbico para Fósforo Total. Esta norma describe y regula el método de ensayo para la determinación de Fósforo Total (P_T) en suelos, rocas, sedimentos y materiales similares como lodos (Clesceri, 1998). El contenido de P_T en las muestras de sólidos es la cantidad de nutriente en una porción de suelo que contiene en el momento de ser extraído. Se usó un espectrofotómetro para determinar la concentración de fósforo total y se reportó en mg/Kg de peso seco de muestra.

Para el análisis de Fósforo Total se realizó el siguiente procedimiento:

- Se colocó de los 500 g recolectados, 100g en una cápsula de porcelana para introducirla al horno.
- Se dejó secar la muestra durante 48 horas, se sacó y enfrió en un tiempo máximo de dos horas.
- Se pesó 1g de la muestra secada en un crisol que se introdujo a una mufla a 400 °C durante 4 horas.
- Se sacó la muestra y se dejó enfriar, luego se le agregó 20 mL de ácido clorhídrico, utilizando un embudo con un filtro de papel para dejar pasar sólo el contenido disuelto en el ácido hacia un erlenmeyer.
- Se depositó el contenido del erlenmeyer en un balón de 100 mL y se aforó con agua desmineralizada.
- Al tener la muestra líquida en un balón aforado, se procedió a realizar los análisis para N-P-K Soil Test Kit LaMotte®; para luego realizar la lectura de los resultados obtenidos por fotometría.

Para conocer la concentración de fósforo total en peso seco de la muestra, se utilizó la fórmula que se muestra a continuación.

$$P_T = PO_4^{3-} * 1.19 = P_T \text{ mg/Kg de peso seco de muestra.}$$

E. Análisis de Nitrógeno Total

El método utilizado para la determinación de Nitrógeno Total es Fotométrico y se reporta en mg/Kg de peso seco de muestra. En este análisis se utilizó para Nitrógeno Total en suelos, rocas, sedimentos y materiales similares como lodos. El contenido de Nitrógeno total (Nt) en las muestras de sólidos es la cantidad de nutriente en una porción de suelo que contiene en el momento de ser extraído (Clesceri, 1998).

Para el análisis de Nitrógeno Total se realizó el siguiente procedimiento:

- Se colocó de los 500 g recolectados, 100g en una cápsula de porcelana para introducirla al horno.
- Se dejó secar la muestra durante 48 horas, se sacó y enfrió en un tiempo máximo de dos horas.
- Se pesó 1g de la muestra secada en un crisol que se introdujo a una mufla a 400 °C durante 4 horas.
- Se sacó la muestra y se dejó enfriar, luego se le agregó 20 mL de ácido clorhídrico, utilizando un embudo con un filtro de papel para dejar pasar sólo el contenido disuelto en el ácido hacia un erlenmeyer.
- Se depositó el contenido del erlenmeyer en un balón de 100 mL y se afora con agua desmineralizada.
- Al tener la muestra líquida en un balón aforado, se procedió a realizar los análisis para N-P-K Soil Test Kit LaMotte®; para luego tomar la lectura de los resultados obtenidos por fotometría.

F. Análisis de coliformes fecales

La metodología consistió en el analizar la cantidad de unidades formadoras de colonias de coliformes fecales para determinar el reúso de los lodos. Se procesó la muestra de lodos en diferentes diluciones, estas fueron desde 1:10 hasta 1: 1,000. Entre cada dilución se mezcló vigorosamente el frasco durante 30s. Posteriormente se realizó la inoculación de las últimas tres diluciones en cajas Petri con la técnica de placa vertida. Luego se incubó a 44°C durante 24 horas para poder ver los resultados. Después de presentar el crecimiento, se contaron las unidades formadoras de colonias (UFC) y se determinó la cantidad de UFC/gramo del lodo (Romero, 2009).

Para hacer el análisis de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) presentes en los lodos, se realizó el procedimiento siguiente:

- Se pesó 10g de lodo seco en las condiciones normales presentes en el patio de secado.
- Se diluyó el lodo seco pesado en 90 mL de agua destilada estéril para realizar diferentes diluciones desde 1:10 hasta 1:10³.
- Se extrajo una muestra de 1 mL de cada dilución resultante y se colocó en una caja Petri.
- Se vertió el medio de cultivo MacConkey ya preparado sobre 1 mL de la muestra líquida.
- Se integró la muestra con el medio a través de movimientos circulares y se dejó solidificar el medio.
- Se incubaron boca abajo las cajas Petri con medio de cultivo MacConkey a una temperatura de 44°C durante 24 horas.
- Se realizó el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) presentes en cada caja Petri.

G. Análisis de Metales pesados

Para la obtención de la cantidad de metales pesados en los lodos, estos se enviaron al laboratorio de Aguas y Sólidos de AMSA – Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Lago de Amatitlán. En donde, se analizó la concentración de metales pesados de; arsénico, cadmio y plomo. Mediante la metodología de espectrofotometría de absorción atómica (Clesceri, 1998).

5.6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se caracterizaron los lodos resultantes del digester anaeróbico, obteniendo valores determinantes que permitirán ser comparados con parámetros teóricos de nitrógeno y fósforo de fertilizantes orgánicos provenientes del proceso de lombricompostaje.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Caracterización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar en época seca

Los lodos extraídos de los procesos de tratamientos de las aguas residuales generalmente suelen ser líquidos o semisólidos con un contenido de sólidos entre 0.25% y el 12% en peso. En el caso de los lodos obtenidos de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar, se obtuvo un promedio de 3.85% de contenido sólido, complementándose con un 96.15% de agua. Esta fracción de lodo que es evacuado por el digester anaerobio de la planta está compuesta principalmente de materia orgánica y sólo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida, como se muestra en el cuadro 7.

Debido a que el lodo obtenido del digester se encuentra en un estado líquido, fue necesario exponer el mismo a filtración y secado para poder obtener el lodo sólido que se planea usar como abono. Con la finalidad de alcanzar un contenido de humedad del lodo seco menor al 10%. Es decir, la mayor cantidad de agua disponible en los lodos tratados debe filtrarse y de esta forma permitir que los lodos reduzcan su peso, faciliten su transporte y eviten una continua acción biológica.

Al analizar los diferentes muestreos en los distintos meses, se observa que en el mes de marzo y a mediados de mayo se presenta un menor porcentaje de humedad y por consecuente, existe un mayor porcentaje de materia sólida. En el caso del mes de marzo, se observa un menor porcentaje de humedad lo que pudo deberse a que fue un mes con temperaturas altas y nula precipitación.

Por otro lado, en el mes de mayo durante el segundo muestreo se observó una disminución significativa del porcentaje de humedad a pesar de que se presentara

mayor incidencia de precipitación durante este muestreo. Esto pudo deberse a que la incidencia de lluvias evitó que el personal de mantenimiento drenara constantemente los lodos del digestor al patio de secado. Provocando que el tiempo de retención de los lodos en el digestor durante estos meses fuera más prolongado y por consiguiente, se sedimentara una mayor cantidad de lodos, que al liberarlos al patio de secado resultó con un porcentaje mayor de material sólido que líquido.

A pesar de estas variables se observó que el porcentaje de humedad se mantuvo constante en el tiempo, ya que los datos se extrajeron en la misma época del año. Además, según los resultados obtenidos, refleja un alto porcentaje de agua lo que permite utilizar el lodo resultante como un abono orgánico. Presentando un porcentaje de humedad promedio para abonos orgánicos entre 30 – 35% (INTAGRI, 2016).

Cuadro 7. Porcentaje de humedad presente en muestras de lodos residuales provenientes del digestor de la PTAR URL, 2017.

Mes de muestreo	Porcentaje de sólidos (%)	Porcentaje de humedad (%)
Febrero	3.44	96.56
Marzo	4.07	95.93
Abril	3.17	96.83
Mayo (1)	3.50	96.50
Mayo (2)	5.09	94.91
Promedio	3.85	96.15

Al analizar los parámetros nutricionales de los lodos tratados en la PTAR, se identificó que los lodos son ricos en nitrógeno y fósforo, derivado de la descomposición de las heces fecales y la urea proveniente del agua residual doméstica. Obteniendo un valor promedio de nitrógeno total de 235 mg/Kg y 450 mg/Kg de fósforo total en época seca.

Presentando diferentes variaciones a lo largo de la época, causadas por factores externos que permiten su liberación en forma gaseosa, como es el caso del nitrógeno. Como se menciona anteriormente, los nutrientes de nitrógeno y fósforo suelen variar dependiendo de la presencia o ausencia de algunos elementos en el ambiente. En el caso del nitrógeno, siendo este un elemento muy volátil, al estar en forma de NO_3 y tener contacto con carbono orgánico suele reaccionar formando gases de CO_2 y N_2 .

En el caso del fósforo, suelen variar las formas en las que se encuentra el fósforo en el agua, pero su concentración no varía a causa de pérdidas por liberación gaseosa, sino que los cambios de concentración que se presenta en el fósforo son causados por la fuente de generación de este elemento, ya sea por cantidad excretada o materia orgánica en descomposición presente en el agua residual. Además, la concentración de nutrientes en el agua residual también es alterada por la presencia de productos de limpieza, como detergentes y jabones, que se encuentran cargados de sulfatos y fosfatos (Builes, 2010).

A lo largo de los diferentes meses, se identificó que los lodos resultantes son ricos en fósforo total, casi una relación en concentración de 1:2 (N:P). Las plantas normalmente requieren más nitrógeno que fósforo, debido a que el nitrógeno acelera la vida vegetativa y desarrollo de la planta. Sin perder de vista que el fósforo es clave para la transferencia y generación de energía para la planta. Por lo que al presentar deficiencia tanto de nitrógeno como fósforo, esta puede generar un desequilibrio en la ingesta de otros nutrientes, acompañado de un crecimiento anormal de la planta (Monge et al., 2006).

En la actualidad, este subproducto del tratamiento de aguas residuales es almacenado en el área de jardinería. Aproximadamente, se extrae un volumen de 1 m^3 de lodo filtrado al mes. Tomando en cuenta que este no es reusado de ninguna forma ya que en

intentos anteriores de reusar los lodos, las raíces de las plantas que estaban en contacto con el lodo morían debido a que las plantas sembradas en este sustrato experimentaron raíces quemadas por lo que optaron por detener la reutilización del lodo. Debido a esta situación y conociendo el potencial nutricional de estos lodos, es necesario brindarle un tratamiento de compostaje con la finalidad de terminar de estabilizar los lodos y brindarles una temperatura adecuada para que este lodo pueda ser utilizado en jardinería con plantas ornamentales y pilones forestales.

6.1.1 Nitrógeno total

Los factores que principalmente afectan la presencia de nitrógeno son microorganismos como bacterias nitrificantes, ausencia de oxígeno y reacciones químicas con carbono orgánico. Teniendo en cuenta que el nitrógeno es un elemento muy volátil al estar en contacto con oxígeno y carbono orgánico, que es el material resultante de la descomposición de las plantas, del crecimiento bacteriano y actividades metabólicas de los organismos vivos o de compuestos químicos. Este elemento experimenta diferentes reacciones químicas de desnitrificación que permiten liberar nitrógeno en estado gaseoso (N_2) (Martín, 2013).

Por esta razón, se entiende la decreciente concentración de nitrógeno en los meses más cercanos a la época lluviosa (ver figura 5) ya que el nitrógeno presente en los lodos se encuentra comúnmente en forma de nitratos (NO_3). Sin embargo, existen otras formas en las que se encuentra el nitrógeno tales como el amoníaco (NH_3) y la urea; las cuales a través de reacciones químicas causadas por bacterias y el contacto con el material orgánico en descomposición, que representa el carbono orgánico, se convierten en nitratos o en nitrógeno gaseoso (N_2).

El nitrógeno es necesario para el crecimiento y funcionamiento de las plantas. Es importante mencionar que las plantas necesitan obtener el nitrógeno en forma fijada

para que pueda ser absorbida por las raíces y así puedan sintetizar proteína. En la planta, los compuestos de nitrógeno son combinados con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas. Tomando en cuenta que un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes. Es favorable contar con una concentración de nitrógeno dentro del rango de 0.5 a 3.7% para un abono orgánico. El lodo residual que se analizó cuenta con una concentración de 3.65% de nitrógeno, lo que permite identificar que el lodo presenta una concentración óptima de nitrógeno.

Cuadro 8. Concentración de Nitrógeno total presente en muestras de lodos residuales provenientes del digestor de la PTAR URL, 2017.

Fecha de muestreo	Concentración de N _T (mg/kg)
Febrero	250
Marzo	244
Abril	235
Mayo (1)	231
Mayo (2)	215
Promedio	235

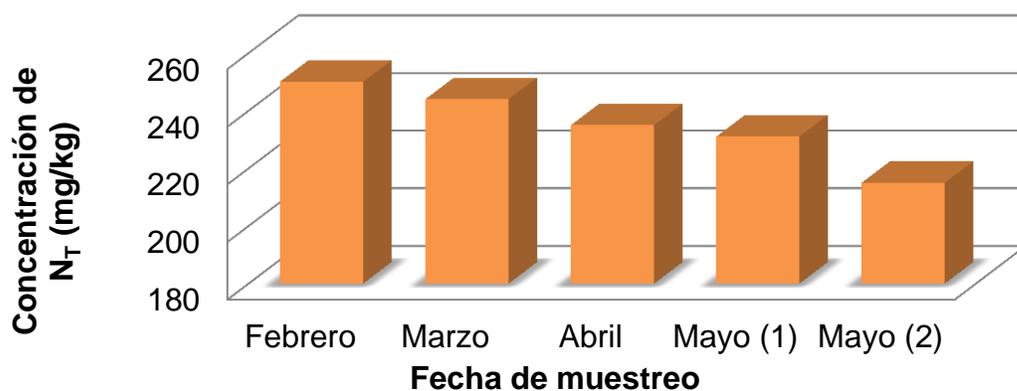


Figura 5. Concentración de Nitrógeno total presente en muestras de lodos residuales provenientes del digester de la PTAR URL, 2017.

6.1.2 Fósforo total

La concentración de fósforo presente en los lodos residuales se debe al agua residual doméstica con heces fecales y detergentes comerciales. Tanto las células muertas como las vivas que se presentan en el agua residual contienen fósforo orgánico particulado y una parte del fósforo inorgánico disuelto en el agua procede de material orgánicos por excreción y descomposición. Las tres formas de fósforo presentes en los ecosistemas son fósforo particulado, disuelto en forma de PO_4 y fósforo inorgánico, las cuales se hidrolizan o descomponen en el agua formando PO_4 (Davis y Masten, 2005).

En este estudio, se presentaron rangos altos de fósforo en comparación a diferentes abonos orgánicos. Esto se debe a que además de que la concentración de fósforo en el agua residual doméstica suele ser alta, en los lodos suele ser mayor ya que estos son resultantes de los sedimentos de todo el proceso de tratamiento del agua residual.

Cuadro 9. Concentración de Fósforo total presente en muestras de lodos residuales provenientes del digester de la PTAR URL, 2017.

Fecha de muestreo	Concentración de P_T (mg/kg)
Febrero	504
Marzo	560
Abril	386
Mayo (1)	409
Mayo (2)	392
Promedio	450

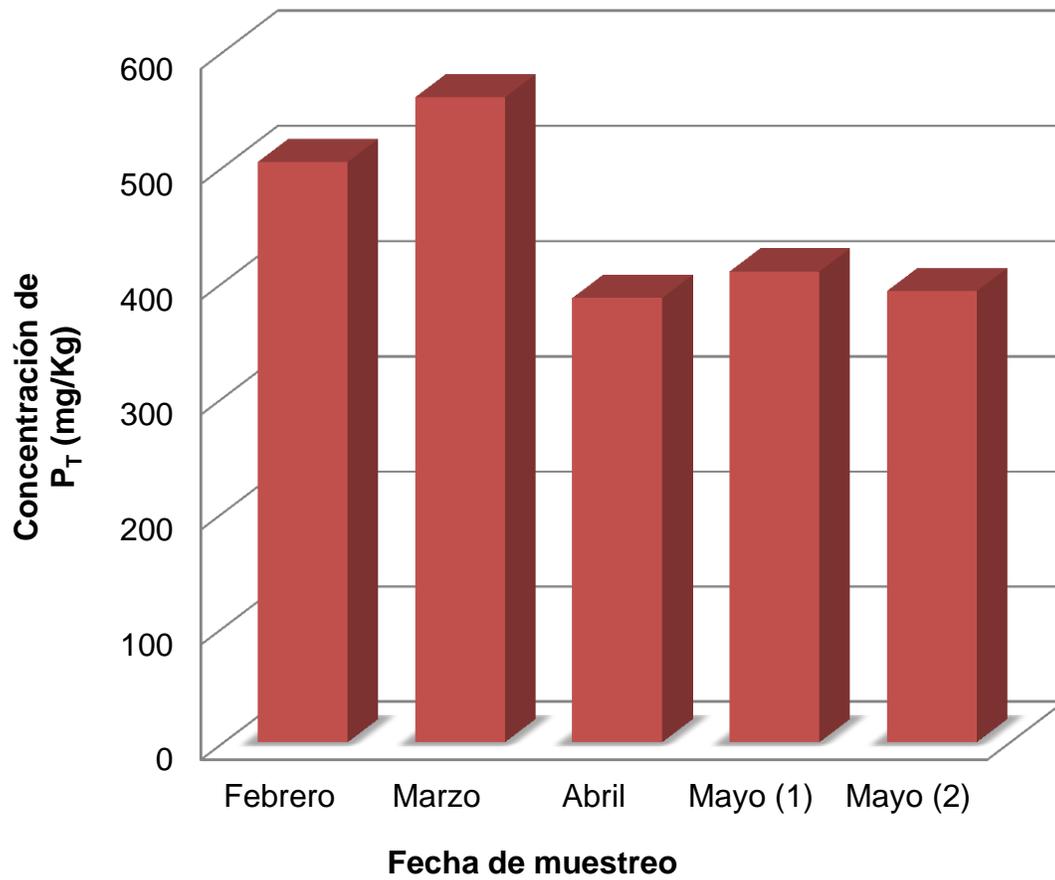


Figura 6. Concentración de Fósforo total presente en muestras de lodos residuales provenientes del digestor de la PTAR URL, 2017.

6.2 Comparación de nitrógeno, fósforo y pH de los lodos residuales con diferentes tipos de lombricompost

En la comparación de la concentración de nutrientes presentes en los lodos, así como en el humus de lombriz (lombricompost), se logra observar que el nitrógeno se presenta con un porcentaje ligeramente mayor en los lodos residuales de la PTAR URL que en el humus de lombriz. Por otro lado, en el caso del fósforo total, se ve una diferencia significativa entre ambos abonos presentando el lodo residual una mayor concentración que el humus. Los lodos son más ricos en nutrientes en comparación con el lombricompost (ver figura 7).

Estos lodos cuentan con un pH ligeramente ácido para el suelo, por lo que es necesario conocer el suelo y el cultivo al que se le aplicará este abono con la finalidad de evitar modificar de forma negativa las características del suelo y afectar su productividad.

Cuadro 10. Comparación de nutrientes presentes en lodo residual del digestor de la PTAR de la URL en relación con datos teóricos del humus de lombriz.

	Lodo residual sólido	Humus de lombriz de pulpa de café	Humus de lombriz de estiércol	Humus de lombriz de residuos orgánicos
Nitrógeno total (%)	3.65	2.5	2.11	2.6
Fósforo total (%)	9.76	1.075	1.81	5
pH	5.59	6.75	6.92	7

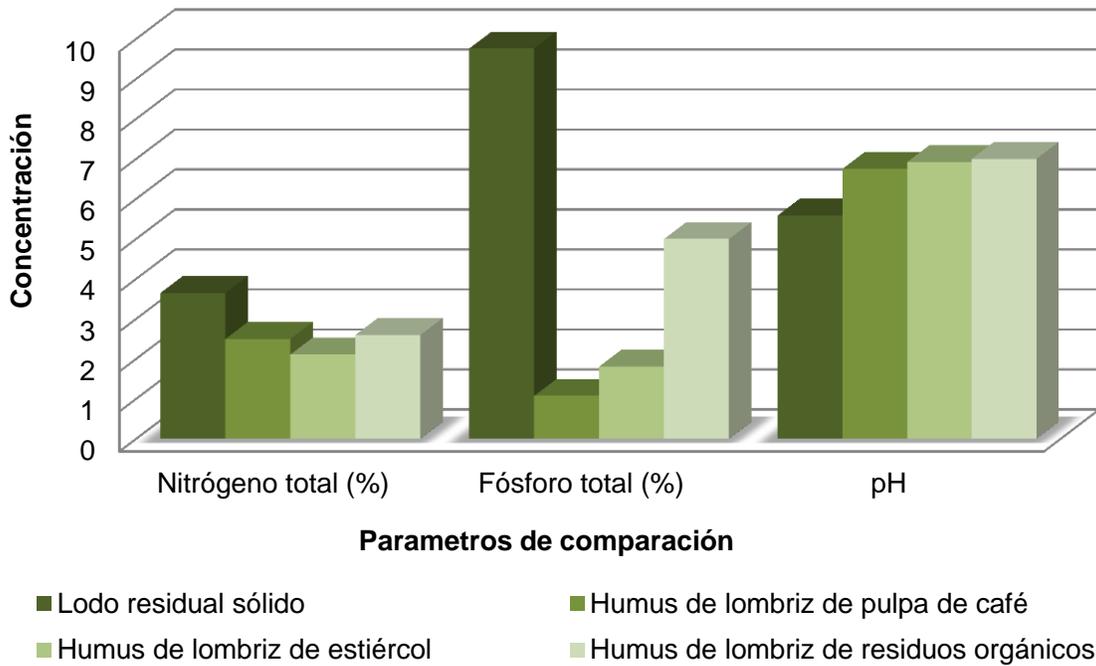


Figura 7. Comparación de lodo residual del digester de la PTAR de la URL en relación a datos teóricos de diferentes tipos de humus de lombriz.

El fósforo total que presentan los lodos al ser utilizados como abonos orgánicos, es alto comparado con el lombricompost, por lo cual se recomienda aplicarlo de acuerdo con la etapa fenológica y requerimiento nutricional del cultivo a producir.

De acuerdo con la comparación entre diferentes tipos de lombricompost o humus de lombriz, los lodos se pueden describir como un abono con alto potencial nutritivo, con un pH ligeramente ácido. Por lo tanto, este lodo puede utilizarse como abono orgánico por la cantidad de nitrógeno y fósforo presente para nutrir las plantas y que al mismo tiempo permita regenerar el suelo a largo plazo por la materia orgánica que contiene, sin perder de vista que la aplicación del abono dependerá del pH que presente el suelo en donde se planea aplicar.

6.3 Análisis de la factibilidad de uso de los lodos de acuerdo con la presencia de contaminación microbiológica y metales pesados

6.3.1 Unidades formadoras de colonias (UFC)

En el caso de la presencia de coliformes fecales, se observó que los lodos no se exponen mucho tiempo a la radiación solar, utilizando un periodo de 45 días para filtrado y secado. En los resultados mostrados en el cuadro 11 y figura 8, se observa un incremento en el primer muestreo de mayo y menor cantidad en el segundo muestreo del mismo mes. Obteniendo 3300 UFC de coliformes fecales por gramo de lodo residual en el pico más alto, debido a una menor exposición a radiación solar después de haber sometido los lodos a un periodo de filtración. Por el contrario, en el segundo muestreo del mes de mayo se obtuvo una menor concentración de coliformes fecales, resultando con 500 UFC por gramo de lodo. Esto se debe a que esta muestra estaba expuesta a la radiación solar por un periodo de tiempo más prolongado.

Las condiciones climáticas afectan directamente la desinfección de los lodos ya que mientras se reduzca la exposición de radiación solar, ya sea causada por nubosidad o precipitación, el lodo presenta mayor dificultad para ser esterilizado. Por consiguiente, el periodo de desinfección se prolongará más para asegurarse de eliminar los patógenos riesgosos para la salud humana (Limón, 2013). Como se demuestra en el último muestreo ya que a pesar de presentar precipitación y días nublados durante el periodo de esterilización se obtuvo menor presencia de coliformes fecales ya que se extendió el periodo de exposición solar. Reflejando el comportamiento de los resultados obtenidos en relación con el periodo de secado según los días sin lluvia (ver Anexo 10).

Al relacionar las UFC presentes en los lodos tratados de la Universidad Rafael Landívar, se observó que se encuentran con alta presencia de coliformes fecales en relación con los límites que plantea el Acuerdo Gubernativo 236-2006, en el Artículo 59. El cual prohíbe la disposición de lodos como abono que excedan las 2000 UFC/Kg de coliformes fecales para cultivos comestibles. Comparando también los resultados obtenidos del lodo residual con el Reglamento Técnico Centroamericano de Alimentos. En donde se establece como límite permisible, hasta 100 UFC/g en productos frutales y hortalizas frescas.

A través de los resultados se logra demostrar la importancia de la radiación solar para desinfección de los lodos residuales. Identificando que el periodo actual de exposición solar para la desinfección de los lodos no es suficiente para cumplir los límites nacionales e internacionales permisibles para coliformes fecales. Por consiguiente, estos lodos no pueden ser utilizados para aplicarlos en suelos como abono debido a que la concentración de UFC se encuentra en un rango de riesgo para la salud humana en el momento de ingerir productos resultantes de cultivos abonados con estos lodos.

Lo que permite entender, que es imprescindible que los lodos residuales tengan un tiempo de exposición a la radiación solar mayor a los 70 días, después de filtrar los mismos para eliminar el exceso de agua. Es importante mejorar el proceso de desinfección para evitar que los lodos puedan actuar como vector de enfermedades, tanto para los trabajadores que tienen manejo directamente los mismos como todo aquel que tenga contacto con el área o el producto obtenido después de la aplicación de los lodos como abono. Permitiendo a la vez que, al obtener un producto mayormente desinfectado, los lodos puedan tener la capacidad de permitir un reuso más variado.

Cuadro 11. Unidades Formadoras de Colonias de coliformes fecales por gramo de lodo residual (UFC/g) presente en muestras de lodos residuales provenientes del patio de secado de la PTAR URL, 2017.

Fecha de muestreo	Días de exposición solar	Resultados (UFC/g)	Coliformes fecales (UFC/g)	
			Reglamento técnico Centroamericano (Frutas y hortalizas)	AG 236-2006 (Aplicación en suelos)
Febrero	45	2000	100	2
Marzo	45	2000	100	2
Abril	48	2000	100	2
Mayo (1)	26	3300	100	2
Mayo (2)	67	500	100	2

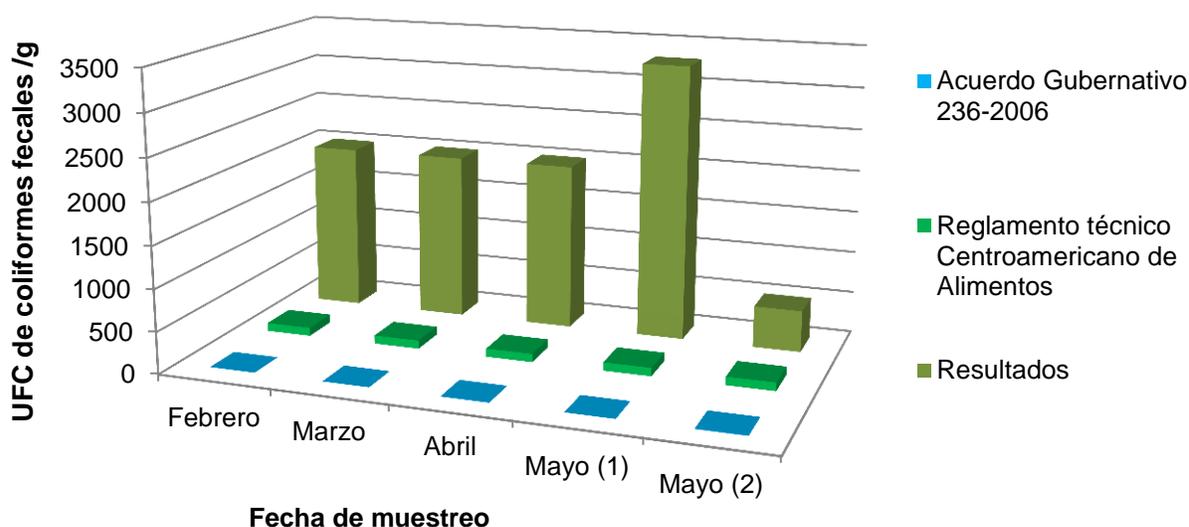


Figura 8. Unidades Formadoras de Colonias de coliformes fecales por gramo de lodo residual (UFC/g) presente en muestras de lodos residuales provenientes del patio de secado de la PTAR URL, 2017.

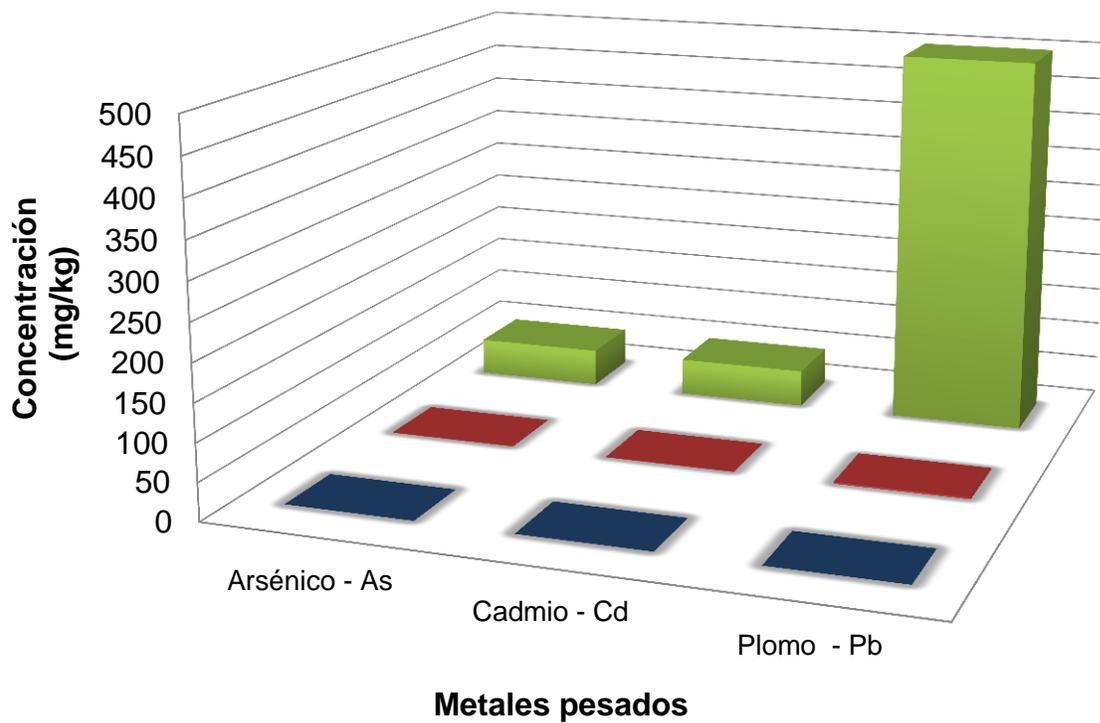
6.3.2 Metales pesados

Según los análisis realizados de los metales pesados se puede observar que no hay presencia significativa de estos metales, por tal motivo los lodos si cumple con el reglamento de aguas residuales, el cual describe en el Artículo 43: “Los lodos que presenten metales pesados y que se ajusten a los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 42, podrán disponerse como acondicionador del suelo, en cuyo caso se permitirá disponer hasta doscientos mil kilogramos por hectárea por año. En caso de que la aplicación sea como abono se permitirá disponer hasta cien mil kilogramos por hectárea por año.”

Lo que también permitió demostrar que las aguas tratadas en la Universidad Rafael Landívar son aguas residuales domésticas. Por lo tanto, no existe mezcla entre aguas domésticas y aguas especiales derivadas de los laboratorios. Por lo tanto, su ausencia permite que su reúso sea la aplicación en suelos como abono.

Cuadro 12. Concentración de metales pesados presentes en muestras de lodos residuales provenientes del digestor de la PTAR URL, 2017.

Metales pesados	Resultados (mg/kg)	LMP	
		CODEX STAN 193- 1995 (Calidad alimentaria)	AG 236-2006 (Aplicación en suelos)
Arsénico - As	0.01	0.5	50
Cadmio - Cd	0.05	0.5	50
Plomo - Pb	0.05	2	500



■ Resultados ■ CODEX STAN 193-1995 ■ AG 236-2006 (Aplicación en suelos)

Figura 9. Concentración de metales pesados presentes en muestras de lodos residuales provenientes del digester de la PTAR URL, 2017.

7. CONCLUSIONES

Los lodos resultantes de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Universidad cuentan con un alto potencial como abono de origen orgánico debido a su riqueza en nutrientes y cumplimiento dentro del límite de concentración de metales pesados; sólo si estos se desinfectan correctamente ya que no cumplen con los límites máximos permisibles en microbiología de la normativa nacional e internacional.

La caracterización de los lodos residuales analizados en época seca presenta un porcentaje de humedad del 96.15% complementándose con 3.85% de material sólido; el cual está conformado con 3.65% de nitrógeno total y 9.76% de fosfatos. Lo cual demuestra un alto potencial nutritivo que permite su posible utilización como abono orgánico.

Los valores de nitrógeno y fósforo presentes en los lodos permiten demostrar que los lodos residuales son ricos en nutrientes en comparación al lombricompost. Presentando 1.25% más de nitrógeno y 6.91% más de fósforo en lodos que el promedio de los diferentes tipos de lombricompost, aplicando este abono dependiendo del pH presente en el suelo y si se desinfectan correctamente para cumplir con los LMP de coliformes fecales que dictan las normativas nacionales e internacionales.

Los parámetros microbiológicos obtenidos con relación a los coliformes fecales presentes en los lodos no cumplen con los LMP que dicta el Acuerdo Gubernativo 236-2006 ni con Reglamento Técnico Centroamericano de Alimentos 67.04.50:08, que se utiliza para frutales y hortalizas frescas; debido a que la concentración de UFC en los lodos después de estar expuesto 45 días a radiación aún se encuentra en un rango de riesgo para la salud humana.

La concentración de metales pesados se encuentra por debajo de los LMP del Acuerdo Gubernativo 236-2006 permitiendo su reúso en aplicación en suelos si se cumplen los parámetros microbiológicos requeridos, y además comprueba que las aguas tratadas solamente son aguas residuales domésticas y no se mezclan con aguas especiales.

Se identificó que los lodos residuales son ricos en fósforo, presentando una relación en concentración de 1:2 (N:P). Ambos nutrientes son indispensables para un correcto funcionamiento de la planta, pero debido a su abundancia en fósforo, es necesario aplicar este abono de acuerdo con la etapa fenológica y requerimiento nutricional del cultivo a producir.

8. RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan las siguientes recomendaciones:

Analizar qué periodo de secado es ideal para la óptima estabilización de los lodos, teniendo en cuenta que debe ser mayor de 70 días, ya que por el contrario los lodos no reducen la concentración de coliformes fecales y no podrían utilizarse para aplicación en suelos. Tomando en cuenta que es necesario examinar otros tipos de patógenos presentes en el lodo residual, para reducir riesgo de enfermedades que este pueda transmitir en el momento de la manipulación y reúso de los lodos.

Optimizar el proceso de estabilización de los lodos a través de compostaje de los mismos al mezclarlos con materia orgánica de origen vegetal para mejorar el contenido nutricional y eliminar los patógenos.

Evaluar diferentes tratamientos para la contaminación microbológica de los lodos, tomando en cuenta que no todos los organismos infecciosos se eliminan con altas temperaturas.

Analizar los lodos en época lluviosa, ya que la desinfección de los lodos se ve afectada al presentarse menor incidencia de radiación solar y menor temperatura, por lo que el periodo de desinfección podría fluctuar dependiendo de las condiciones climáticas.

Mejorar el secado de los lodos ya que su contenido de agua es mucho mayor al contenido sólido que representan los lodos, utilizando diferente tecnología como por ejemplo filtro prensa que funciona mediante la aplicación de altas condiciones de presión para eliminar el exceso de agua y dejar una pasta conformada por los lodos.

Complementar la investigación con un estudio que analice de las temperaturas presentes en los lodos para poder determinar el periodo necesario para la eliminación de patógenos riesgosos para la salud humana.

Realizar una investigación experimental sobre el mejoramiento del suelo y los beneficios económicos que pueden generarse al aplicar el lodo residual de la planta de tratamiento de la Universidad que previamente fue esterilizado.

Comparar el desarrollo de plantas ornamentales y especies forestales al aplicar los lodos residuales como abono orgánico en sustitución a fertilizantes químicos, analizando también la factibilidad de uso de los lodos como sustrato para el desarrollo de pilones.

Realizar estudio que analice la influencia de los lodos residuales sobre las propiedades biológicas y fisicoquímicas del suelo; tomando en cuenta la actividad biológica, capacidad de absorción y retención de humedad, porosidad, textura y materia orgánica del suelo antes y después de la aplicación de los lodos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Brunner, P.H. (1978). Methods of Analysis of sewage sludge solid wastes and compost. International Reference Centre for Wastes Disposal. Dübendorf, Switzerland.
- Castillo, J.C. (2010). Análisis de Lombricompuestos a partir de diferentes sustratos. Tesis de posgrado: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía.
- Clesceri, L.S; Eaton, A.D y Greenberg, A.E. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition. Edited by APHA, AWWA and WEF.
- Davis, M.L y Masten, S.J (2005). Ingeniería y ciencias ambientales. Ediciones McGraw-Hill.
- García, M. (2011). Caracterización química de lodos vermicompostados y su efecto en tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.). Múnich, GRIN Verlag.
- Girón, A. (2005). Estudio de factibilidad de la producción y comercialización del abono humus orgánico producido por la lombriz roja. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Tesis profesional.
- González, H y Arreaga, F. (1982). Manual de laboratorio de física y química de suelos. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Departamento de Ciencias Agrícolas.
- Hammeken, A. y Romero, E. (2005). Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Colula. Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla, México. Tesis profesional.
- Henríquez, O. (2011). Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agrosistemas de la provincia de Melipilla, región metropolitana, Chile. Universidad de Chile, Facultad de ciencias forestales y de la conservación de la naturaleza. Santiago de Chile. Tesis profesional.
- Lavagnino, H.R. (2013). Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Centra. Tesis de grado: Universidad Rafael Landivar, Guatemala.

- Marschner, H. (2006). Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Institute of Plant Nutrition, University of Hohenheim, Germany. 889p.
- Martin, K. and Sauerborn, J. (2013). Agroecology. Springer Dordrecht Heidelberg New York London. 330p.
- Metcalf & Eddy (2003). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Ed. McGraw-Hill. Madrid.
- Ministerio de Salud. (2009). Reglamento técnico centroamericano. Alimentos. Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos. RTCA 67.04.50:08. Cooperación de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. (2015). Norma General para los contaminantes y toxinas presentes en los alimentos y piensos. CODEX STAN 193-1995. Organización Mundial de la Salud. Normas internacionales de los alimentos. CODEX ALIMENTARIUS.
- República, C. d. (2006). REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICION DE LODOS. Guatemala: Congreso de la Republica.
- Romero, J. A. (2009). Calidad del agua. Tercera Edición. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 485p.

Fuentes en Red

- Agrowaste. (2013). Digestión anaerobia. Campus Universitari de Espinardo, CEBAS-CSIC. Union Europea. Disponible en pdf: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>
- Argotty, M. (2009). Análisis de lombricomposto obtenido a partir de residuos sólidos orgánicos dispuestos en el relleno sanitario de Atanas de la ciudad de Pasto. Investigación por el Comité Nacional para el Desarrollo de la Investigación. Colombia. Disponible en pdf: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/me/article/download/235/234>
- Builes, S. (2010). Tratamiento y adecuada disposición de lodos domésticos e industriales. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Tecnología química. Colombia. Disponible en pdf: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1835/62839B932.pdf?sequence=1>
- Camacho, K.L. y Pérez, F.E. (2011). Tecnologías para tratamiento de Aguas servidas. Universidad Veracruzana. México. Disponible en pdf: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29490/1/PerezAlarconyCamachoAlcala.pdf>
- Campos, E. y García, N. (2009). Análisis básico del reúso de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca. Quivera, vol. 11, núm. 2, pp. 35-51. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Disponible en pdf: <http://www.redalyc.org/pdf/401/40113786003.pdf>
- Carolina, C. (2015). Diferencias entre fertilizante y abono. Guía de Jardinería. Disponible en línea: <http://www.guiadejardineria.com/diferencias-entre-fertilizante-y-abono/>

- Gavi, F. (2014). Uso de fertilizantes. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo, México. Disponible en pdf: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/UsodeFertilizantes.pdf>
- IFA – Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. (1992). Los fertilizantes y su uso. París, 632p. Disponible en pdf: <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- INTAGRI – Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. (2016) Los abonos orgánicos beneficios, tipos y contenidos nutrimentales. Guanajuato, México. Disponible en pdf: <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/los-abonos-organicos-beneficios-tipos-y-contenidos-nutrimentales>
- Limón, J.G. (2013). Los lodos de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Guadalajara, Jalisco. México. Disponible en pdf: http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_qualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf
- Lizarazo, J.M. (2013). Sistemas de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Disponible en pdf: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>
- Martínez, E. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales y lodos producidos. Comisión Nacional de Agua, Coyoacán, México, D.F. 268p. Disponible en pdf: <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/49SistemasAlternativosDeTratamientoDeAguasResidualesyLodosProducidos.pdf>
- Monge, E., Val, J. y Álvarez, A. (2006). Evolución y distribución de nitrógeno, fósforo y potasio en planta de maíz (*Zea mays, L.*). Investigación. Departamento de Genética y Producción Vegetal. Zaragoza, España. Disponible en pdf: http://digital.csic.es/bitstream/10261/89703/1/AlvarezA_XISympIberNutrMinPla_2006.pdf

Morales, P. (2005). Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento. Tesis profesional. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla, México. Disponible en pdf:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/capitulo4.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso. Cuarta edición, Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, Roma. Disponible en pdf:

<ftp://ftp.fao.org/aql/aqll/docs/fertuso.pdf>

Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos -REPAMAR-. (1999). Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamiento. Municipio Metropolitano de Quito, Dirección de Medio Ambiente. Disponible en línea: <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html>

Salcedo-Pérez, E. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. Interciencia, volumen 32 N°2. Disponible en línea:

http://www.interciencia.org/v32_02/115.pdf?q=lodoshttp://www.interciencia.org/v32_02/115.pdf?q=lodos

United States Government. (2016). Code of Federal Regulations. Title 40, Chapter I, Subchapter O, Part 503. Found at: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2016-title40-vol32/pdf/CFR-2016-title40-vol32-part503.pdf>

10. ANEXOS

Anexo 1. Resultados obtenidos en Informe de análisis de lodos (Nov. 2010).



Vista Hermosa III Zona 16 1er Nivel Edificio TEC LANDIVAR Campus URL
Teléfono 2-62-2394

INFORME DE ANÁLISIS No. 1704-10

DATOS DE LA MUESTRA			
Código de Laboratorio:	PA-1723-10	Empresa	Universidad Rafael Landívar, Dirección Administrativa
Nombre la muestra:	Lodos de Planta de Tratamiento Aguas Residuales URL	Dirección	Campus Central, Vista Hermosa III, zona 16.
Lote:	No presenta	Análisis Solicitado:	Fisicoquímico
Fecha de Producción:	No presenta	Con atención a:	Lic. Nelson Ortiz / Ing. Pablo Escobar
Fecha de Vencimiento:	No presenta	Fecha de recepción	08/11/10
Código de Análisis	C8-230	Fecha de Informe	18/11/10

DATOS DE LA MUESTRA	
Condiciones de la muestra al momento de la recepción:	Muestreo en lugar con botella de vidrio.
Fecha de inicio de análisis	08/11/10
Fecha de Finalización	17/11/10

Resultados de Análisis Fisicoquímicos

<i>Parámetros (Dimensional)</i>	<i>Resultados</i>	<i>**Valor máximo permisible (Aplicación en suelo)</i>
Arsénico As (mg/Kg)	0.48	50
Cadmio Cd (mg/Kg)	<4	50
Mercurio Hg (mg/Kg)	3.20	1000
Plomo Pb (mg/Kg)	<10	25
Cromo Cr (mg/Kg)	<6	500

Abreviaturas: mg/Kg : miligramos por un kilogramo

**Referencia: Reglamento de las descargas y reuso de Aguas Residuales y de la disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo Número 238-2008. Límite máximo permisible para APLICACIÓN EN SUELO

*** No descrito en el Reglamento con estas dimensionales.

Metodología: REFERIDO <ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA. Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 21 Ed. / Digestión en horno de microondas>

Analista: FF

Supervisado por:

Inga. Isis López de Gálvez
Colegiado 1222
Gerente de Laboratorio

Gestión de Servicios, S.A
Laboratorio de Control de Calidad
CONCALIDAD
Vista Hermosa III, 1er Nivel Edificio TEC LANDIVAR
Campus Central URL Zona 16
Guatemala, Guatemala

NOTAS:

1. Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada tal y como fue recibida por Concalidad.
2. Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad, si desea hacerlo parcialmente, solicite la aprobación por escrito de la gerencia de Concalidad.
3. Este informe es válido únicamente en original.
4. Concalidad no se responsabiliza por el uso que se da a este informe.

Anexo 2. Ficha técnica de lombricompost con materia prima de pulpa de café, en el año 2005.

FICHA TÉCNICA DE LOMBRICOMPOST DE PULPA DE CAFÉ			
Institución:	Universidad de San Carlos	Materia prima:	Pulpa de café
Ubicación:	Amatitlán, Guatemala	Producto final:	Lombricompost
Año:	2005	Análisis solicitado:	Fisicoquímico
Parámetros		Lombricompost	
pH		6.75	
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) (Meq./100g)		52.5	
Conductividad eléctrica (dS/m)		5.4	
Humedad (%)		30 – 60	
Materia orgánica (%)		12 – 20	
Densidad aparente (gr/cc)		1.2 – 1.4	
Nitrógeno total (%)		2.5	
Fósforo total (%)		1.075	
Potasio total (Meq./100g)		6.28	
Hierro (ppm)		146.64	
Zinc (ppm)		39.68	
Manganeso (ppm)		74.96	
Boro (%)		1.28	
Cobre (ppm)		5.4	

Anexo 3. Ficha técnica de lombricompost con materia prima de estiércol de bovino sin compostar, en el año 2010.

FICHA TÉCNICA DE LOMBRICOMPOST DE ESTIERCOL			
Institución:	Universidad Popular del Cesar	Materia prima:	Estiercol
Ubicación:	Municipio de Codazzi, Cesar, Colombia	Producto final:	Lombricompost
Año:	2010	Análisis solicitado:	Fisicoquímico
Parámetros		Lombricompost	
pH		6.92	
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) (Meq./100g)		52.3	
Conductividad eléctrica (dS/m)		12.8	
Humedad (%)		51.7	
Densidad aparente (gr/cc)		0.79	
Nitrógeno total (%)		2.11	
Fósforo total (%)		1.81	
Potasio total (%)		4.63	
Calcio (%)		2.09	
Hierro (%)		1	
Zinc (ppm)		31	
Magnesio (%)		1.54	
Manganeso (ppm)		428	
Boro (%)		37	
Cobre (ppm)		43	

Anexo 4. Ficha técnica de lombricompost con materia prima de residuos orgánicos en relleno sanitario, en el año 2009.

FICHA TÉCNICA DE LOMBRICOMPOST DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE RELLENO SANITARIO			
Institución:	Universidad Cooperativa de Colombia	Materia prima:	Residuos orgánicos
Ubicación:	Pasto, Colombia	Producto final:	Lombricompost
Año:	2009	Análisis solicitado:	Fisicoquímico
Parámetros		Lombricompost	
pH		7	
Humedad (%)		30 – 60	
Nitrógeno total (%)		2.6	
Fósforo total (%)		5	
Potasio total (%)		1 – 2.5	
Calcio (%)		2 – 8	
Hierro (%)		< 1	
Zinc (ppm)		< 450	
Magnesio (%)		1 – 2.5	
Manganeso (ppm)		898	
Cobre (ppm)		< 30	

Anexo 5. Entrevista a Director de Mantenimiento, en el año 2017.

Puesto del entrevistado:	Director del departamento de Mantenimiento
Nombre del entrevistado:	Pablo Bernabe Escobar García
Fecha de entrevista:	8 de febrero del 2017
Entrevista respecto al funcionamiento de la PTAR, URL	
<ol style="list-style-type: none">1. ¿Qué periodo de secado se le da a los lodos? 45 días2. ¿Cuánto lodo extraen y cuantas veces al año? Aproximadamente cada 45 días, no cuantificamos cantidad de lodo3. ¿Cuál es el área que abarca el patio de secado y cuál es su profundidad? 331.2 m2, profundidad del tanque 0.50m.4. ¿Cuál es el tiempo de retención del Sedimentador primario y secundario de la planta de tratamiento? 1 día5. ¿Qué tipo de digestor se presenta en la PTAR, URL? Tipo anaerobio6. ¿En qué periodo de tiempo realizan la extracción de los lodos? No hemos cuantificado el tiempo para el retiro.7. ¿Cuál es el tratamiento que le dan a los lodos? No se le realiza ningún tratamiento, solo secado.8. ¿Qué porcentaje de los lodos producidos se utiliza para el invernadero de jardinería en la URL? Todo va para el invernadero de jardinería, pero actualmente no se utiliza.9. Si hay algún sobrante de lodos, ¿qué se hace con el resto de lodos que no se utiliza? Se almacena en PTAR o en jardinería.10. ¿Qué edificios abastecen a la planta de tratamiento? L, M, J, G, H, I, A, B, C y D11. ¿Para qué caudal está diseñada la planta de tratamiento? Caudal máximo instantáneo 24.03 litros por segundo, caudal promedio diario 5.66 litros por segundo.	

Anexo 6. Datos tabulados del porcentaje de sólidos y humedad presentes en los lodos tratados del digestor anaerobio obtenidos en el año 2017.

Día de Muestreo	Lote	Peso	Tara	Peso total húmedo	Peso total seco	Peso neto del líquido	Peso neto del lodo	% SOLIDOS	% HUMEDAD
23/02/2017	A	90.00 g	121.85 g	211.85 g	124.95 g	86.90 g	3.10 g	3.44%	96.56%
31/03/2017	B	90.00 g	121.86 g	211.86 g	125.52 g	86.34 g	3.66 g	4.07%	95.93%
03/04/2017	C	90.00 g	121.88 g	211.88 g	124.73 g	87.15 g	2.85 g	3.17%	96.83%
05/05/2017	D	90.00 g	121.92 g	211.92 g	125.07 g	86.85 g	3.15 g	3.50%	96.50%
18/05/2017	E	90.00 g	121.90 g	211.90 g	126.48 g	85.42 g	4.58 g	5.09%	94.91%

Anexo 7. Datos tabulados del potencial de hidrógeno (pH) presente en los lodos tratados del digestor anaerobio obtenidos en el año 2017.

Muestra	pH	Temperatura
A	5.75	21 °C
B	5.54	21 °C
C	5.69	21 °C
D	5.61	21 °C
E	5.34	21 °C
Promedio	5.59	21 °C

Anexo 8. Datos tabulados de concentración de nitrógeno total y fósforo total presentes en los lodos tratados del digestor anaerobio obtenidos en el año 2017.

Muestreo	Número de muestras	Fecha de lectura	Nitrógeno total	PO₄⁻³	Fósforo total
A	1	24/05/2017	251 mg/kg	406 mg/kg	483 mg/kg
	2	24/05/2017	263 mg/kg	385 mg/kg	458 mg/kg
	3	24/05/2017	229 mg/kg	400 mg/kg	476 mg/kg
	4	24/05/2017	257 mg/kg	443 mg/kg	527 mg/kg
	5	24/05/2017	2570 mg/kg	482 mg/kg	574 mg/kg
B	1	30/05/2017	245 mg/kg	475 mg/kg	565 mg/kg
	2	30/05/2017	251 mg/kg	478 mg/kg	569 mg/kg
	3	30/05/2017	239 mg/kg	473 mg/kg	563 mg/kg
	4	30/05/2017	1910 mg/kg	518 mg/kg	616 mg/kg
	5	30/05/2017	239 mg/kg	407 mg/kg	498 mg/kg
C	1	11/08/2017	231 mg/kg	345 mg/kg	411 mg/kg
	2	11/08/2017	221 mg/kg	312 mg/kg	371 mg/kg
	3	11/08/2017	241 mg/kg	337 mg/kg	401 mg/kg
	4	11/08/2017	223 mg/kg	324 mg/kg	386 mg/kg
	5	11/08/2017	261 mg/kg	303 mg/kg	361 mg/kg
D	1	16/08/2017	232 mg/kg	332 mg/kg	395 mg/kg
	2	16/08/2017	237 mg/kg	340 mg/kg	405 mg/kg
	3	16/08/2017	232 mg/kg	357 mg/kg	425 mg/kg
	4	16/08/2017	227 mg/kg	330 mg/kg	393 mg/kg
	5	16/08/2017	229 mg/kg	359 mg/kg	427 mg/kg
E	1	23/08/2017	213 mg/kg	326 mg/kg	388 mg/kg
	2	23/08/2017	210 mg/kg	333 mg/kg	396 mg/kg
	3	23/08/2017	222 mg/kg	336 mg/kg	400 mg/kg
	4	23/08/2017	221 mg/kg	321 mg/kg	382 mg/kg
	5	23/08/2017	208 mg/kg	329 mg/kg	393 mg/kg

Anexo 9. Datos tabulados de las unidades formadoras de colonias de coliformes fecales presentes en los lodos tratados del patio de secado en el año 2017.

Muestreo	Dilución	Fecha de lectura	ESPERADO	REAL
			UFC de coliformes fecales	UFC de coliformes fecales
A	1:10	21-marzo	<2000	<2000
	1:100	21-marzo	<2000	<2000
	1:1000	21-marzo	<2000	12000
B	1:10	26-abril	<2000	<2000
	1:100	26-abril	<2000	<2000
	1:1000	26-abril	<2000	0
C	1:10	3-mayo	<2000	<2000
	1:100	3-mayo	<2000	<2000
	1:1000	3-mayo	<2000	2000
D	1:10	16-junio	<2000	<2000
	1:100	16-junio	<2000	3300
	1:1000	16-junio	<2000	0
E	1:10	23-junio	<2000	<2000
	1:100	23-junio	<2000	500
	1:1000	23-junio	<2000	4000

Anexo 10. Días de secado de los lodos tratados del patio de secado obtenidos en el año 2017.

Muestreo	Periodo de secado	Días en el patio de secado	Días de secado con lluvia	Días de secado sin lluvia
A	9-enero a 23-febrero	45	2	43
B	14-febrero a 31-marzo	45	2	43
C	16-febrero a 3-abril	48	4	44
D	10-abril a 5-mayo	26	6	20
E	13-marzo a 23-mayo	67	14	53

Anexo 11. Datos tabulados de metales pesados (arsénico, cadmio y plomo) presentes en los lodos tratados del digestor anaerobio obtenidos en el año 2017.

Muestreo	No. de muestras	Límite máximo permisible para aplicación en suelos (mg/kg de lodo)			Resultados de análisis de lodos residuales (mg/kg de lodo)		
		Arsénico As	Cadmio Cd	Plomo Pb	Arsénico	Cadmio	Plomo
A	1	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	2	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	3	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	4	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	5	50	50	500	0.01	0.05	0.05
B	1	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	2	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	3	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	4	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	5	50	50	500	0.01	0.05	0.05
C	1	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	2	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	3	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	4	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	5	50	50	500	0.01	0.05	0.05
D	1	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	2	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	3	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	4	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	5	50	50	500	0.01	0.05	0.05
E	1	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	2	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	3	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	4	50	50	500	0.01	0.05	0.05
	5	50	50	500	0.01	0.05	0.05

Anexo 12. Muestreo de lodos tratados en la salida del digester anaerobio de la PTAR obtenidos en el año 2017.



Anexo 13. Cinco muestras de lodos tratados en la salida del digester anaerobio de la PTAR obtenidos en el año 2017.



Anexo 14. Lodos tratados en estado líquido del digestor anaerobio de la PTAR obtenidos en el año 2017.



Anexo 15. Secado de lodos tratados a una temperatura de 110°C por 48 horas.



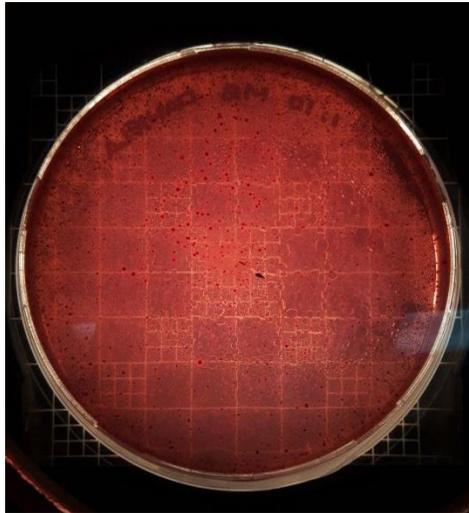
Anexo 16. Lodos molidos para poder realizar análisis de nutrientes y metales pesados.



Anexo 17. Muestras de lodo secado y molido para análisis.



Anexo 18. Cajas Petri con medio de cultivo MacConkey para conteo de UFC/kg de lodo residual.



Anexo 19. Aspecto físico del producto final del tratamiento de los lodos residuales en la PTAR en el año 2017.



Anexo 20. Análisis fotométrico de nitrógeno y fosfato.



Anexo 21. Análisis de pH en los lodos residuales de la Universidad Rafael Landívar en el año 2017.

