

Evaluación De La Eficiencia De La Lombriz Roja Californiana E. foetida Para Estabilización De Lodos Residuales De La PTAR Salitre

Angie Mabel Albornoz Pineda
Elmer Mauricio Ortega Valencia



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

1. OBJETIVOS

Objetivo General

- ▶ Evaluar la eficiencia de la especie *Eisenia foetida* durante el proceso de vermiestabilización a escala de laboratorio de lodos residuales provenientes de la PTAR Salitre.
 - **Objetivos específicos**
- ▶ Desarrollar una metodología de bioensayo para determinar la eficiencia de la lombriz *Eisenia foetida* para la estabilización de lodos generados en plantas de agua residual.
- ▶ Realizar monitoreo y seguimiento de las condiciones de pH, temperatura y humedad en el proceso de estabilización del lodo residual.
- ▶ Evaluar las condiciones finales del humus obtenido.

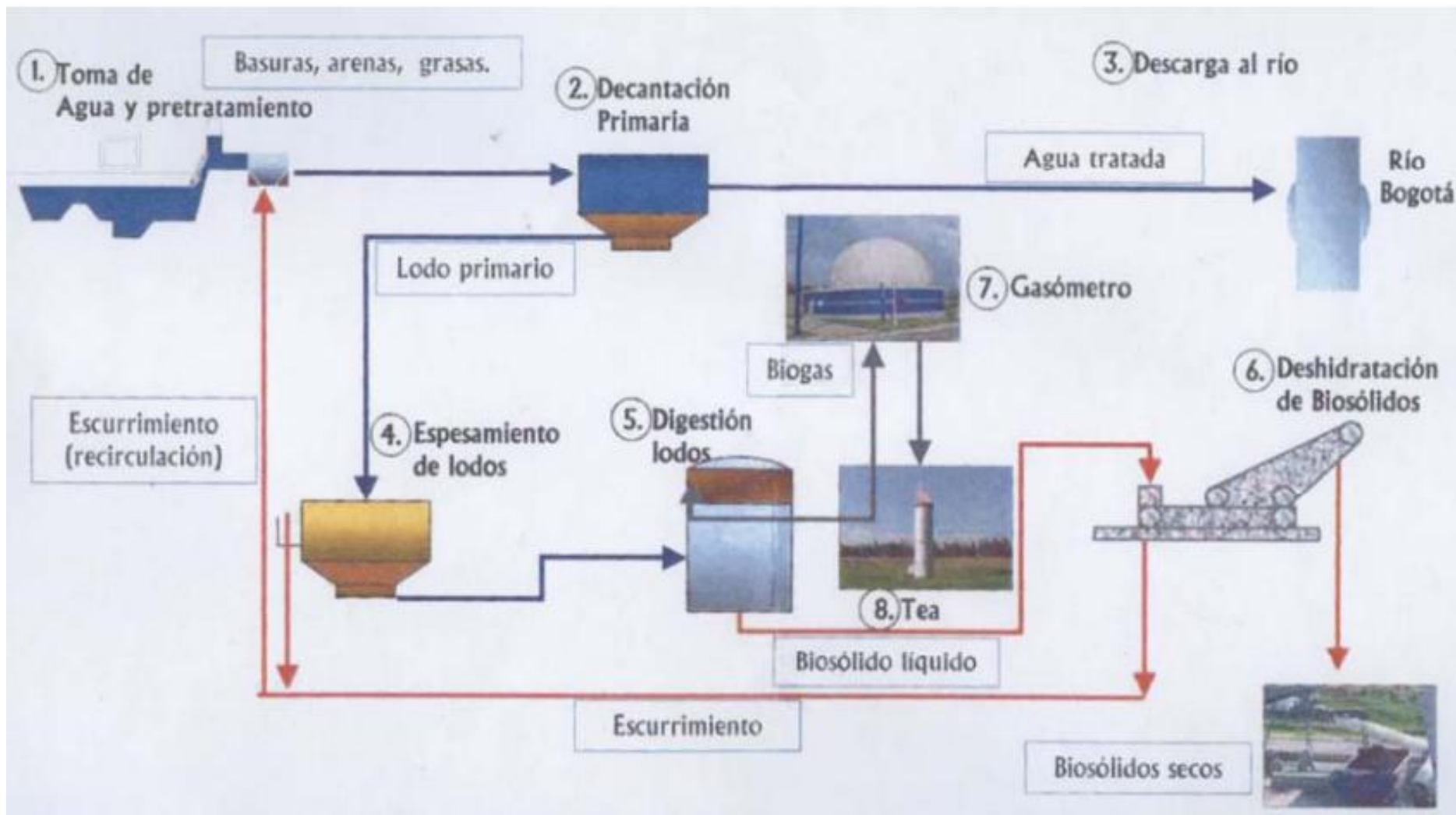
2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



Crecimiento población

Mayor consumo de agua

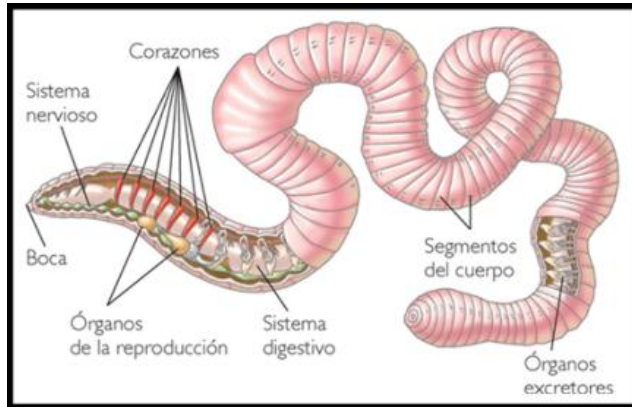
Mayor generación de lodos



La PTAR El Salitre genera 165 ton/día de biosólidos

Disposición en el lote Corzo I – Suroccidente de Bogotá

VERMIESTABILIZACIÓN



EFFECTO SOBRE LA LOMBRIZ Eisenia foetida

PARÁMETRO	RANGO	
pH >	6,8	7,5
Humedad %	70	80
T° C	14	27

BENEFICIOS

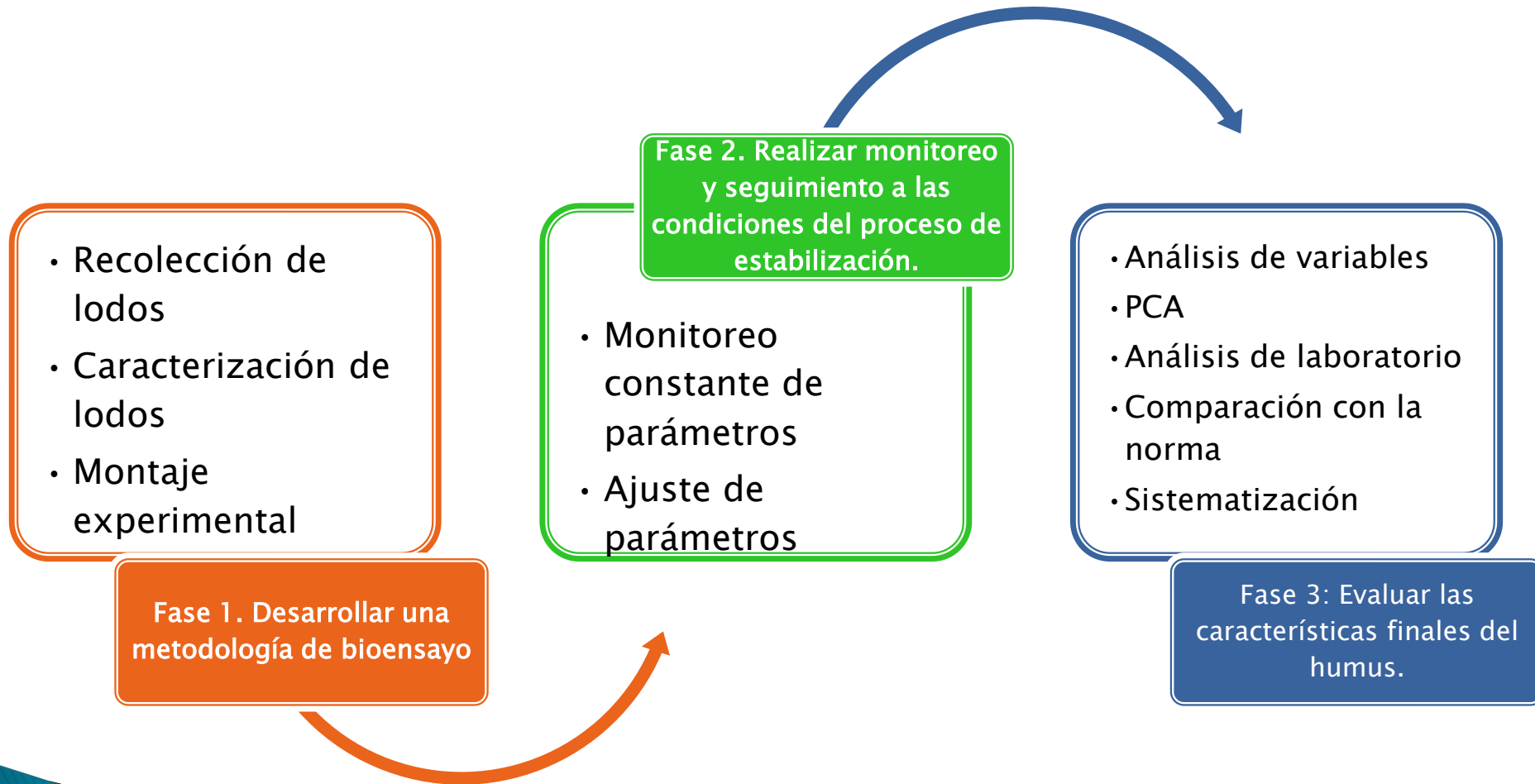


Alternativa rápida
Mejor calidad
Menores niveles de contaminación
Mejores características microbiológicas

ANTECEDENTES

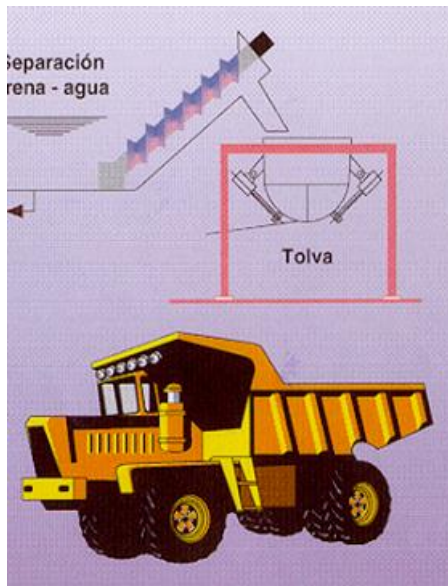
AÑO	AUTOR	RESULTADOS
1999	DAS, THOMPSON, NDEGWA	El mejor vermicompost se obtuvo en una densidad de población de 1.60 kg de lombrices/m ² y una velocidad de alimentación de 0,75 kg de alimento/kg de lombrices/día
2001	AVILES	A partir de un sistema de vermiestabilización de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de industrias Guapán se determinó una reducción de coliformes fecales y huevos de helminto. La calidad microbiológica del humus fue de un biosólido de tipo A según la US-EPA CFR 40, parte 503, para uso no restringido en aplicaciones agrícolas.
2005	VERA, SANCHEZ Y PEÑA	El efecto de la actividad de la lombriz (<i>Eisenia</i> spp.) sobre los lodos residuales, se evaluó mediante cuatro tratamientos y tres repeticiones cada uno, donde los resultados fisicoquímicos del lodo crudo y de los diferentes tratamientos demostraron que tienen un alto potencial como fertilizantes orgánicos. Los tratamientos donde se inóculo materia vegetal fresca y composta resultaron ser más eficientes en la remoción de huevos de helmintos y coliformes fecales, sin embargo no fue así para la eliminación de <i>Salmonella</i> .
2007	GUPTA Y GARG	Obtuvieron que las aguas residuales primarias podrían convertirse en estiércol de buena calidad mediante vermicompost en una relación apropiada (30-40%) con estiércol de vaca.
2008	SURINDRA Y SUSHMA	Mediante la estabilización de lodos activados (WAS) utilizando vermicompost madurado como material de carga y <i>Eisenia foetida</i> . Se determinó que el material compostado provocó una reducción del pH, de los sólidos volátiles (VS), el carbono total (TC), la relación C / N y los patógenos. El sistema integrado de compostaje-lombricompostaje se estabiliza potencialmente y convierte el WAS peligroso en estiércol orgánico de calidad para aplicaciones agronómicas sin cualquier efecto adverso.
2008	MONTOYA Y BUITRAGO	Concluyeron que el vermicompostaje es una de las mejores alternativas y herramientas para el tratamiento de biosólidos a partir de una serie de fases que permite el aprovechamiento de esto.
2012	TREJOS Y AGUDELO	Sus análisis demostrarán que los lodos residuales tienen las condiciones necesarias y adecuadas para servir de sustrato para alimentar un cultivo de lombrices. Éstas, a su vez, participan en la transformación de los lodos en abono orgánico de excelente calidad que puede ser comercializado en diferentes empresas del sector agrícola.

3. METODOLOGIA



- **Fase 1.** Desarrollar una metodología de bioensayo para determinar la eficiencia de la lombriz *Eisenia foetida* para la estabilización de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre.

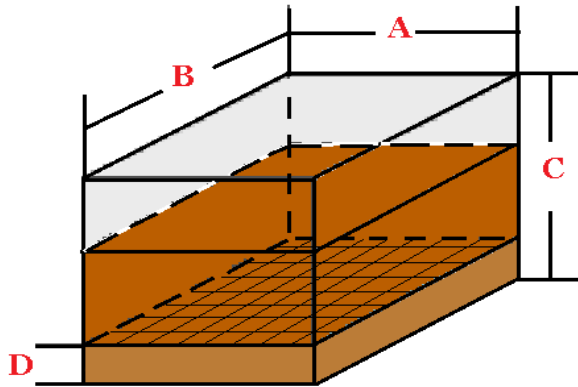
Recolección de lodos



Caracterización



MONTAJE EXPERIMENTAL



DIMENSIONES DE LOS RECIPIENTES

A	Ancho (cm)	29
B	Largo (cm)	40
C	Alto (cm)	13
D	Altura de rejilla (cm)	3
	Volumen (ml)	100

MONTAJE	COMPOSICIÓN		+ 500 g	%	MANOS		PESO (gr)
1	lodo seco		lombriz + tierra	50-50	5	5	1000
2	lodo seco	estiércol	lombriz + tierra	50-50	7	7	1900
3	lodo seco	estiércol	lombriz + tierra	60-40	6	4	1500
4	lodo seco	estiércol	lombriz + tierra	70-30	14	6	3500
5	lodo seco	estiércol	lombriz + tierra	80-20	16	4	3500
6	lodo seco	estiércol	lombriz + tierra	50-50	10	10	3500



- **Fase 2. Realizar monitoreo y seguimiento a las condiciones del proceso de estabilización del lodo residual.**

Monitoreo constante de parámetros



Tabla 5-5. Rangos de las características organolépticas del biosólido y de la lombriz durante el proceso de estabilización

Rango	Apariciencia del lodo				Apariencia de lombriz			
	Color		Olor	Textura		Color	Tamaño (cm)	Cantidad
3	Negro		Fuerte olor a azufre y amonio			Roja 	7	10 a 15
2	Intermedio		Medio	arcilloso		Rosada 	4	5 a 10
1	Café		Sin olor	granulado		Gris 	2	1 a 5

► Fase 3: Evaluar las condiciones finales del humus

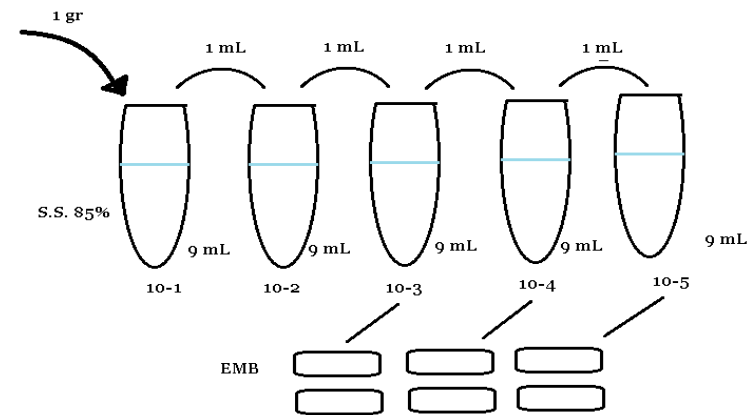
1. Comportamiento de las variables durante el proceso

2. Análisis de componentes principales (PCA)

3. SMART 3 SOIL



4. Siembra en superficie
(Coliformes fecales)



- Comparación con la norma
- Sistematización

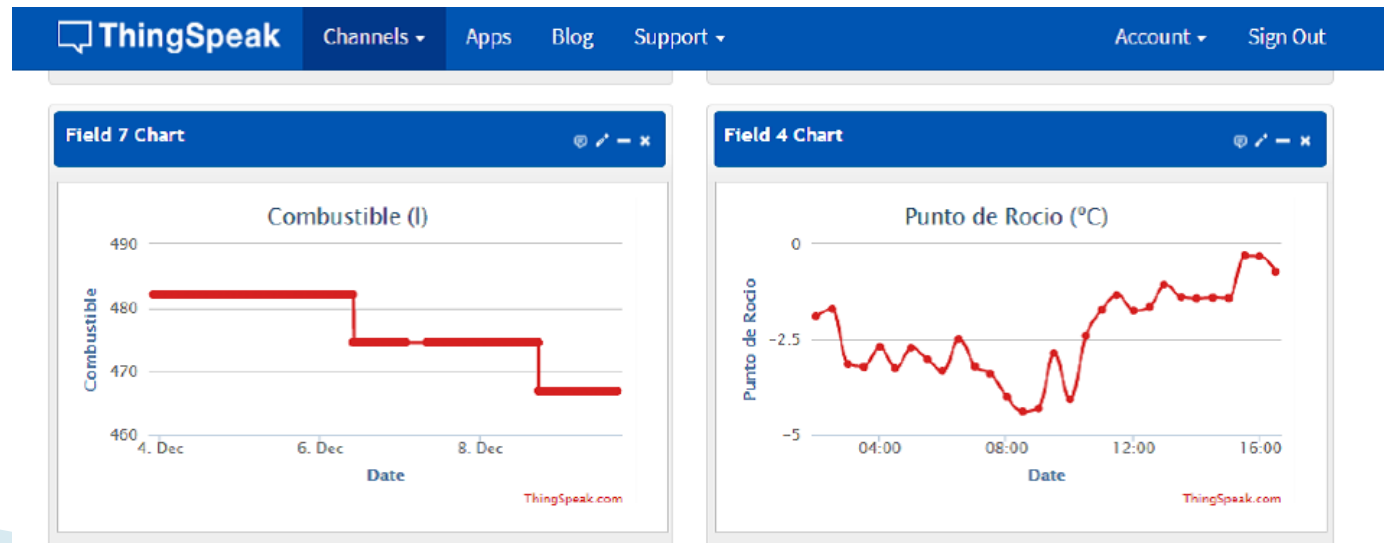
Arduino



DHT11

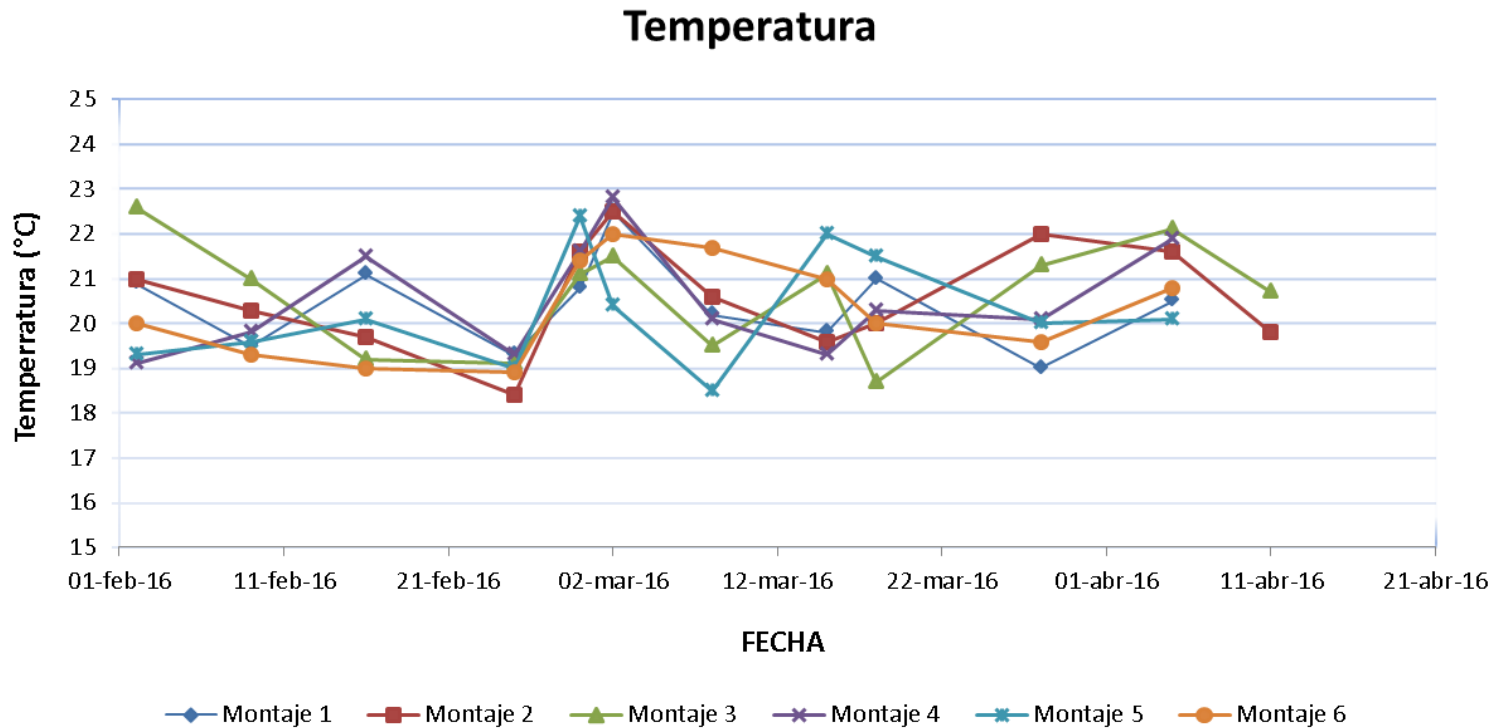


Plataforma
virtual

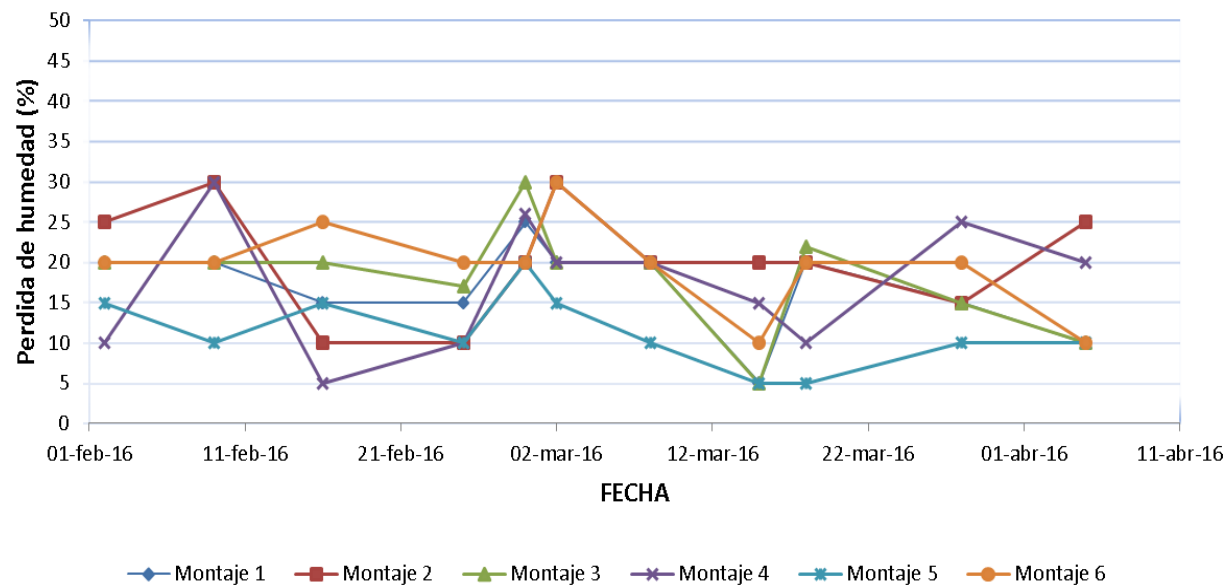


4. RESULTADOS

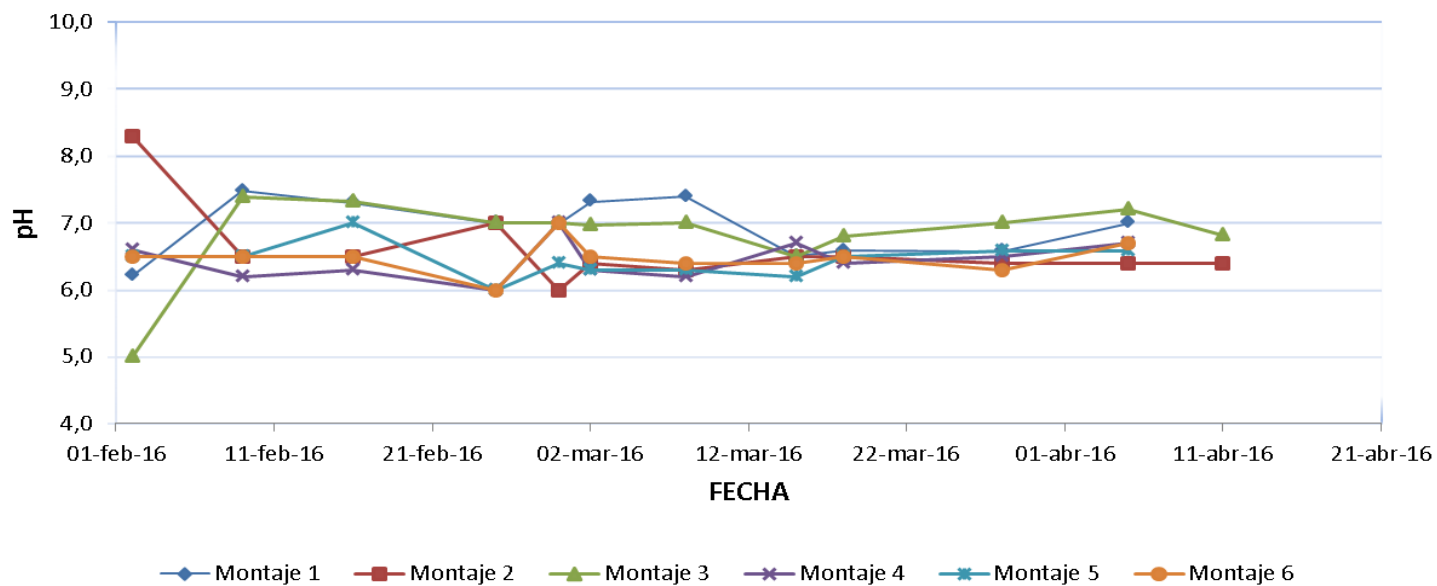
- Análisis variables de temperatura, pH y Humedad



Perdida de Humedad

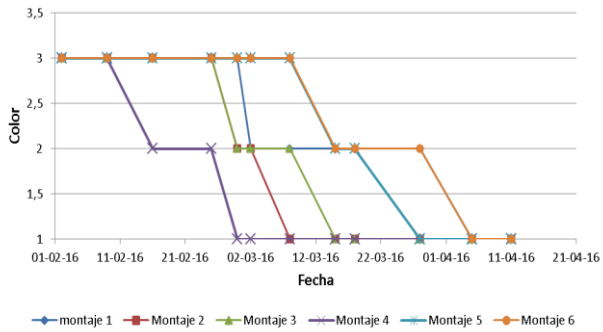


pH

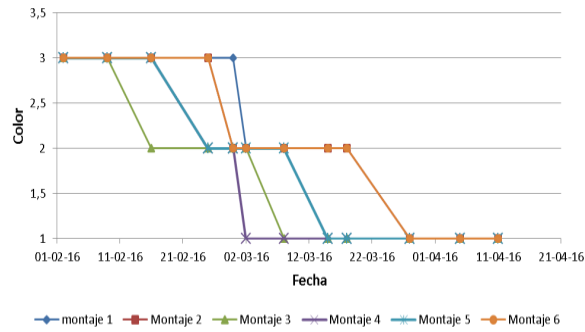


Análisis de variables cualitativas

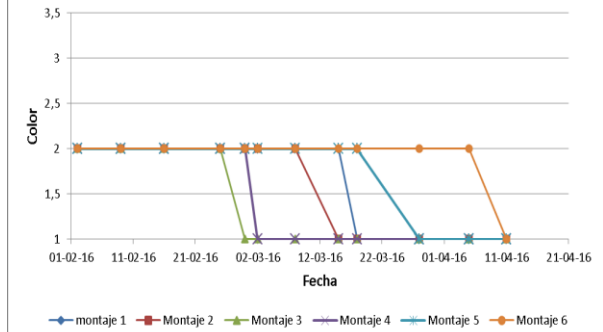
Color - Lodo



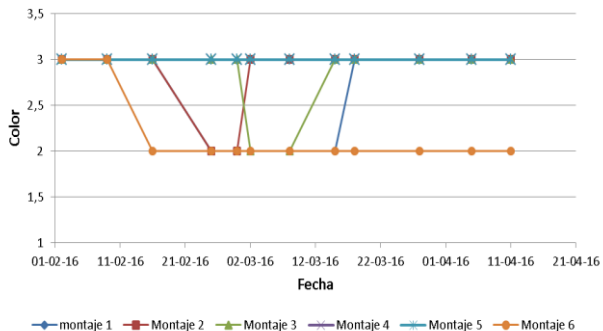
Olor - Lodo



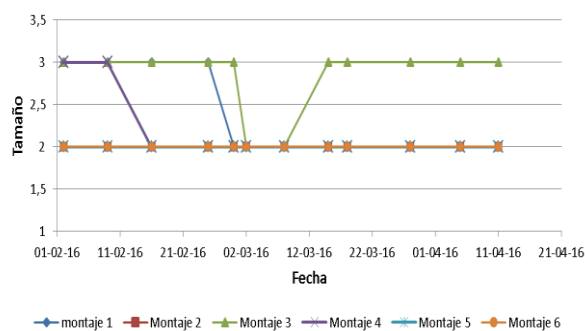
Textura - Lodo



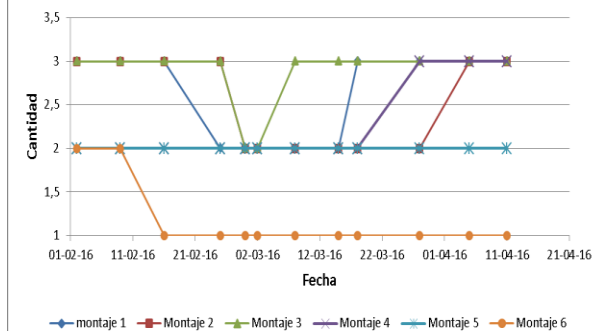
Color - Lombriz



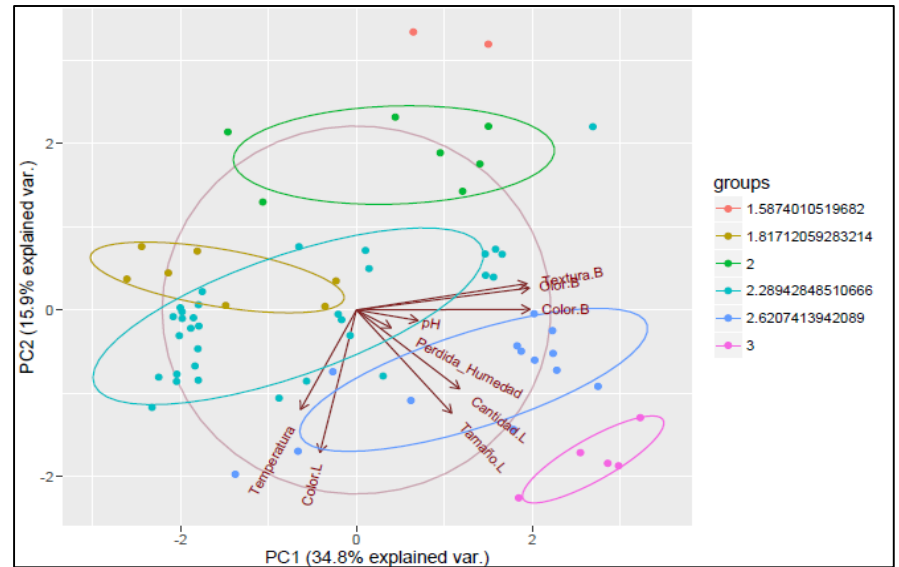
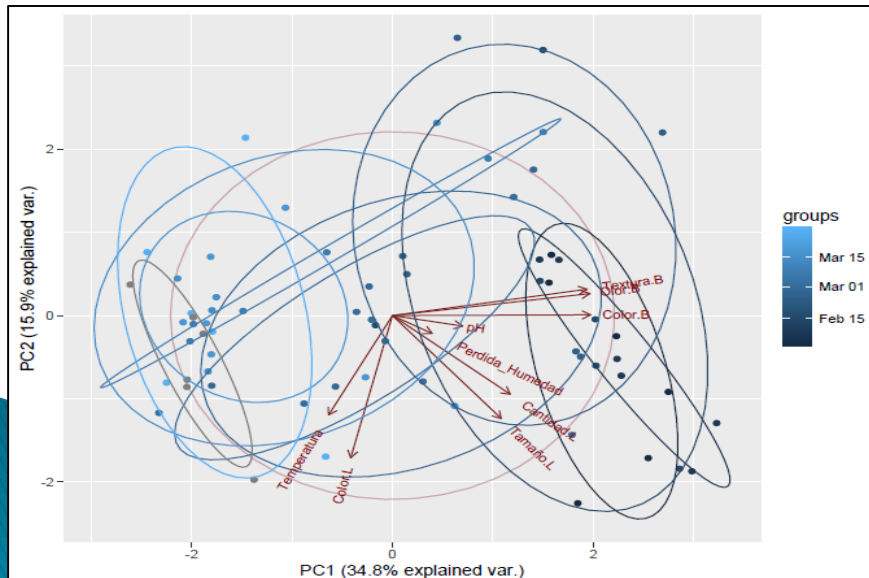
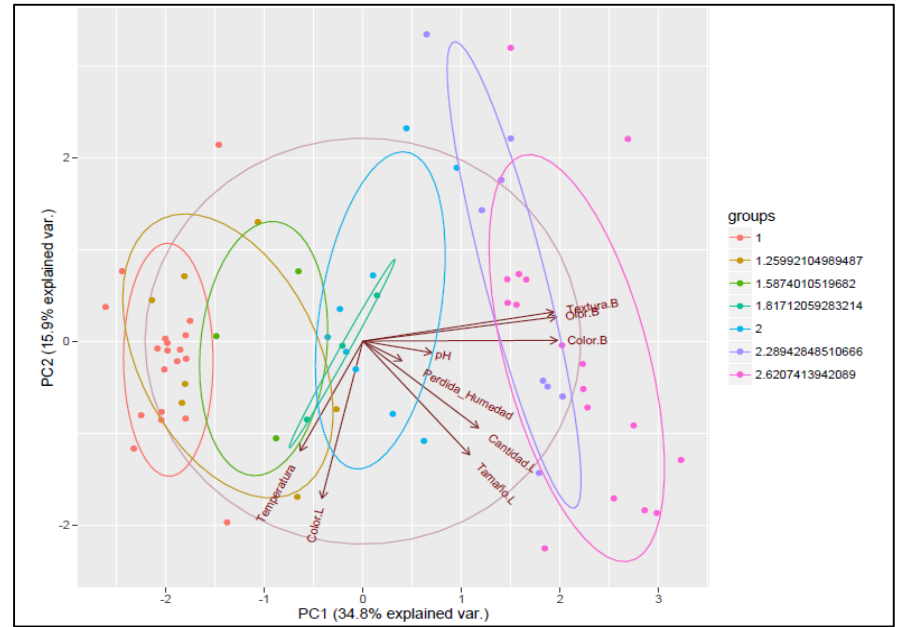
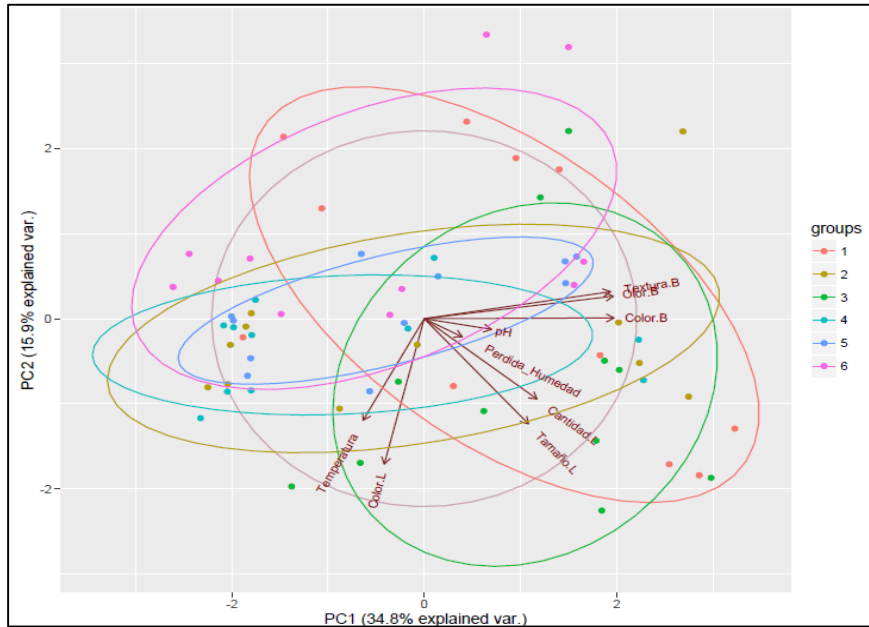
Tamaño - Lombriz

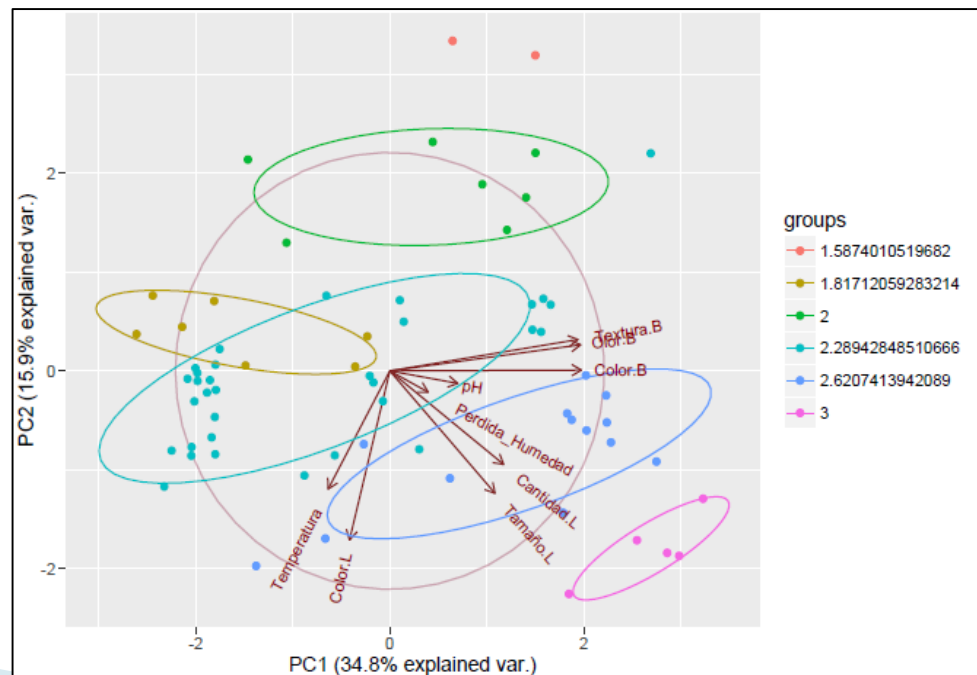
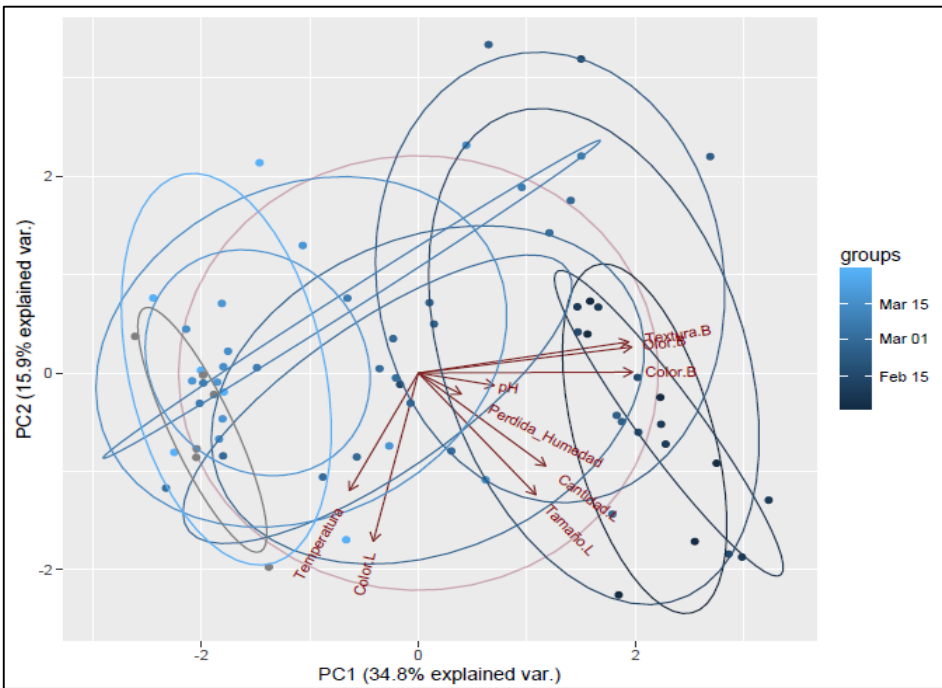


Cantidad - Lombriz



Análisis de componentes principales





Análisis de laboratorio

Tabla 6-1. Resultado final a cada tratamiento y comparación con el biosólido inicial

PARAMETRO	Nitrógeno amoniaco(mg/ Kg seco)	Nitritos (mg/Kg seco)	fosfato (mg/Kg seco)	Sulfatos (mg/Kg seco)	pH	Coliformes fecales (UFC/g Base S.)	Bacterias (UFC/g Base S.)
LODO CRUDO	4457,7	2,6			7,7	6,88E+05	
MONTAJE 1	4,40	0,00	9,68	26	6	0,00E+00	2,48E+07
MONTAJE 2	12,96	0,00	6,76	234	7	0,00E+00	4,23E+07
MONTAJE 3	1,00	0,00	0,52	424	7	0,00E+00	2,48E+07
MONTAJE 4	14,16	0,04	1,20	446	7	0,00E+00	3,15E+07
MONTAJE 5	1,86	0,00	6,26	184	6	0,00E+00	1,53E+07
MONTAJE 6	0,00	0,00	4,06	236	6	0,00E+00	5,45E+07

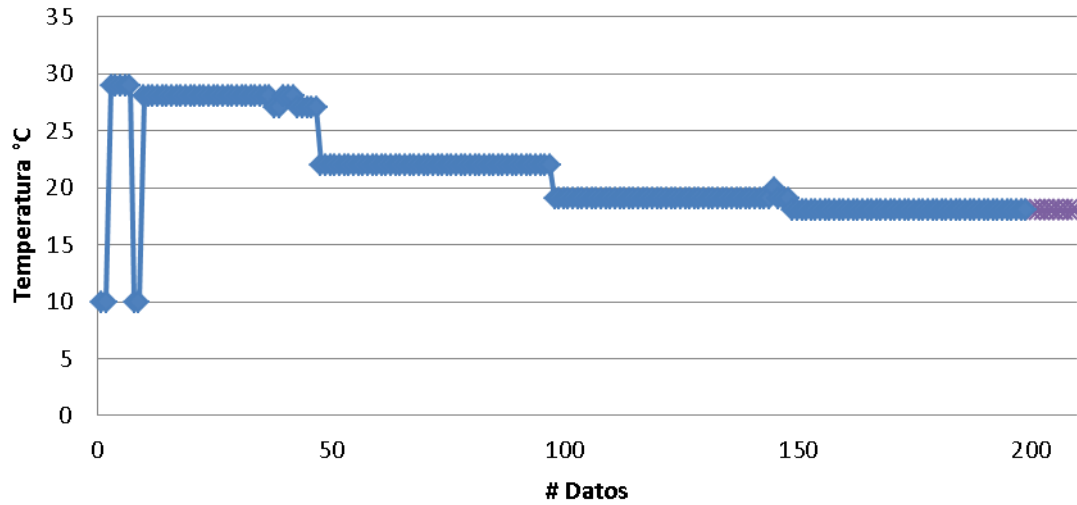
Comparación con la norma

Tabla 6-2. Comparación de los análisis de laboratorio con la norma Colombiana

NORMA			
NTC 5167		DECRETO 1287 DE 2014	Y USEPA 1993
REQUISITO	CUMPLE	REQUISITO	CUMPLE
Enterobacterias <1000 UFC/g	SI	Clase A <1000	SI
		Clase B < 2000000	SI

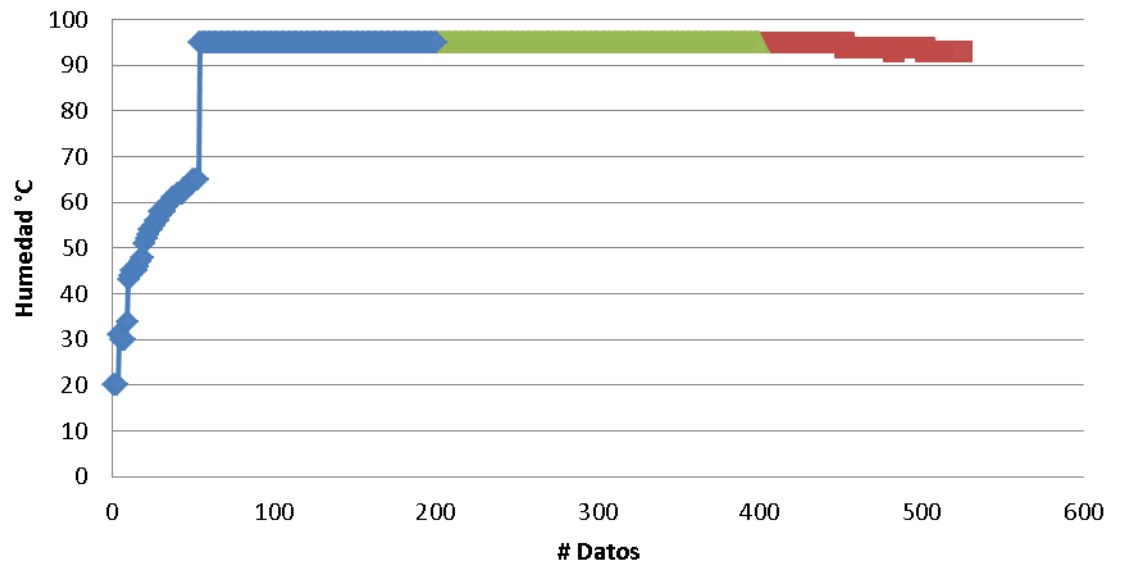
Fuente: Autores

Temperatura



Sistematización

Humedad



INVERSIÓN INICIAL PTAR	
Lote	\$ 1.000.000.000
Estructura	\$ 127.025.600
Lombriz	\$ 72.000.000
TOTAL	\$ 1.199.025.600

MANTENIMIENTO	VALOR UNIT	CANTIDAD	TOTAL
Transporte	\$ 300.000	30	\$ 9.000.000
Personal	\$ 800.000	10	\$ 8.000.000
Transp. Distribución Humus	\$ 300.000	17	\$ 5.100.000
TOTAL			\$ 22.100.000
GANANCIA			\$ 300.000



Empresa Gesmatin
S.A.S encargada de
llevarse el lodo cobra
\$1000 por kg

COSTOS ACTUALES TRANSMASIVO S.A.				
2016	LODOS KG	EMBALAJE	ENTREGA DISP.	TOTAL
ENERO	863	\$ 41.918	\$ 863.000	\$ 904.918
FEBRERO	1584	\$ 43.520	\$ 1.584.000	\$ 1.627.520
MARZO	701	\$ 41.558	\$ 701.000	\$ 742.558
ABRIL	648	\$ 41.440	\$ 648.000	\$ 689.440
MAYO	831	\$ 41.847	\$ 831.000	\$ 872.847
JUNIO	274	\$ 40.609	\$ 274.000	\$ 314.609
JULIO	0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
AGOSTO	1925	\$ 44.278	\$ 1.925.000	\$ 1.969.278
SEPTIEMBRE	236	\$ 40.524	\$ 236.000	\$ 276.524
OCTUBRE	1055	\$ 42.344	\$ 1.055.000	\$ 1.097.344
NOVIEMBRE	2519	\$ 45.598	\$ 2.519.000	\$ 2.564.598
DICIEMBRE	735	\$ 41.633	\$ 735.000	\$ 776.633
TOTAL	11371	\$ 465.269	\$ 11.371.000	\$ 11.836.269
*Embalaje	pago al colaborador e implementos (lonas y pala) + EPP			
*Entrega a la empresa que realiza la disposición	cada kg a \$1.000			

INVERSIÓN INICIAL				
ITEM	VALOR UNIT	CANTIDAD	UND	TOTAL
Ladrillos	\$ 1.500	168	unidad	\$ 252.000
Cemento x 50 kg	\$ 23.000	10	bulto	\$ 230.000
Vigas x 6 m	\$ 150.000	4	unidad	\$ 600.000
Tanque almacenamiento de agua	\$ 170.000	1	unidad	\$ 170.000
Tubo PVC 1/2 PULGADA	\$ 5.000	25	unidad	\$ 125.000
T PVC	\$ 2.000	2	unidad	\$ 4.000
Codos PVC	\$ 7.000	4	unidad	\$ 28.000
Llave de paso	\$ 20.000	1	unidad	\$ 20.000
Tejas eternit	\$ 43.400	4	unidad	\$ 173.600
Sensores DHT11	\$ 45.000	3	Unidad	\$ 135.000
Lombriz Eisenia Foetida	\$ 4.000	540	Kg	\$ 2.160.000
Mano de obra construcción				\$ 200.000
TOTAL				\$ 4.097.600
Cada cama 180 kg de lombriz				

GASTO DE VERMICOMPOSTAJE						
MES	LODOS KG	CARACTERIZACIÓN F.	SEGUIMIENTO	EMBALAJE	DISTRIBUCIÓN	TOTAL
ENERO	863	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 60.000	\$ 100.000	\$ 703.000
FEBRERO	1584	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 90.000	\$ 100.000	\$ 733.000
MARZO	701	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 60.000	\$ 100.000	\$ 703.000
ABRIL	648	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 60.000	\$ 100.000	\$ 703.000
MAYO	831	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 60.000	\$ 100.000	\$ 703.000
JUNIO	274	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 30.000	\$ 100.000	\$ 673.000
JULIO	0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
AGOSTO	1925	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 120.000	\$ 100.000	\$ 763.000
SEPTIEMBRE	236	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 30.000	\$ 100.000	\$ 673.000
OCTUBRE	1055	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 90.000	\$ 100.000	\$ 733.000
NOVIEMBRE	2519	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 150.000	\$ 100.000	\$ 793.000
DICIEMBRE	735	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 60.000	\$ 100.000	\$ 703.000
TOTAL	11371	\$ 5.093.000	\$ 880.000	\$ 810.000	\$ 1.100.000	\$ 7.883.000
Caracterización final		parámetro a 40.000				
Mano de obra seguimiento sueldo del trabajador al mes						
Embalaje		días de trabajo de empaque a 3000/día				
Distribución		transporte y venta del humus al mes				

AHORRO				
2016	TOTAL ACTUAL	LOMBRICULTURA	INGRESOS	AHORRO
ENERO	\$ 904.918	\$ 703.000	\$ 258.900	\$ 460.818
FEBRERO	\$ 1.627.520	\$ 733.000	\$ 475.200	\$ 1.369.720
MARZO	\$ 742.558	\$ 703.000	\$ 210.300	\$ 249.858
ABRIL	\$ 689.440	\$ 703.000	\$ 194.400	\$ 180.840
MAYO	\$ 872.847	\$ 703.000	\$ 249.300	\$ 419.147
JUNIO	\$ 314.609	\$ 673.000	\$ 82.200	-\$ 276.191
JULIO	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
AGOSTO	\$ 1.969.278	\$ 763.000	\$ 577.500	\$ 1.783.778
SEPTIEMBRE	\$ 276.524	\$ 673.000	\$ 70.800	-\$ 325.676
OCTUBRE	\$ 1.097.344	\$ 733.000	\$ 316.500	\$ 680.844
NOVIEMBRE	\$ 2.564.598	\$ 793.000	\$ 755.700	\$ 2.527.298
DICIEMBRE	\$ 776.633	\$ 703.000	\$ 220.500	\$ 294.133
TOTAL	\$ 11.836.269	\$ 7.883.000	\$ 3.411.300	\$ 7.364.569
Ingresos	Venta del humus			

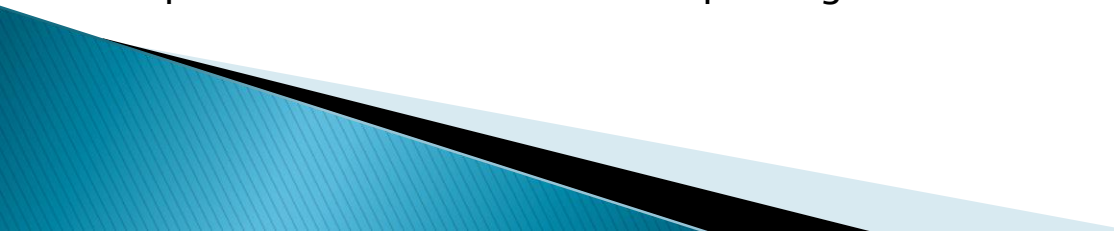
5. Conclusiones

- ▶ A nivel general, en todos los tratamientos el proceso demostró que la lombricultura resulta ser una técnica viable con aplicación sencilla y de resultados positivos en cuanto a la transformación de los biosólidos provenientes de la PTAR el Salitre de la ciudad de Bogotá.
- ▶ A partir de la comparación con la norma de los resultados obtenidos, el producto final después del proceso de vermiestabilización presento características favorables para su uso en el sector agrícola y se clasifica en la Clase A para coliformes fecales según el decreto 1287 de 2014 y la US-EPA CFR40 parte 503 y basados en los estudios anteriores podría afirmar que los huevos de helminto y salmonella se redujeron. En cuanto a la NTC 5167 se clasifica como abono orgánico mineral solido en cuanto al valor de enterobacterias, por lo que puede ser usado como abono o fertilizante en el suelo.

- ▶ Después de realizar el análisis, se concluye que los diferentes tratamientos propuestos para la lombricultura variando las tasas de sustrato (estiércol y lodo residual) no difieren en la estabilización reduciendo coliformes fecales y aunque las características cualitativas y cuantitativas recolectadas durante el proceso varían en tiempo mas no en resultados; se determina que sin importar la cantidad de sustrato la estabilización es efectiva para estos biosólidos. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que el tratamiento con la proporción 80-20% de biosólido y estiércol respectivamente es el mas efectivo puesto que significaría menor gasto en su aplicación.
- ▶ Con la prueba de siembra en superficie se pudo determinar que la lombricultura es un tratamiento eficiente en la estabilización de los lodos residuales reduciendo patógenos (coliformes fecales), permitiendo validar que esta técnica es viable en el tratamiento de estos residuos de la PTAR y que es una solución viable para la gran generación de estos subproductos.
- ▶ El humus obtenido es considerado seguro para la salud del hombre y no presenta riesgo de contaminación biológica en el ambiente debido a la reducción de patógenos que se logró; por lo tanto, existe un alto potencial para el aprovechamiento de este subproducto en el campo agrícola para la recuperación de suelos.
- ▶ Finalmente se puede analizar que el proyecto no es viable para la PTAR Salitre debido a la gran cantidad de biosólidos que genera, pero a partir de los resultados se podría aplicar a otros sectores productivos.

Recomendaciones

- ▶ Se recomienda para próximas investigaciones realizar repeticiones a cada tratamiento puesto que en este caso, no se realizó la variación en su composición por analizar el comportamiento a medida del cambio de sustratos, sino por asegurar la sobrevivencia de la lombriz basados en los experimentos anteriores en la PTAR. Adicional a las réplicas realizar un análisis estadístico más complejo que permita determinar si existe o no diferencia entre los diferentes tratamientos aplicados y la certeza del proceso aumente
- ▶ La temperatura y la humedad son variables que se comportan de manera independiente, y que son susceptibles a los cambios del medio por lo tanto es fundamental generar las condiciones necesarias para mantenerlas controladas y realizar la correcta supervisión durante el desarrollo del proceso de lombricultura. Por este motivo se recomienda agregar la sistematización al proceso ya sea con la propuesta del presente proyecto o con otra metodología que facilite la obtención de los datos.
- ▶ Se debe tener en cuenta que los niveles de patógenos presentes en el lodo residual son altos por lo tanto es necesario implementar medidas de seguridad tales, para que el personal que manipula el sólido residual no se comprometa fitosanitariamente.

- ▶ Se recomienda a la planta de tratamiento de aguas residuales el Salitre aplicar la lombricultura al biosólido generado resultante del proceso de tratamiento, siguiendo los lineamientos de control de variables que se realizaron en la prueba a nivel de laboratorio para asegurar que las lombrices sobrevivan y no tengan nuevos intentos fallidos.
 - ▶ Durante esta investigación no se pudo realizar análisis de metales pesados por su costo y porque el enfoque de este estudio era identificar si la estabilización con lombriz era una técnica viable para los lodos que genera la PTAR Salitre actualmente. Teniendo en cuenta que estos metales contienen riesgos tóxicos es recomendable que para un próximo análisis se tengan en cuenta para finalmente ser comparados con Decreto 1287 de 2014 que también establece límites de metales pesados en lodos residuales para que puedan ser aplicados a suelos con fines agrícolas.
 - ▶ Si otras empresas que generan este tipo de residuos se apropian de este proyecto y deciden aplicarlo a su proceso de tratamiento, se recomienda que involucre agricultores o personas de la zona para que hagan acompañamiento al proceso de vermiestabilización y donde ambas partes obtengas beneficios, de esta manera los resultados de esta actividad tendrían un impacto positivo en el componente social.
 - ▶ Se recomienda seguir con el estudio de factibilidad aplicado a otras empresas de la ciudad, para determinar si la técnica de vermiestabilización es efectiva y viable económicamente, debido a que en la PTAR El Salitre aunque el proceso de vermiestabilización funcione en cuanto a la mejora de las características de los biosólidos no es posible aplicar esta técnica por las excesivas cantidades que se generan.
- 

- [10] Kelly Reynolds, "Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica," Universidad Arizona, Arizona, 2002.
- [11] Google Earth. (2015, Junio) Ubicacion PTAR Salitre.
- [12] Acueducto, Agua, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, "Descripción de la Ptar Salitre y recopilación de los principales aspectos operativos," Bogotá,.
- [13] Acueducto, agua, alantarillado y aseo de Bogotá, Plegable técnico de la PTAR, http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Plegable_tecnico.pdf.
- [14] CAR. (2011) Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental Río Bogotá. [Online].
https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fwww.car.gov.co%2Frecursos_ser%2FProyectos%2520Especiales%2FRIO%2520BOGOTA%2FEvaluacion%2520Ambiental%2520Volumen%2520II.pdf&h=ZAQGkd-B6
- [15] Daniela Russi Pinzón, "PROCESO DE GERMINACIÓN CON BIOSÓLIDOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) TRATADOS CON VERMICOMPOSTAJE, CASO PAÍSES TRÓPICO DE CAPRICORNIO (SUDAMÉRICA Y OCEANÍA).," UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Bogotá, Tesis 2015.
- [16] Juan Gualberto Límon Macías, "LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO?," Guadalajara, Jalisco, 2013.
- [17] Carolina Guzmán and Claudia Campos, "INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL EN BIOSÓLIDOS APLICADOS EN AGRICULTURA," *Universitas Scientiarum*, vol. 9, no. 1, p. 9, Junio 2004.
- [18] Diana Marcela Fuquene yate. (2013) Conceptos básicos de lodos residuales UNAD. [Online].
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contenido_en_linea/contenido_didctico.html
- [19] Norma Oropeza García, "Lodos residuales: estabilización y manejo," Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México, 2006.

Bibliografía

- [1] Ana Margarita Vera, Enrique Sánchez Salinas, Laura Ortiz , and Justina Peña , "ESTABILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES MUNICIPALES POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE LOMBRICOMPOSTAJE," Cuernavaca, Morelos, México, Artículo 2005.
- [2] Gian Paolo Daguer, "GESTIÓN DE BIOSÓLIDOS EN COLOMBIA," Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre Fase I, Bogotá, Artículo 2005.
- [3] Giset Natalia Montoya Moreno and John Alexander Buitrago, "PRODUCCIÓN DE HUMUS A TRAVÉS DEL TRATAMIENTO DE BIOSÓLIDOS CON VERMICOMPOSTAJE, UNA MIRADA AL FUTURO," Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, artículo 2008.
- [4] Ministerio de Ambiente, "Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales," Bogotá, Guía 2002.
- [5] Programa de ONU. (2010) La calidad del agua y el saneamiento. [Online]. http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/swm_cities_zaragoza_2010/pdf/01_water_quality_and_sanitation_spa.pdf
- [6] LOMBRICULTURA PACHAMAMA S.A. (2004) LOMBRICULTURA PACHAMAMA S.A. [Online]. <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/humus/HUMUS%20DE%20LOMBRIZ%20Y%20SU%20APLICACION.pdf>
- [7] Pavel Chaveli Chavéz, Lisbet Font Vila, Bernardo J. Calero Martín, Marialina Valenciano Abreu, and Ignacio Corrales Garriga, "Evaluación de la calidad y estabilidad de abonos órgano-minerales," *CENTRO AGRÍCOLA*, vol. 36, no. 3, pp. 63-69, Septiembre 2009.
- [8] Juan Labrador Moreno, Antonio Guiberteau Cabanillas, Luis Lopez Benites, and Jose Luis Reyes Pablos, "LA MATERIA ORGANICA EN LOS SISTEMAS AGRICOLAS. MANEJO Y UTILIZACION, Hojas divulgadoras, No.3, Ministerio de la," Madrid, 1993.
- [9] Piao Wenhua , Kim Yejin, Kim Hyosoo, and Kim Minsoo, "Life cycle assessment and economic efficiency analysis of integrated management of wastewater treatment plants," *Journal of Cleaner Production/ El Sevier*, vol. 113, pp. 325–337, Noviembre 2015.

- [20] Acueducto, agua y alcantarillado de Bogotá. (2016, Octubre) Informe Mensual de Actividades Septiembre. [Online].
http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/INFORME_PTA_R_SEPTIEMBRE_2016.pdf
- [21] Acueducto, agua, alcantarillado y aseo de bogota. Acueducto, agua, alcantarillado y aseo de bogota.
- [22] Perla Alejandra Blanco Jara, "APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PARA CERRAR EL CICLO URBANO DEL AGUA, MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y REDUCIR LOS GEI: CASO DE LA PITAR NUEVO LAREDO," Universidad Nacional Autónoma de México, Monterrey, Nuevo León; México, Proyecto de grado 2014.
- [23] UNITED STATES ENVIRONMENTALPROTECTION AGENCY, "A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503," UNITED STATES ENVIRONMENTALPROTECTION AGENCY, Washington, Guia 1994.
- [24] United Stated Environmental Protection Agency, "Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage," United Stated Environmental Protection Agency, Washington, DC, Manual 1995.
- [25] Robert Brobst, "BIOSOLIDS MANAGEMENT HANDBOOK," U.S. Environmental Protection Agency, Denver, Manual 1999.
- [26] Rodríguez Olán, Evia Castillo, Menes Montejo, and M de la Cruz-Mondragón, R García-Hernández, "LA DIVERSIDAD DE LOMBRICES DE TIERRA (ANNELIDA, OLIGOCHAETA) EN EL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO," El Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa., Villahermosa, Tabasco, México, 2005.
- [27] SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACION, "Lombricultura," SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACION, México,.
- [28] Dominguez J y Pérez D, "Gestión de residuos Orgánicos de uso agrícola/Desarrollo y nuevas perspectivas del vermicompostaje," Santiago de Compostela España, 2011.
- [29] La Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales. Las lombrices. [Online].
http://www.actaf.co.cu/index.php?option=com_mtree&task=att_download&link_id=89&cf_id=24

- [30] SECRETARIA DE AGRICULTURA, "Lombricultura," Mexico,.
- [31] Carlos Flores Hernández, "La Lombricultura en la Producción Agrícola Utilizando la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*)," Universidad Autónoma Agraria, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Proyecto de grado 2010.
- [32] Jose Luis Barbado, *Cria de Lombrices*. Mar de Plata, Argentina: Albatros, 2003.
- [33] Felipe Aburto. LA LOMBRIZ ROJA, su actividad en el suelo y posibles uso en suelos con cero labranza. Laboratorio de Suelo, agua y planta Chile. [Online]. <http://www.sap.uchile.cl/descargas/agronomia/lombrices.pdf>
- [34] Red Permacultura. (2008, Abril) Red Permacultura. [Online]. <http://www.redpermacultura.org/articulos/14-agricultura-ecologica/212-la-lombriz-roja-californiana.html>
- [35] Munroe Glenn, "Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture," Organic Agriculture Centre of Canada, Canada, Manual.
- [36] Environmental Engineering and Management Programme, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur 208 016, India, "Vermistabilization of primary sewage sludge," *Bioresource Technology*, no. 102, pp. 2812–2820, October 2011.
- [37] Surindra Suthar, "Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic *Eisenia fetida* (*Oligochaeta*," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 163, pp. 199-206, April 2009.
- [38] John Fredy Arango Suarez and Derly Marieth Diaz Salazar, "EVALUACION DE LA REPRODUCCION Y DESARROLLO DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*) Y COMPONENTES FISICO-QUIMICOS DEL LOMBRICOMPOST CON LA UTILIZACION DE TRES (3) TIPOS DE SUSTRATOS," INSTITUTO TÉCNICO AGRÍCOLA, Guadalajara de Buga, Trabajo de Grado 2010. [Online]. <http://www.gipag.org/archivos/sustralombriz.pdf>
- [39] P. M. Ndegwa, S. A. Thompson, and K. C. Das, "Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids," *Bioresource Technology*, vol. 71, pp. 5-12, abril 1999.

- [40] Renuka Gupta and V K Garg, "Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 153, pp. 1023-1030, Septiembre 2007.
- [41] Hait Subrata and Tare Vinot, "Optimizing vermistabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material," *Waste Management*, vol. 31, pp. 502-511, Diciembre 2010.
- [42] Suthar Surindra and Singh Sushma, "Feasibility of vermicomposting in biostabilization of sludge from a distillery industry," *Science of the total environment*, vol. 394, pp. 237-243, marzo 2008.
- [43] Mariana Trejos Vélez and Nathalia Agudelo Cardona, "PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA "COMESTIBLES LA ROSA" COMO ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DE BIOSÓLIDOS," Universidad tecnológica de pereira, Pereira, Tesis 2012.
- [44] Estefania Caridad Avilés Sacoto, "Determinación de la efectividad del proceso de Lombricultura como tratamiento para la estabilización de lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas," Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Tesis Julio 2011.
- [45] Stefanía Almany Arbelaéz, "Transformación de sólidos provenientes de lodos generados en el sistema de alcantarillados de Bogotá mediante lombriz roja californiana (*Esenia Foetida*)," Universidad el Bosque, Bogotá, Tesis julio 2010.
- [46] Álvaro Chavéz Porras and Ximena Loaiza Echeverry, "ESTUDIO DE LA MOVILIDAD DE NPK EN LOS BIOSÓLIDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR SALITRE, TRATADOS CON VERMICOMPOSTAJE," *Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales*, abril 2014. [Online].
<http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12031>
- [47] Juan Carlos Castillo Taco. (2010) ANALISIS DE LOMBRICOMPUESTOS A PARTIR DE DIFERENTES SUSTRATOS. [Online].
<http://www.bdigital.unal.edu.co/2730/1/juancarloscastillotaco.2010.pdf>
- [48] Ketheem Kiyasudeen S, Mahamad Hakimi Ibrahim, Shlrene Quaik, and Sultan Ahmed Ismail, *Prospects of organic waste management and the significance of earthworms*, 1st ed. London, New York: Springer, 2016.
- [49] Edwards Clive A. , *Earthworm Ecology*, Segunda edición ed., Clive A. Edwards, Ed. Boca Raton, Florida: CRC pres, 1994.

- [50] Silvana Miranda and Sara Reyes, "Análisis Comparativo del Uso de Lodos provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en la aplicación benefica al suelo," Universidad de Santiago de Chile, Santiago de Chile, Tesis 2005.
- [51] Arturo Pérez Vázquez and Cesáreo Landeros Sámchez, "Agricultura y deterioro Ambiental," *Ciencia y Cultura Elementos* , vol. 16, no. 73, p. 19, Marzo 2009.
- [52] Edwin Beltrán Villegas and Jonathan Andres Ruiz Ruiz , "DETERMINACIÓN DEL ROL DE LAS INSTITUCIONES DE APOYO EN LA GESTIÓN DE AGRICULTURA Y GANADERIA DE CONSERVACION EN CUNDINAMARCA," Universidad de la Salle, Bogotá, Trabajo de grado 2001. [Online].
http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_2.html
- [53] Stepanov A.L, "EFFECT OF VARIOUS FORMS OF NITROGEN FERTILIZERS ON NITRIFICATION AND DENITRIFICATION ACTIVITY IN A SODDY-PODZOLIC SOIL," *Engineering Village*, vol. 39, no. 2, pp. 38-40, Febrero 1984.
- [54] Benicio de Barros Neto, Ieda Spacino Scarminio, and Roy Edward Bruns, "Como Fazer Experimentos. Pesquisa e desenvolvimento na ciencia e na industria," Campinas, 2001.
- [55] Norma Tecnica Colombiana NTC 5167, "Productos para la industria agricola. Materiales orgánicos usados como fertilizante y acondicionadores de suelo," Bogotá, 2003.
- [56] Piao Wenhua , Kim Yejin, Kim Hyosoo, and Kim Minsoo, "Life cycle assessment and economic efficiency analysis of integrated management of wastewater treatment plants," *Journal of Cleaner Production/ El Sevier*, p. 13, Noviembre 2015.
- [57] Gisela Natalia Montoya Moreno and John Alexander Buitrago, "PRODUCCIÓN DE HUMUS A TRAVÉS DEL TRATAMIENTO DE BIOSÓLIDOS CON VERMICOMPOSTAJE, UNA MIRADA AL FUTURO," Universidad Militar Nueva Granada, 2008.
- [58] Ana Margarita Vera, Enrique Sánchez Salinas, Laura Ortiz Hernández, Justina Leticia Peña Camacho, and Magdalena Ortega Silva, "ESTABILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES MUNICIPALES POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE LOMBRICOMPOSTAJE," Centro de Investigación en Biotecnología, Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México,.
- [59] LOMBRICULTURA PACHAMAMA S.A., "Humus de lombriz y su aplicación," Viña