

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES



INFORME DE TESIS

OBTENCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS POR MEDIO DE LAS
LOMBRICES "*Eisenia foetida*" A PARTIR DE LOS LODOS RESIDUALES DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN
ANTONIO DE CARAPONGO LIMA – PERÚ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

MARQUINA TRIGOSO, LEONIDAS FLAVIO

MARTINEZ FLORES, JHOHANS PELAYO

ASESOR: ING. LEON RAMIREZ GODOFREDO TEODORO

Callao, Octubre, 2016

PERU

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
N° 004-2016-JEDT-FIARN**

Siendo las 12:15 horas del día lunes 31 de octubre de 2016, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "Obtención de Abonos Orgánicos por Medio de las Lombrices Eisenia Foetida, a Partir de los Lodos Residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo Lima-Perú", presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de los Bachilleres: Leonidas Flavio Marquina Trigos y Jhohans Pelayo Martínez Flores.

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesor a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 052-2016-D-FIARN de fecha 24 de octubre de 2016, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

Mg. Ing. José Pablo Rivera Rodríguez	Presidente
Lic. Janet Mamani Ramos	Secretaria
Ing. Abner Josué Vigo Roldán	Vocal
Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez	Asesor

Terminada la exposición, el Jurado Evaluador invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio para las deliberaciones del caso.

Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de **MUY BUENO** da por terminado el acto de exposición.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 13:25 horas del día 31 de octubre de 2016.

Mg. Ing. José Pablo Rivera Rodríguez

Presidente

Lic. Janet Mamani Ramos

Secretaria

Ing. Abner Josué Vigo Roldán

Vocal

Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Oficina de Secretaria General

Lic. César Guillermo Jaraquí Villaluz
Secretario General

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
OFICINA DE SECRETARIA GENERAL
EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL CALLAO que suscribe, CERTIFICA: Que la presente
es copia fiel del original. Se expide la presente
certificación a solicitud del (o) interesado (a) para
los fines que le sean convenientes en la UNAC.

Callao, 28 NOV 2016

INFORME N° 001-2016-PJEST

PARA: M.s.C. María Teresa Valderrama Rojas
Decano- FIARN

DE: Ing. José Pablo Rivera Rodríguez
Presidente del Jurado Evaluador de Sustentación de Tesis

ASUNTO: Sustentación de Tesis de los Bachilleres:
-Leonidas Flavio Marquina Trigoso
-Jhohans Pelayo Martínez Flores

FECHA: Bellavista, 31 de Octubre de 2016

Sirva el presente para saludarlo muy cordialmente, al mismo tiempo informar a usted sobre el Acto de Sustentación de la tesis titulada **"OBTENCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS POR MEDIO DE LAS LOMBRICES *Eisenia foetida*" A PARTIR DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN ANTONIO DE CARAPONGO LIMA – PERÚ** efectuada por los Bachilleres: Leonidas Flavio Marquina Trigoso y Jhohans Pelayo Martínez Flores, en cumplimiento a la Resolución Decanal N° 052-2016-D-FIARN de fecha 24/10/2016, sobre el particular informo a usted.

1 – El Acto de Instalación del Jurado se llevó a cabo en el Auditorio de la Facultad el día lunes 31/10/2016, a partir de las 12:00 horas en presencia de los miembros del Jurado Evaluador conformado por los docentes:

Ing. José Pablo Rivera Rodríguez	Presidente
Lic. Janet Mamani Ramos	Secretario
Ing. Abner Josué Vigo Roldán	Vocal

Asimismo, estuvo presente el docente Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez en calidad de Asesor.

2 – A partir de las 12:15 horas, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis a cargo de los Bachilleres: Leonidas Flavio Marquina Trigoso y Jhohans Pelayo Martínez Flores, luego de la exposición de cada uno de ellos se llevaron a cabo las rondas de preguntas respectivas, que fueron contestadas satisfactoriamente por ambos bachilleres.

3 – Terminada la exposición y las rondas de preguntas, se invitó a los Bachilleres y público en general a retirarse del Auditorio a fin de efectuar la calificación, luego de las deliberaciones pertinentes el Jurado Evaluador acuerda APROBAR por unanimidad y otorgar el calificativo de MUY BUENO, en consecuencia da por terminado el acto de sustentación a las 13:25 horas firmando las actas correspondientes.

Es todo cuanto debo informar, sin otro particular me despido de usted

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
OFICINA DE SECRETARÍA GENERAL

EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO que suscribe, CERTIFICA: Que la presente es copia fiel del original. Se expide la presente certificación a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que juzgo conveniente en la UNAC.

Callao, 28 NOV. 2016 del 20


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Oficina de Secretaría General

Lic. César Guillermo Jauregui Villaluerte
Secretario General

Atentamente,


Ing. José Pablo Rivera Rodríguez
Presidente del Jurado Evaluador

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a nuestros padres: Víctor Marquina Retamozo y Graciela Trigoso Escudero; Elva Flores Acuña y Prudencio Martínez Nastaes, por el apoyo incondicional que siempre nos brindaron y a nuestras familias que siempre estuvieron a nuestro lado brindándonos su apoyo.

AGRADECIMIENTO

En el presente informe de tesis agradecemos en primer lugar a Dios por bendecirnos en esta etapa de nuestras vidas y hacer realidad este sueño.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO por darnos la oportunidad de ser profesionales y así contribuir con el desarrollo de nuestro país.

A nuestro asesor de tesis, Ing. León Ramírez Godofredo Teodoro por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado la culminación del presente trabajo de investigación.

A nuestro jurado de tesis, Ing. José Pablo Rivera Rodríguez, Ing. Abner Josué Vigo Roldan, Lic. Janet Mamani Ramos por su visión crítica, rectitud, disponibilidad y paciencia, quienes con sus conocimientos y experiencia, contribuyeron a la mejora del informe final de tesis.

A la Lic. Angela Araceli Palacios Quijandria, por el apoyo en la elaboración y aplicación de Microsoft Excel en la presente investigación.

Al Lic. Yurian Quispe Marquina, por el apoyo en la instalación y asesoramiento en la planta piloto realizada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo.

También al Ing. Francisco Quezada Neciosup. Ex Gerente del área de Gestión de Aguas Residuales – SEDAPAL, por darnos la confianza para poder realizar la prueba piloto dentro de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo.

Al operador Eutemio Marquina Retamozo y a todo el personal de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales por todas las facilidades que nos brindaron, en el tema logístico y apoyo incondicional que tuvieron con nosotros en todo el tiempo que duró la prueba piloto.

Al Ing. Baca Rueda Ricardo y el Blgo. Tome Ramos Carlos, por su visión crítica, disponibilidad y sus aportes como expertos para la validación de los instrumentos de medición de la presente investigación.

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao que aportaron en nuestra formación académica, profesional y personal.

A todas nuestras amistades que formaron parte en nuestra formación como estudiantes con los cuales compartimos experiencias en todo tiempo de la universidad.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	19
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.1. Identificación del problema	19
1.2. Formulación del problema	20
1.2.1. Problema general.....	20
1.2.2. Problemas específicos.....	20
1.3. Objetivos de la investigación	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos	21
1.4. Justificación	21
1.5. Importancia	22
CAPÍTULO II	23
MARCO TEORICO.....	23
2.1. Antecedentes del estudio.....	23
2.2. Bases científicas.....	29
2.2.1. Aguas residuales	29
2.2.2. Los biosólidos.	39
2.2.3. Definición de lombricultura o vermicomposteo	44
2.2.4. Tipos de lombrices.....	44
2.2.5. La lombriz roja californiana.....	45
2.2.6. Características favorables del humus de lombriz.....	52
2.2.7. Lombricultura con lodos residuales	54
2.3. Definición de términos.....	56
CAPÍTULO III.....	59
VARIABLES E HIPÓTESIS.....	59
3.1. Variables de investigación	59
3.1.1. Variable independiente	59
3.1.2. Variable dependiente.....	59

3.2.	Operacionalización de variables	59
3.2.1.	Variable independiente	59
3.2.2.	Variable dependiente.....	60
3.3.	Hipótesis general e hipótesis específicas	62
3.3.1.	Hipótesis general.....	62
3.3.2.	Hipótesis específicas.....	62
CAPÍTULO IV.....		63
METODOLOGÍA.....		63
4.1.	Tipo de investigación	63
4.2.	Diseño de la investigación	63
4.2.1.	Investigación de alcance descriptiva.....	64
4.2.2.	Investigación de alcance explicativa.....	64
4.2.3.	El diseño es de tipo cuantitativo–cuasiexperimental.....	65
4.3.	Población y muestra.....	68
4.3.1.	Ubicación	68
4.3.2.	Condiciones climáticas del área de estudio.....	69
4.3.3.	Delimitación de la investigación.....	70
4.3.4.	Población.....	70
4.3.5.	Muestra	72
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	76
4.4.1.	Descripción de las técnicas	77
4.4.2.	Validación y confiabilidad del instrumento	82
4.5.	Procedimiento de recolección de datos.....	87
4.5.1.	Observación	87
4.5.2.	Técnica de observación asistida técnicamente:.....	93
4.5.3.	Técnica de recolección de datos secundarios.....	101
CAPÍTULO V.....		110
RESULTADOS.....		110
5.1.	Análisis de la presencia de lombrices	110
5.2.	Análisis del rango de colores	113
5.3.	Análisis del pH.....	115

5.4. Análisis de 40 CFR part 503 Sewage Sludge Annual Report Review Guide (EPA) con el Informe de Ensayo N° LE1412001656	116
5.5. Análisis del Informe de Ensayo N° LE1412001656 con el análisis de laboratorio del abono orgánico de la PTAR San Antonio de Carapongo.	118
5.6. Análisis de la PTAR San Antonio de Carapongo con Industria comestible La Rosa y Rango analíticos de humus: Contenido nutrimental de las lombricompostas (SAGARPA)	121
CAPÍTULO VI.....	124
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	124
6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados	124
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares	128
CAPÍTULO VII	134
CONCLUSIONES	134
CAPÍTULO VIII	135
RECOMENDACIONES.....	135
CAPÍTULO IX.....	136
ANEXOS	142
1. Matriz de consistencia.....	142
2. Alternativas planteadas para tratamiento y disposición de lodos.....	145
3. Carta de permiso de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional del Callao a SEDAPAL	146
4. Análisis de laboratorio del humus de lombriz.....	147
5. Validación de Instrumentos por opinión de expertos.....	148
6. Tabla de Munsell 10YR.....	152
7. Informe de Ensayo N° LE1412001656.....	153
8. Factores gravimétricos	156
9. Prueba Piloto realizado en la PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO - SEDAPAL	157

TABLAS DE CONTENIDO

CUADRO N° 2. 1.....	33
MANEJO DE LODOS RESIDUALES EN DIFERENTES PAÍSES.....	33
CUADRO N° 2. 2.....	35
LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS.....	35
TABLA N° 2. 1.....	41
VALORES LÍMITES POR LA EPA NORMA CFR 40 PARTE 503 PARA BIOSÓLIDOS.....	41
TABLA N° 2. 2.....	43
LIMITES DE SUSTANCIAS APLICABLES AL SUELO.....	43
TABLA N° 2. 3.....	45
DIFERENCIAS ENTRE LOMBRICES COMPOSTERAS Y NATIVAS.....	45
CUADRO N° 2. 3.....	46
CLASIFICACION TAXONOMICA DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA.....	46
FIGURA N° 2. 1.....	48
CARACTERÍSTICAS INTERNAS DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FOETIDA).....	48
TABLA N° 2. 4.....	54
CONTENIDO NUTRIMENTAL DE LAS LOMBRICOMPOSTAS.....	54
CUADRO N° 3. 1.....	61
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	61
TABLA N° 4. 1.....	72
CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN.....	72
TABLA N° 4. 2.....	75
TABLA DE MEZCLAS.....	75
CUADRO N° 4. 1.....	81
RESUMEN DE TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	81
TABLA N° 4. 3.....	88
PROMEDIO DE CONTEO DE LOMBRICES.....	88
TABLA N° 4. 4.....	89
REGISTROS PARA LA PRESENCIA DE LOMBRICES.....	89
TABLA N° 4. 5.....	91
FICHA DE REGISTRO DE COLORES.....	91
TABLA N° 4. 6.....	95
TABLA DE CONTROL DEL PH.....	95
CUADRO N° 4. 2.....	101
RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES.....	101
TABLA N° 4. 7.....	103
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.....	103
TABLA N° 4. 8.....	104
ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS.....	104
TABLA N° 4. 9.....	105
VALORES LÍMITES POR LA EPA NORMA CFR 40 PARTE 503 PARA BIOSÓLIDOS.....	105
TABLA N° 4. 10.....	107
RESULTADOS DE LABORATORIO DEL ABONO ORGÁNICO OBTENIDO EN LA EMPRESA COMESTIBLE "LA ROSA".....	107
TABLA N° 4. 11.....	108
VALORES ANALÍTICOS DEL HUMUS.....	108

TABLA N° 5. 1.....	110
PRESENCIA DE LOMBRICES	110
GRÁFICO N° 5. 1	112
PRESENCIA DE LOMBRICES	112
GRÁFICO N° 5. 2	112
PROMEDIO DE CONTEO DE LOMBRICES EN EL TIEMPO QUE DURO EL LOMBRICULTIVO.....	112
TABLA N° 5. 2.....	113
COLOR DE HUMUS DE LOMBRIZ	113
GRÁFICO N° 5. 3	114
RANGO DE COLORES DE LAS CAMAS EXPERIMENTALES CON LA TABLA MUNSELL 10 YR 2/1.....	114
TABLA N° 5. 3.....	115
PROMEDIO DE PH EN LAS CAMAS EXPERIMENTALES DURANTE EL PROCESO DE LOMBRICULTURA.....	115
GRÁFICO N° 5. 4	116
PROMEDIO DE PH.....	116
TABLA N° 5. 4.....	117
COMPARACIÓN DE 40 CFR PART 503 SEWAGE SLUDGE ANNUAL REPORT REVIEW GUIDE CON INFORME DE ENSAYO N° LE1412001656.....	117
GRÁFICO N° 5. 5	118
COMPARACIÓN DE 40 CFR PART 503 SEWAGE SLUDGE ANNUAL REPORT REVIEW GUIDE (EPA) CON EL INFORME DE ENSAYO N° LE1412001656	118
TABLA N° 5. 5.....	119
COMPARACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO N° LE1412001656 CON EL ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL ABONO ORGÁNICO DE LA PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO.....	119
GRÁFICO N° 5. 6	120
COMPARACIÓN DE PARÁMETROS, PH, C.E, HD, M.O.	120
GRÁFICO N° 5. 7	120
COMPARACIÓN DE PARÁMETROS, N, P, K, CA, MG, NA.....	120
TABLA N° 5. 6.....	121
COMPARACIÓN DE LA PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO E INDUSTRIA COMESTIBLE LA ROSA Y RANGO ANALÍTICOS DE HUMUS: CONTENIDO NUTRIMENTAL DE LAS LOMBRICOMPOSTAS (SAGARPA).....	121
GRÁFICO N° 5. 8	122
COMPARACIÓN DE LA PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO Y LA PTAR INDUSTRIA COMESTIBLE LA ROSA	122
GRÁFICO N° 5. 9	123
COMPARACIÓN DE LA PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO Y RANGO ANALÍTICOS DE HUMUS: CONTENIDO NUTRIMENTAL DE LAS LOMBRICOMPOSTAS (SAGARPA).....	123
GRÁFICO N° 6. 1	124
PRESENCIA DE LOMBRICES	124
GRÁFICO N° 6. 2	125
RANGO DE COLORES DE LAS CAMAS EXPERIMENTALES CON LA TABLA MUNSELL 10 YR 2/1.....	125
GRÁFICO N° 6. 3	126

COMPARACIÓN DE PARÁMETROS, PH, C.E, HD, M.O.	126
GRÁFICO N° 6. 4	127
COMPARACIÓN DE PARÁMETROS, N, P, K, CA, MG, NA.	127
TABLA N° 6. 1.....	129
SUSTRATOS USADOS EN LA INVESTIGACIÓN REALIZADA EN LA EMPRESA"COMESTIBLES LA ROSA"	129
TABLA N° 6. 2.....	130
COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS ENTRE LA PTAR DE COMESTIBLES "LA ROSA" Y PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO	130
GRÁFICO N° 6. 5	132
COMPARACIÓN DE LA PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO Y RANGO ANALÍTICOS DE HUMUS: CONTENIDO NUTRIMENTAL DE LAS LOMBRICOMPOSTAS (SAGARPA).....	132

RESUMEN

En la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo se ha observado que mantienen una alta producción de lodos residuales, pero al no poder darles un aprovechamiento, son llevados a su disposición final en el Relleno Sanitario Huaycoloro.

El objetivo de esta tesis fue determinar la calidad del abono orgánico obtenido por medio de la lombricultura a partir de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo.

El efecto de la actividad de la lombriz (*Eisenia foetida*) sobre los lodos residuales, se evaluó mediante un diseño cuasiexperimental con cuatro mezclas: m1 (Lodo residual + lombrices), m2 (Lodo residual + compost + lombrices), m3 (Lodo residual + estiércol de conejo + lombrices), y m4 (Lodo residual + compost + estiércol de conejo + lombrices) y una muestra de 1 Kg de lodo residual sin recibir el estímulo, el cual fue caracterizado.

Al término del proceso de lombricultivo se observó que la m3 (Lodo residual + estiércol de conejo + lombrices), cumplió con los parámetros de pH, color del abono orgánico y la cantidad de lombrices, lo que determinó el ecosistema óptimo para el desarrollo de la lombriz "*Eisenia foetida*".

Luego se cogió una muestra de 1 kg de mezcla m3 (Lodo residual + estiércol de conejo + lombrices) con la finalidad de conocer sus características fisicoquímicas, ya que fue el tratamiento que cumplió con los parámetros

establecidos. Se obtuvo que el abono orgánico contiene un alto contenido de materia orgánica y un contenido de nutrientes adecuados, como se muestra a continuación:

pH : 6.9, M.O : 38.51%, N : 1.97%, P_2O_5 : 4.14%, K_2O : 0.65%, CaO : 6.36%, MgO : 1.32%, Hd : 62.58%, Na : 0.17%.

Continuando con la investigación se comparó el Informe de Ensayo N° LE1412001656 (este ensayo fue realizado a los lodos deshidratados de la PTAR San Antonio de Carapongo), el cual tiene análisis microbiológico y fisicoquímico con la calidad de biosólidos de tipo B según la US-EPA en su Informe anual de guías de revisión de lodos de aguas residuales 40 CFR parte 503 para uso no restringido en aplicación agrícola. A partir de esta comparación se obtuvo que los lodos de la PTAR San Antonio de Carapongo están dentro de los límites máximos permisibles internacionales para su tratamiento y uso como abono orgánico.

Finalmente los resultados de análisis de macronutrientes del abono orgánico producido en la PTAR San Antonio de Carapongo se compararon con el resultado de laboratorio de la tesis “Propuesta para el Aprovechamiento de Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa Comestibles la Rosa” y “Contenido nutrimental de las lombricompostas” del Sistema de Agro negocios de Traspatio (SAGARPA), donde se obtuvo que los valores de los parámetros analizados de la PTAR San Antonio de Carapongo son más altos y están dentro del rango de los valores analíticos del humus (SAGARPA); lo que demuestra que el abono generado en la PTAR San Antonio de Carapongo es de buena calidad.

Del de análisis de macronutrientes del abono orgánico producido en la PTAR San Antonio de Carapongo que se comparó con los Valores analíticos del Humus, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), se obtuvo como resultados relevantes que los parámetros pH, N, K₂O, CaO están dentro de los rangos analíticos de humus y los parámetros P₂O₅, MgO, están por encima del rango, también cabe resaltar que los parámetros C.E, M.O, Hd, Na, no están considerados en los rangos analíticos de humus, según SAGARPA.

Como conclusión general la lombricultura con "*Eisenia foetida*" influyó significativamente en la calidad del abono orgánico obtenido a partir de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo, aportando de tal forma con el avance de la ciencia y la tecnología.

ABSTRACT

In San Antonio de Carapongo residual water treatment plant it has been observed that there is a high production of residual sludge, but because they cannot be used, so it is transported to its final disposal in Huaycolor landfill.

The objective of this thesis was to determine the quality of organic compost as vermicompost from residual sludge of San Antonio de Carapongo residual water treatment plant.

The effect of earthworm activity (*Eisenia foetida*) on residual sludge, it is had evaluated though a quasi- experimental design with four mixtures: (residual sludge + earthworm), m2 (residual sludge + compost + earthworm), m3(residual sludge + rabbit manure + earthworm) and m4(residual sludge + compost + rabbit manure + earthworm) and a sample of 1 Kg residual sludge without receive stimulation, which it was characterized.

At end to vermicompost process had watched that m3 (residual sludge + rabbit manure + eartheearthworm), it complied with Ph parameters, colour of organic compost and quantity of earthworm, which determined the ecosystem optimal for the development of earthworm "*Eiseni foetida*".

Then a sample of 1 kg of m3 mixture (residual sludge + rabbit manure + earthworms) was taken in order to know its physico-chemical characteristics, since it was the treatment that complied with the established parameters. It was obtained that the organic fertilizer contains a high content of organic matter and a content of suitable nutrients, as shown below:

pH : 6.9, M.O : 38.51%, N : 1.97%, P₂O₅ : 4.14%, K₂O : 0.65%, CaO : 6.36%, MgO : 1.32%, Hd : 62.58%, Na : 0.17%.

Continuing with the research, we compared the Test Report No. LE1412001656 (this test was made to the dehydrated sludge of the San Antonio de Carapongo WWTP), which has microbiological and physicochemical analysis with the quality of B-type biosolids according to US- EPA in its annual report on wastewater sludge revision guides 40 CFR part 503 for unrestricted use in agricultural application. From this comparison it was obtained that the sludge of the San Antonio de Carapongo WWTP is within the maximum international permissible limits for its treatment and use as organic fertilizer.

Finally, the results of macronutrient analysis of the organic fertilizer produced at the San Antonio de Carapongo WWTP were compared with the laboratory result of the thesis "Proposal for the Use of Sludge from the Wastewater Treatment Plant of the Comestibles la Rosa Company" And "Nutritional content of the vermicompost" of the Traspatio Agribusiness System (SAGARPA), where it was obtained that the values of the analyzed parameters of the San Antonio de Carapongo WWTP are higher and are within the range of humus analytical values (SAGARPA); Which shows that the fertilizer generated at the San Antonio de Carapongo WWTP is of good quality.

From the analysis of macronutrients of organic fertilizer produced at the San Antonio de Carapongo WWTP that was compared with the Humus Analytical Values of the Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fishery and

Alimentation (SAGARPA). The parameters pH, N, K₂O, CaO are within the analytical ranges of humus and the parameters P₂O₅, MgO, are above the range, it is also worth noting that the parameters CE, MO, Hd, Na are not considered in the ranges Analysis of humus, according to SAGARPA.

As a general conclusion, vermiculture with "*Eisenia foetida*" had a significant influence on the quality of the organic fertilizer obtained from residual sludge from the San Antonio de Carapongo WWTP, contributing with the advancement of science and technology.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

En la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo se ha observado que mantienen una alta producción de lodos residuales, pero al no poder darles un aprovechamiento, son llevados a su disposición final en el Relleno Sanitario Huaycoloro. Por lo que al aplicar la técnica de lombricultura con la lombriz "*Eisenia foetida*" como estrategia de aprovechamiento a estos lodos residuales, sería una gran alternativa.

Se ha demostrado una disminución drástica de los parámetros microbiológicos, y una mejora en los parámetros físico-químicos, cuando las excretas pasan por el tracto digestivo de las lombrices de tierra.

Además se conoce que los lodos residuales tienen un gran potencial de aprovechamiento agrícola debido al alto contenido de materia orgánica y nutrientes. Aunque deben someterse previamente a procesos de estabilización e higienización para reducir los riesgos asociados a la presencia de patógenos.

En este campo existen hoy en día muchas herramientas para el manejo de un lombricultivo, pero hay poca información aplicada al tratamiento de lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y menos en la optimización para obtener un abono orgánico de buena calidad. Esto hace necesario realizar un estudio de investigación para evaluar

diferentes sustratos que en combinación con el sustrato principal que es el lodo residual se logre obtener un humus de lombriz de buena calidad.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia de aplicar la lombricultura con "*Eisenia foetida*" como alternativa tecnológica en la calidad del abono orgánico obtenido a partir de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Al aplicar distintos sustratos se podrá definir el ecosistema óptimo para el desarrollo de la lombriz "*Eisenia foetida*"?
2. ¿Al realizar un análisis a nivel de laboratorio podrá determinarse el aumento en la calidad del abono orgánico luego del tratamiento por lombricultivo?
3. ¿Al comparar los resultados de laboratorio con estándares internacionales y análisis de otras investigaciones similares podrá definirse la calidad del abono obtenido?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la calidad del abono orgánico obtenido por medio de la lombricultura a partir de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar el ecosistema óptimo para el desarrollo de la lombriz "*Eisenia foetida*".
2. Obtener los parámetros fisicoquímicos en laboratorio que indique la calidad del abono orgánico.
3. Comparar los resultados del laboratorio con estándares internacionales y análisis de otras investigaciones similares.

1.4. Justificación

El presente estudio de investigación se justifica porque pretende solucionar algunos vacíos dentro del ámbito del medio ambiente, para ser más específico en el área de los biosólidos (sólidos provenientes del tratamiento de aguas residuales) ya que son problemas actuales poco abordados y no tienen un tratamiento adecuado para su reutilización como abono orgánico, de esta manera se busca ampliar los conocimientos teóricos sobre lombricultivo y sustratos.. Además se pretende utilizar esta tecnología a los biosólidos pudiéndose así observar cual es el sustrato óptimo para la obtención de humus de lombriz de mejor calidad a partir de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales domésticas San Antonio de Carapongo; con esto se busca tener una alternativa para un tratamiento adecuado de los biosólidos. Esta investigación también se justifica metodológicamente porque se usó un análisis hipotético deductivo y análisis estadísticos; asimismo, la investigación servirá como referencia a las empresas que tengan en funcionamiento instalaciones de depuración de aguas para que

puedan desarrollar procesos de mejora continua, en búsqueda de la certificación en los estándares de calidad y gestión ambiental.

Por último, presenta relevancia ambiental y social, pues mejora las condiciones del ambiente, ya que de esta manera se evitaría la disposición final en un botadero o relleno sanitario y de tal manera se aprovecharía el abono orgánico obtenido en la producción de cultivos; optimizando la producción e incentivando la agricultura orgánica.

1.5.Importancia

La importancia de esta investigación recae en establecer una alternativa agroecológica que nos permita buscar beneficios sostenibles a partir de desechos invalorable como el caso de los lodos residuales. De esta forma la presente investigación muestra una perspectiva sostenible a la población en cuanto a los beneficios del aprovechamiento de desechos orgánicos.

El reciclaje y reaprovechamiento aún se encuentran en niveles incipientes en nuestro país, por lo que la presente investigación busca incentivar a la comunidad científica a desarrollar tecnologías limpias que contribuyan al buen manejo y cuidado de nuestro planeta.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del estudio

Se realizó una revisión bibliográfica, de las cuales son consideradas importantes como antecedentes para el fortalecimiento de este trabajo. A continuación se exponen algunos de ellos.

TREJOS; AGUDELO, (2012). *Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa "Comestibles La Rosa" como alternativa para la generación de biosólidos*. Tesis de Grado para optar el título de Administrador Ambiental, Universidad Tecnológica de Pereira. Se aplicó la metodología de cumplimiento de objetivos, los cuales fueron planteados para seguir un orden de actividades en un tiempo determinado. El inicio del proyecto se da por la necesidad que tiene la Empresa comestibles La Rosa de aprovechar los lodos residuales generados en su Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR); para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo un estudio previo de localización, área de construcción y variables medio ambientales que pueden influir en los lombricultivos como son temperatura, humedad, luminosidad, pluviosidad, etc. Las conclusiones más relevantes de esta investigación son: Los lodos residuales generados poseen propiedades físicas, químicas y microbiológicas con resultados positivos para la utilización del material como enmienda de suelos. Los resultados arrojados por el presente estudio permiten suponer como una

alternativa viable la transformación del lodo para la generación de abono orgánico.

ÁVILES, (2011). *Determinación de la efectividad del proceso de Lombricultura como tratamiento para la estabilización de Lodos Residuales provenientes de una Planta de Tratamiento de Aguas*. Tesis de Grado para optar el título de Ingeniera Ambiental. Se aplicó el método estadístico de ADEVA – Análisis de la Varianza (ANOVA en inglés) se determinó si existe diferencia entre la eficiencia de los tratamientos de lombricultura desarrollados con distintos porcentajes de aplicación de materia orgánica, estiércol y lodos para estabilizar los lodos residuales reduciendo patógenos, mientras con el método estadístico de la Prueba de T de Student pareada se determinó en sí la eficiencia del tratamiento de lombricultura.

Las conclusiones más relevantes de esta investigación son: Al realizar el Análisis Estadístico ADEVA, se acepta la Hipótesis H_0 en la que se planteó que no hay diferencia entre la eficiencia de los tratamientos de lombricultura con distintos porcentajes de aplicación de materia orgánica, estiércol y lodos para estabilizar los lodos residuales reduciendo patógenos, todos los tratamientos son iguales y se rechaza la Hipótesis H_1 . Con la Prueba T de Student Pareada se puede determinar que la lombricultura es un tratamiento eficiente en la estabilización de los lodos residuales reduciendo patógenos: Coliformes Fecales y Huevos de

Helminto Viables, validándose así esta técnica como viable en el tratamiento de estos residuos.

FRANCISCO; RAMOS; AGUIRRE, (2010). *Aprovechamiento agrícola del lodo generado en la PTAR de Puente Piedra, Lima - Perú*. Trabajo de investigación de carácter novedoso en el Perú. Se aplicó el diseño estadístico completamente al azar DCA, y el método estadístico de la varianza- ANVA y el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

El método del diseño estadístico completamente al azar DCA se utilizó para evaluar las concentraciones de metales; mientras que el método del análisis de la varianza ANVA y el Test de Tukey con $p \leq 0,05$ de comparación de promedios se utilizó para evaluar las mediciones de las variables biométricas de la planta indicadora de maíz en ambos ensayos (con lodo seco y el otro con lodo compostado): altura (H, m), grosor (D, cm) materia seca (g) y el número de plantas emergentes que crecieron hasta los 60 días. Las conclusiones más relevantes de esta investigación son:

El análisis del lodo mostró rangos normales en la concentración de Hg, Pb, Cd, Cr y As en suelo antes y después de la fertilización y en la planta indicadora de maíz estuvieron dentro de los rangos normales de la norma técnica de aplicación de lodo en suelo US-EPA Part 503 y la Directiva 86/278/EEC, excepto el Cr que mostró incremento en el suelo final del ensayo, y valor en el rango crítico y con riesgo de toxicidad para la planta.

La evaluación estadística aplicada mostró que el lodo seco y el lodo compostado presentan diferencias significativas comparadas con los controles. Aunque el lodo compostado es la forma de aplicación más favorable proporcionando los resultados más significativos en el crecimiento del cultivo, se tiene que verificar la presencia de metales y el riesgo de toxicidad.

QUINTANA, (2012). *Estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR – Cañaveralejo, Cali – Colombia*. Tesis de grado para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial, Universidad de San Buenaventura Cali. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar de comparación de muestras pareadas y la prueba de TUKEY.

La técnica de TUKEY se utilizó para evaluar la diferencia significativa de los diferentes parámetros fisicoquímicos. Las conclusiones más relevantes de esta investigación son:

Según la norma NTC 5167, no se puede clasificar este compost como abono orgánico, dado que no cumple con las especificaciones requeridas para aplicarlo en suelos de actividad agrícola, según la norma técnica colombiana existen unos valores mínimos de riqueza que no son alcanzados por este producto. (Un estudio de comparación entre técnicas de compostaje sería indicado para trabajar en compostaje de Biosólido seco).

DROPPELMANN; GAETE; MIRANDA,(2009). *Remoción mediante vermicomposteo de los coliformes fecales presentes en lodos biológicos*. Trabajo de investigación de carácter novedoso en Chile. Universidad Andrés Bello, Escuela de Ingeniería Ambiental, República 252, Santiago, Chile. Se aplicó la técnica de la Prueba de Kurtosis, una comparación múltiple de media (test de ANOVA) y luego un análisis de rango múltiple de Duncan.

La Prueba de Kurtosis se utilizó para confirmar la condición de normalidad; la comparación múltiple de media para probar la igualdad de las medias de la población y el rango múltiple de Duncan para comparar todos los pares de medias. Las conclusiones más relevantes de esta investigación son:

En las condiciones de trabajo utilizadas, las tres densidades estudiadas logran que el lodo de aireación extendida sin mezclar sea clase A entre los 13 y 20 días. Este tiempo es comparable con los 15 días de fase termófilas requeridos, al menos, para remover patógenos por composteo según *United States Enviroment Protection Agency*.

La evaluación del NMPCF en el tiempo permitió verificar, que no necesariamente una mayor densidad de lombrices significa una mayor velocidad de remoción de patógenos.

MONTOYA; BUITRAGO, (2011). *Producción de humus a través del tratamiento de biosólidos con vermicompostaje, una mirada al futuro*. Trabajo de investigación de tipo bibliográfico. Universidad Militar Nueva Granada, Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia. Se comparó el desarrollo de tratamiento de biosólidos con vermicompostaje específicamente en Colombia y Brasil.

La comparación es de carácter bibliográfica del estado del vermicompostaje o lombricultura en Latinoamérica. Las conclusiones más relevantes de esta investigación son:

Los principales países productores de biosólidos de América Latina son Chile, Brasil, Colombia, Argentina y Ecuador. Estos, cuentan con grandes explotaciones industriales de *Eisenia foetida*. Esta técnica permite el mejoramiento de la textura y estructura del suelo, sustituyendo la fertilización química, activando los procesos biológicos del suelo.

Aunque las leyes en Brasil son más rigurosas que en Colombia, en este último ya se está viendo una cultura hacia este tipo de técnicas y el tratamiento de residuos orgánicos, iniciando con el desarrollo de legislaciones estipulada por el ministerio de agricultura para la mejora del proceso y su implementación en el país.

2.2. Bases científicas

2.2.1. Aguas residuales

“Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido alteradas en diversos usos, como actividades domésticas, industriales y comunitarias” (Mara, 1976).

“Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual” (Mendonca, 2000).

Las Planta de tratamiento de aguas residuales

Las P.T.A.R. son mecanismos que limpian los efluentes de las industrias y de los hogares, en otras palabras tratan de restablecer las características principales de la calidad del agua.

En las industrias, las P.T.A.R's cumplen indirectamente como indicadores de calidad de sus procesos, ya que al analizar los parámetros fisicoquímicos de sus aguas residuales se puede determinar la eficiencia de su proceso productivo, así por ejemplo determinar el uso excesivo de alguna sustancia.

Producción de lodos en PTAR.

“Las diferentes actividades productivas y domésticas provocan grandes cantidades de aguas residuales, las cuales traen muchos y diferentes tipos de contaminantes. Estas aguas deben ser llevadas a las PTAR para la recuperación de su calidad o por lo menos mayor a las que ingresan por el sistema de alcantarillado. La calidad se mejora al eliminar o reducir los contaminantes. Dichos contaminantes son eliminados en diferentes puntos del proceso en forma de lodos, siendo éstos un concentrado de los compuestos más dañinos que constituyen dichas aguas”¹.

Existen distintos tipos de tratamientos de aguas contaminadas, los cuales dependerán de las características de las aguas residuales. Sin embargo al referirse a las aguas residuales domésticas existen una cierta similitud en la mayoría de estas, por lo que se plantean ciertos parámetros generales que influirán en el diseño de las PTAR.

Por el contrario, en el caso de las aguas residuales de industrias existe una amplia gama de vertidos contaminantes, de características muy diferentes, y que pueden ser originados de distintas maneras en diferentes actividades: minería, hidrocarburos, curtiembres, industrias, etc.; dichos contaminantes deberán recibir tratamientos específicos para su disposición final.

¹GUZMÁN, Carolina y CAMPOS, Claudía. 2004. Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. Universidad Javeriana

Tratamiento de lodos en las PTAR

OROPEZA². 2006, en la investigación denominada “Lodos residuales: estabilización y manejo” hace una representación de cuatro métodos de manejo de lodos residuales generados en las PTAR. Para ello se basa en experiencias encontradas en Estados Unidos y en Europa. Asegura la autora que: “La tecnología de tratamiento para lodos residuales generados en las PTAR en Estados Unidos y Europa se realiza utilizando algunos de los siguientes cuatro procesos:

- Digestión anaerobia: comprende la estabilización de restos orgánicos mediante microorganismos sin presencia de oxígeno.
- Digestión aerobia: proceso de aireación prolongada (dotando al sistema de O₂) para provocar el crecimiento poblacional de los microorganismos hasta el límite en que se produzca su propia auto-oxidación.
- Tratamiento químico: realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones ácidas. Por su reducido costo y alcalinidad, la cal es el reactivo que más se utiliza.
- Incineración: conduce a la combustión incompleta de la materia orgánica presente en los lodos residuales, produciéndose cenizas constituidas únicamente por materias minerales del lodo.

En general, las líneas de tratamiento de lodos residuales se encuentran enfocadas a dos aspectos fundamentales, que son:

²OROPEZA, Norma. 2006. Lodos residuales: estabilización y manejo.

- a) Reducción de volumen: pueden obtenerse por un simple espesamiento (con el que la sequedad del producto podrá alcanzar en algunos casos el 10 o muy excepcionalmente, el 20%, sin que, por ello, pueda manejarse con pala), deshidratación por drenaje natural, escurrido mecánico, secado térmico, o también y como continuación de una deshidratación, por una incineración.
- b) Reducción del poder de fermentación o estabilización: consiste en reducir su actividad biológica (tendencia a la putrefacción) y su contenido de microorganismos causantes de enfermedades. La estabilización puede obtenerse mediante procesos tales como: digestión anaerobia o aerobia, estabilización química, pasteurización, cocción, etc.

En resumen, dicha investigación busca elegir el tipo de tratamiento de acuerdo a las características que presenten los lodos residuales. También se menciona la experiencia en algunos países.

La elección del proceso adecuado para la estabilización de un lodo residual dependerá de componentes como: la cantidad y calidad de lodos residuales a tratar, las condiciones del lugar y, la factibilidad económica. En muchos países, la utilización del lodo residual precisa de tecnologías costosas pero son justificables, ya que descontaminan y reciclan dichos residuos para su entrada en una nueva cadena productiva; sin peligros que puedan traer riesgos a las personas como al ambiente. Como ejemplo, el Plan de

Residuos de Holanda³, fija objetivos del 30% de reciclaje, 30% de compostaje, 30% de recuperación de energía y el 10% de vertido como residuos no aprovechables.

En Viena, el esquema es de 50% de valorización energética, 29% de reciclaje, 12% de compostaje y 9% a vertedero.

El manejo y uso de lodos en otros países se muestra en el cuadro N°. 2.1, referenciada por OROPEZA 2006.

CUADRO N° 2. 1

MANEJO DE LODOS RESIDUALES EN DIFERENTES PAÍSES

PAÍS	MANEJO DE LODOS
Europa, Australia, Estados Unidos	Actualmente se realizan investigaciones para utilizar los lodos especialmente tratados, como freno a la contaminación de los acuíferos por productos fitosanitarios y sus impurezas, además servirán para acelerar la descontaminación de suelos que ya estén afectados. También se aplican como fertilizantes en tierras agrícolas.
España	Los residuos de materias orgánicas procedentes de la recolección de residuos separados de origen urbano, así como de la industria, aguas residuales y lodos de plantas de tratamiento pretenden ser utilizados en la agricultura ya que se considera que es el destino más adecuado para este tipo de materias desde el punto de vista ambiental y económico. Se estudia la aplicación de lodos residuales en el control de filtraciones de

³OROPEZA, OP CIT. PAG 19.

	productos fitosanitarios al acuífero.
Dinamarca	La gran parte de los lodos estabilizados se usan como fertilizante en tierras laborales. El porcentaje de reutilización de los lodos de aguas residuales es de 72%, el 20% se destina a la incineración, y 8% se dispone.
Chile	En 1999 fue aprobado el anteproyecto del “Reglamento para manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas” estableciendo que la operación de plantas de tratamiento de agua potable, agua residual urbana y residuos industriales líquidos genera gran cantidad de lodos, los cuales deben ser tratados y dispuestos de manera adecuada para prevenir impactos negativos en el ambiente.
Argentina	Se han instrumentado plantas de compostaje de lodos residuales, para su posterior aplicación como biosólidos en la agricultura.
México	Recientemente se aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 para lodos y biosólidos, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes contenidos para su aprovechamiento y disposición final.

Fuente: OROPEZA, 2006.

En el marco del tratamiento de aguas residuales RODRÍGUEZ, 2008⁴ detalla un sistema de tratamiento por lodos activados desarrollando algunas ventajas y desventajas. También menciona que los lodos activados

⁴Rodríguez Eder. 2008. Gestión Ambiental para los subproductos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Colombia y comparación con sistemas similares en San Andrés.

son sistemas biológicos utilizados como tratamientos secundarios en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, donde existen mecanismos de aireación y agitación para las aguas residuales en conjunto con los lodos biológicos. Estos sistemas se basan en la presencia de microorganismos que degradan la materia orgánica del agua residual. Además precisan de un tanque de aireación y un sedimentador secundario que a partir del cual los lodos que sedimentan son recirculados nuevamente al tanque de aireación, continuando así con el proceso.

CUADRO N° 2. 2

LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Baja generación de olores molestos	Requiere infraestructura adicional de sedimentación
Permite controlar diferentes calidades del afluente	Mayores costos operativos por el requerimiento de energía para generar oxígeno
Las variables de operación son conocidas y controlables	Se genera un alto volumen de lodos que requieren un adecuado manejo y disposición
Se requieren áreas moderadamente pequeñas	Requiere profesional especializado para operación

Fuente: RODRIGUEZ, 2008.

Dependiendo de la calidad del lodo residual, su uso como mejorador de suelos es muy eficiente, dado que este residuo presenta en su composición materia orgánica, macro y micro nutrientes, que funciona como mejorador del suelo con lo que generaría un gran ahorro en la compra de fertilizantes, provocando también bajos costos de disposición final. En otras palabras, el material resultante del tratamiento de los lodos puede ser empleado en la agricultura, áreas verdes, lugares de recreación y en la recuperación de suelos deteriorados, etc⁵.

Sin embargo, estos lodos también presentan características aún poco conocidas que podrían generar daños directos por el consumo de ciertos cultivos, por lo que su uso es restringido de acuerdo a algunos parámetros como metales pesados, agentes patógenos, entre otros⁶.

Algunas ventajas del uso de estos lodos en el suelo son: aportación de nutrientes y que son elementos básicos para el crecimiento de las plantas; la materia orgánica mejora las características fisicoquímicas del suelo tales como estructura, permeabilidad y poder de amortiguamiento.

El compostaje es un proceso biológico liberador de energía que convierte la materia orgánica presente en los residuos, hacia formas más estables, dicha conversión es realizada por microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetos que necesitan de ciertas condiciones ambientales controladas que proporcionen el aumento de la temperatura para la

⁵OLIVEIRA DE SOUZA, Wilson et al. O lodo de Esgoto: uso na agricultura,compostagem, e outros destinos finais. 2000.

⁶ROMERO, Jairo. Tratamiento de aguas residuales. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000

destrucción de patógenos (KIELY, 1999)⁷. El compostaje de biosólidos genera un abono con pH entre 6,5 y 8,0 unidades favoreciendo así el crecimiento de las plantas y reduciendo la movilidad de metales pesados (EPA, 1999)⁸ pudiendo ser usado como mejorador de suelos (KUTER et al., 1995)⁹.

Los biosólidos generados en las PTAR tienden a compactarse y a tener baja porosidad ocasionando poca aireación y por ende malos resultados durante el composteo, lo que se puede corregir adicionando sustratos para mejorar la porosidad y estructura de las pilas de compost garantizando el ingreso del oxígeno necesario para asistir las condiciones aerobias del proceso (KUTER et al., 1995).

Los materiales de soporte son variados: vegetales leñosos como residuos de poda de zonas verdes o de jardinería, aserrín, paja, materiales previamente compostados (EPA, 1999), trozos de neumáticos, astillas de pino, viruta de madera y desechos agrícolas. Algunos materiales de soporte actúan también como enmienda, al contribuir al mejoramiento de las características químicas del producto final, como es el caso de la cascarilla de arroz que, además de mejorar la estructura de la pila, aporta potasio (TORRES, 1998)¹⁰.

⁷KIELY, G. 1999. Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión.

⁸EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1999. Biosolids generation, use, and disposal in the United States. Washington.

⁹KUTER, G. y otros. 1995. Biosolids Composting. Water Environment Federation, Washington.

¹⁰TORRES, Patricia y otros. 2007. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los materiales de enmienda son fuente de energía y carbono que proporcionan nutrientes de manera rápida que ayuda además a controlar la humedad de la pila (KUTER et al., 1995). Los biosólidos son residuos ricos en nitrógeno con relaciones C/N entre 5,0 y 11,0; los materiales de enmienda, ricos en carbono, permiten ajustar esta relación a los valores recomendados para avalar la eficiencia del proceso (20 a 30).

Algunos materiales que ayuden durante el proceso de composteo son: residuos orgánicos municipales, paja, bagazo y cachaza de caña (residuos de la industria del azúcar), materiales minerales como la fosforita, viruta de madera, tallos de maíz, ceniza, pulpa de remolacha (KUTER et al., 1995).

Planta de tratamiento de aguas residuales de San Antonio de Carapongo.

La planta de tratamiento de las aguas residuales es el tipo aeración prolongada. El tratamiento de aeración prolongada es una modificación del proceso de lodos activados y el tratamiento de las aguas residuales se realiza por medio de un proceso biológico en donde los microorganismos consumen la materia orgánica presente en ella para convertirla en nuevos microorganismos. Esta planta de tratamiento ha sido proyectada con seis módulos para una capacidad promedio de 70 l/s, y máxima de 180 l/s, y cuenta con los procesos de cribado, desarenado, oxidación biológica, sedimentación, desinfección y secado de lodos.

2.2.2. Los biosólidos.

Según la EPA, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, los biosólidos son materiales orgánicos producidos a partir del tratamiento de aguas residuales, los cuales pueden aportar beneficios al suelo, con el fin de abastecer de nutrientes y renovar la materia orgánica en el terreno¹¹.

Los biosólidos se obtienen a partir de dos etapas mediante el proceso de depuración convencional: la decantación primaria, mediante la cual la gravedad separa las partículas que están suspendida en el agua y la decantación secundaria, en donde se separan del efluente los flóculos (grumos de materiales orgánicos) formado a partir un líquido existente en el reactor biológico, una parte de esto es recirculado para mantener la biomasa necesaria y el resto es extraído, como lodos secundarios.¹²

a) Clasificación de los biosólidos.

De acuerdo a la norma 40 CFR Part 503 de la EPA, los biosólidos se clasifican según el contenido de patógenos y el nivel de clases pesados en Clase A o Clase B.

✓ Biosólido Clase A.

La primera se denomina biosólidos con calidad excepcional donde la densidad presentada en los Coliformes fecales debe ser menor a 1000 NMP (número más probable) g de solido total o también la densidad de Salmonella sp. es menor a 3 NMP /4g de solido total; los virus entéricos

¹¹ UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Folleto informativo de tecnología de biosólidos, Aplicación de biosólidos al terreno. Estados Unidos. 2000.

¹² MAHAMUD, M. GUTIERREZ, A. SASTRE, H. Biosólidos generados en La depuración de aguas planteamiento Del problema. Oviedo-ESP. 2006.

deben tener una densidad de menor o igual a 1UFC (Unidad formadora de colonia) /4g de solido total y los huevos viables de helmintos deben ser menor a 1/ 4g de solido total. Estos biosólidos no tienen ninguna restricción para su aplicación en cultivos agrícola y solo es necesario solicitar permiso para avalar la norma.

✓ Biosólido Clase B.

La segunda clase debe tener una densidad de coliformes fecales inferior a 2×10^6 NMP/ gramo de solido total; esto debe tener un tratamiento posterior para su estabilización y son los de mayor restricción para uso en suelos¹³. La tabla 2.1 muestra las características mencionadas.

¹³VELEZ, J. Los biosólidos: ¿una solución o un problema? Medellín-Col. 2007.

TABLA N° 2. 1

VALORES LÍMITES POR LA EPA NORMA CFR 40 PARTE 503 PARA
BIOSÓLIDOS

constituyentes	Concentración máxima (mg/Kg)	Calidad microbiológica Tipo A*	Calidad microbiológica Tipo B**
Arsénico	75		
Cadmio	80		
Cobre	4300		
Plomo	840		
Mercurio	57		
Molibdeno	75		
Níquel	420		
Selenio	100		
Zinc	7500		
Microbiológico			
Coliformes fecales (UFC/g)		<10 ³	<2x10 ⁶
Salmonella.sp. (UFC/g)		3/4	-
Huevos del helminthos/g		1/4	-

Fuente: EPA 2003

La clasificación según la concentración de materiales pesados, tiene en cuenta la máxima concentración de mg/kg de un contaminante inorgánico encontrado en el biosólido que tendrá aplicaciones en suelo.

Aquellos clasificados como Tipo A de calidad excepcional-EQ- poseen bajos niveles de contaminantes y no generan efectos negativos al medio ambiente; la concentración límite de contaminantes PC (Pollutant concentration) se refiere a la máxima concentración de mg/kg de un contaminante inorgánico y pertenece a los biosólidos Tipo B, los cuales presentan bajos contaminantes y no representan amenaza a la salud pública, sin embargo, su uso debe restringirse en cultivos agrícolas. La carga acumulativa de contaminantes debe cumplir con los niveles establecidos, como se observa en la Tabla 2.2¹⁴.

¹⁴QUICHIA, A. CARMONA, D. Factibilidad de disposición de los biosólidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales combinada. Medellín-Col. 2004.

TABLA N° 2. 2

LIMITES DE SUSTANCIAS APLICABLES AL SUELO

Contaminante	Concentraciones máximas para biosólidos aplicados al terreno	Concentraciones para biosólidos ¹ EQ y PC (mg/Kg)	Cargas acumulativas para biosólidos CPLR (Kg/Ha)	Tasas anuales de aplicación de contaminante para lodos ¹ (mg/Kg) APLR (Kg/Ha/ año)
Arsénico	75	41	41	2,0
Cadmio	80	39	30	1,9
Cromo ²	3000	1200	3000	150
Cobre	4300	1500	1500	75
Plomo	840	300	300	15
Mercurio	57	17	17	0,85
Molibdeno ³	75	-	-	-
Níquel	420	420	420	21
Selenio ²	100	36	100	5,0
Zinc	7500	2800	2800	140
Aplicado a:	Todos los biosólidos que son aplicados al terreno	Biosólidos en volumen empacados	Biosólidos en volumen	Biosólidos empacados

Fuente: EPA 1995

2.2.3. Definición de lombricultura o vermicomposteo

La lombricultura se define como la utilización de lombrices de tierra como agentes biológicos del proceso de transformación de residuos orgánicos con fines prácticos (Schuldt M, 2006). Es una biotecnología que utiliza una especie de lombriz; como herramienta de trabajo que procesa materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo abono orgánico.

El vermicomposteo es un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica realizado por la acción combinada de lombrices y microorganismos, mediante el cual se obtiene un producto orgánico estabilizado de granulometría fina denominado vermicomposta, lombricompost, vermicompost, compost de lombriz o humus de lombriz (Rodríguez, 2007).

Otra definición, menciona que la lombricultura es el cultivo y desarrollo de poblaciones de lombrices. Un proceso limpio y de fácil aplicación para reciclar una amplia y variada gama de residuos biodegradables (restos orgánicos), produciendo abono y lombrices (Ibid, 2006)

2.2.4. Tipos de lombrices

SAGARPA (2004) estima que: hay en el planeta más de 8500 especies de lombrices, entre las cuales la más conocida es la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*); sin embargo para el manejo de desechos orgánicos se utilizan lombrices especiales, que reúnan ciertos requisitos tales como alta voracidad, alta capacidad reproductiva, fáciles de trabajar y con capacidad para adaptarse a condiciones adversas, desde los 0 hasta los

3000 msnm. Las especies más utilizadas en la lombricultura y que reúnen los requisitos anteriormente citados son *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*, especies utilizadas en el 80% de los criaderos a nivel mundial. Se habla de otras especies que pueden sobrevivir con altas concentraciones de desechos, sin embargo presentan cierta preferencia hacia algunos desechos; ellas son: *Lumbricus rubellus*, *Perionyx excavatus*, *Bimastus* sp y *Eudrillus eugeniae* (p. 2).

TABLA N° 2. 3

DIFERENCIAS ENTRE LOMBRICES COMPOSTERAS Y NATIVAS

Características	<i>Eisenia foetida</i>	<i>Eisenia andrei</i>	<i>Lumbricus terrestris</i>
Color	Rojo pardo	Rojo fresa	Café oscuro
Tamaño (cm)	8-10	7-9	30-35
Peso adulto (g)	1.5 – 2.3	1.5 – 2.7	4-4.5
Reproducción	Alta	Alta	Baja
Cápsulas, capullos o cocones	1 cada 7 días	1 cada 5 días	Hasta 12 por año
Ciclo de vida *	De 90 a 100 días	De 80 a 90 días	180 días
Adaptabilidad	De 0 a 3000 msnm **	De 0 a 3000 msnm **	Zonas tropicales
Voracidad	Alta	Alta	Baja

* Depende de las condiciones de manejo

Fuente: Sistema de Agronegocios de Traspatio (SAGARPA, 2004)

2.2.5. La lombriz roja californiana

Se la conoce como Lombriz Roja Californiana porque fue en ese estado de los Estados Unidos de Norte América donde se descubrieron sus beneficios para el ecosistema y donde se instalaron los primeros criaderos.

a) Clasificación Taxonómica

CUADRO N° 2. 3

CLASIFICACION TAXONOMICA DE LA LOMBRIZ ROJA
CALIFORNIANA

Reino	Animal
Tipo	Anélido
Clase	Oligoqueto
Orden	Opisthoro
Familia	Lombricidae
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>Foetida</i>

Fuente: Crianza y manejo de lombrices.

(Bermúdez A. 1994).

b) Características Generales

Las lombrices de tierra pertenecen a la macrofauna del suelo, con amplia distribución en los suelos del mundo (Nuñez J, 1985). Todas las especies terrestres se alimentan de materia orgánica descompuesta o en descomposición que se encuentra en la superficie del suelo, pero también utilizan sustancias orgánicas que obtienen en el lodo y/o que ingieren al excavar.

Las lombrices prefieren sitios húmedos, no toleran las sequías ni las heladas, de aquí que los suelos arenosos, secos, y los de poco espesor sobre roca no son un medio favorable para ellas. Necesitan un suelo aireado, así bajo una cierta condición de manejo del suelo. Son más numerosas en suelos francos que en los arenosos, de grava, y que en los arcillosos (García R, 2005).

Cuando la lombriz cava túneles en el suelo blando y húmedo, succiona o chupa la tierra con la faringe envaginada o bulbo musculoso. Digiere de ella las partículas vegetales o animales en descomposición y vuelve a la superficie a expulsar por el ano la tierra (Ibid, 2005).

Barbado José (2004), en su libro “Cría de lombrices”, muestra las características de la lombriz Roja Californiana que se exponen a manera de resumen en la figura 2.1. La *Eisenia foetida* tiene el cuerpo alargado, segmentado y con simetría bilateral. Existe una porción más gruesa en el tercio anterior de 5 mm de longitud llamada “*citellium*” cuya función está relacionada con la reproducción, al nacer, las lombrices son blancas, transcurridos 5 o 10 días se vuelven rosadas y a los 120 días ya son adultas de color rojizo en condiciones de aparearse.

FIGURA N° 2. 1

CARACTERÍSTICAS INTERNAS DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA

(EISENIA FOETIDA)



Fuente: Schuldt M, (2006) "Lombricultura: teoría y práctica".

Los principales parámetros que se deben tener en cuenta para la reproducción y crecimiento de la lombriz según Martínez (1999) son los siguientes:

- **Humedad:** Es uno de los factores más importantes para las lombrices, ya que estas no cuentan con un mecanismo de conservación de agua adecuado, por lo que requieren humedad en la pared corporal para realizar su respiración; la humedad también es importante en su sistema locomotor, la falta de humedad reduce el movimiento de la lombriz, lo que afecta directamente la búsqueda de alimento y

repercute en una disminución de la población, puesto que se afecta su reproducción.

Se considera una humedad óptima para *Eisenia foetida* del 70 – 80 %. Si el sustrato está empapado, con una humedad superior al 85% la oxigenación es insuficiente. La falta de aireación, hace que el consumo de alimento se reduzca, y que las lombrices entren en un periodo de latencia, en el que por supuesto no se produce abono, se detienen los apareamiento y aumenta el tiempo de maduración de las cápsulas debido a que el sustrato con una humedad superior al 85% produce apelmazamiento inhibiendo en crecimiento y por ende su migración o muerte (Toccalino, P. Serebrinsky, C. Roux, J. 2004).

Una humedad por debajo de 70% constituye una condición desfavorable. Al estar el sustrato seco, se dificulta el deslizamiento del animal a través del medio, así como la ingestión del alimento (Op. Cit. 1999).

Niveles de humedad, inferiores al 55% o superiores al 95% resultan mortales para las lombrices.

- Temperatura: La temperatura considerada óptima para el desarrollo de las lombrices, oscila entre 18° a 25°C (su temperatura corporales de 19 a 20°C). Cuando la temperatura desciende por debajo de 15°C las lombrices entran en un periodo de latencia, disminuyendo su actividad y su tasa de reproducción (Martínez, P. 1999 & Ortigosa, C. 2007).

Temperaturas por encima de los 35° a 40°C o por debajo de los 4°C le resultan mortales para el animal (Rivas C. 2002).

Las lombrices como la Lombriz Roja de California, *Eisenia foetida*, pueden transformar una gran cantidad de residuos, estando presente sus requerimientos básicos de temperatura los cuales incluyen un rango entre 20°C y 25°C (Edwards, L. & Loefty, M. 1977; Price, K. & Phillips, M. 1990).

- Aireación: La aireación es fundamental para la correcta respiración y el desarrollo de las lombrices. Si no es la adecuada, el consumo de alimento se reduce, además de disminuir el apareamiento y la reproducción debido a la compactación del sustrato. (Barbado J. 2004).
- Luz: La lombriz *Eisenia foetida*, es fotofóbica (huye de la luz del sol), pues los rayos ultravioleta matan a los animales en pocos segundos. Posee unos sensores en la epidermis, que les ayudan a detectar la procedencia de la luz y huir de ella (Martínez, 1999).
Adicionalmente cuando se hace cría de lombriz Roja Californiana, *Eisenia foetida*, en cajones o en recipientes de polietileno, deben cubrirse con una material que evite el paso de la luz para no afectar el animal (Sánchez, E. 1999).
- pH: Los valores óptimos de pH para la cría de lombriz roja californiana *Eisenia foetida* van de 5.5 (pH ácido) a 8.4 (pH alcalino). Siendo el ideal de 6.8 a 7.2. Fuera de esta escala, la lombriz entra en una etapa de latencia. (Toccalino, 2004; Barbado, 2004).

Normalmente los residuos utilizados tienen el pH neutro, aunque residuos como tomates, mostos de uva y residuos domiciliarios pueden tener reacción ácida. Se corrige el tenor llevándolo a la neutralidad con el agregado de cal. (Lombricultura – Una alternativa de producción, ADEX, La Rioja; 2002, p. 29)

c) Reproducción

La lombriz Roja Californiana, *Eisenia foetida*, es hermafrodita, no se autofecunda por tanto es necesaria la cópula, la cual ocurre cada 7 o 10 días. Cada individuo coloca una cápsula (huevo en forma de pera de color amarillento) de unos 2 mm de diámetro, de la cual emergen de 2 a 21 lombrices después de un periodo de incubación de 10 a 16 días (Toccalino, P. Serebrinsky, C. Roux, J. 2004).

ADEX considera que las lombrices se reproducen recíprocamente por fecundación cruzada. Durante el apareamiento se intercambian espermatozoides que no fecundan inmediatamente a los óvulos. Luego de producirse la fecundación, depositan en el lugar donde se alimentan 3 cápsulas de paredes resistentes (llamadas cocones) conteniendo cada una de 3 a 10 lombrices pequeñas. Estas lombrices, que son iguales a las adultas pero de color blanco y más pequeñas, están sometidas a peligros que pueden ser mortales para su delicada textura como: falta de comida, presencia de algún producto tóxico, enemigos naturales etc.

haciendo que disminuya apreciablemente el número inicial, llegando aproximadamente un 50% al estado adulto.¹⁵

d) Densidad poblacional

La lombriz *Eisenia foetida* puede vivir en poblaciones de hasta 50000 lombrices por metro cuadrado y pueden ser criadas en camas de 1 metro de ancho, 40 centímetros de alto y hasta 20 metros de largo. (Fundación de Agricultura y Medio Ambiente; 2008).

“Como medida adicional a tener en cuenta es que la cantidad de material fresco, no debe ser extremadamente grande con relación al número de lombrices. Una población ideal son 50000 lombrices por metro cuadrado.” (HENRÍQUEZ, MORA, ACCS; 2003).

2.2.6. Características favorables del humus de lombriz

La calidad del humus depende del alimento que se haya suministrado a la lombriz durante un año.

En su guía, Fundación Mejor Calidad de Vida menciona que: “es importante tener en cuenta la mezcla y combinación del alimento con diferentes materiales orgánicos para balancear la dieta de la lombriz” (p. 89).

ADEX concluye que una lombriz adulta come diariamente su propio peso, aproximadamente 1 gramo. De aquél valor, el 60% lo excreta como abono y el 40% lo metaboliza para formar tejido y acumular energía. En un año cada lombriz adulta puede generar 1500 individuos. Peso de las 1500

¹⁵ ADEX. Lombricultura – Una alternativa de producción. La Rioja: ADEX. 2002, p.11.

lombrices: 1,5 Kg por lo que consumen 1,5 Kg de alimento diariamente y producen 0,9 Kg de humus (p. 27).

Las características y propiedades del humus de lombriz más generales son:

- Incrementa la flora microbiana y fauna del suelo en los terrenos de cultivo.
- Los elementos nutritivos (N, P, K, Ca, Mg y B), están disponibles para las plantas.
- Favorece la retención de agua en el suelo.
- Mejora las características físicas, químicas y estructurales en el suelo.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) es una dependencia del Poder Ejecutivo Federal de México; dentro de su política de desarrollo sostenible, mejora de la productividad y calidad alimenticia ha establecido fichas técnicas sobre actividades agrícolas, pecuarias y de traspatio en las que se determinan algunos valores medios analíticos del humus de lombriz que son mencionados en la siguiente tabla:

TABLA N° 2. 4

CONTENIDO NUTRIMENTAL DE LAS LOMBRICOMPOSTAS

Valores Analíticos del Humus		
	Unidades	Rango
pH	-	6.8 a 7.2
N	%	1.5 a 3.35
P	ppm	700 a 2500
K	ppm	4400 a 7700
C/N	-	10 a 13
C C	meq /100g	75 a 81
Ca	%	2.8 a 8.7
Mg	ppm	260 a 576
Mn	ppm	0.2 a 0.5
Cu	ppm	85 a 490
Zn	ppm	87 a 404

Fuente: Sistema de Agro negocios de Traspatio, SAGARPA, 2004

2.2.7. Lombricultura con lodos residuales

La aplicación de lodos residuales a suelos agrícolas es una actividad habitual en países desarrollados por razones prácticas y económicas (Barrios, 2006). Los lodos residuales tienen valor fertilizante y mejora también las propiedades físicas de los suelos (Saavedra, 2007). Sin embargo, es necesario caracterizar esos sólidos residuales debido a que

contienen materiales como el arsénico, cadmio, mercurio, materias orgánicas contaminantes y organismos patógenos (Angulo M. 1999).

Muchas de las PTAR solo cuentan con lechos de secado donde se deshidrata el lodo y después es conducido a un tiradero o relleno sanitario, o suelen disponerse a cielo abierto en terrenos aledaños a la planta. La deshidratación de lodos se hace en lechos de secado o planchas de concreto con un medio filtrante de arena y grava en donde se producen lodos de menos de 90% de humedad (Cardoso, 2000).

Desde hace tiempo las lombrices se han convertido en un excelente aliado del hombre para combatir la polución que él mismo produce. Estos silenciosos animales realizan con notable eficiencia de la eliminación de la toxicidad de los residuos orgánicos contaminados por microorganismos patógenos, parásitos e inclusive metales pesados (Laborde, G. 1999). Sin embargo, la calidad que se debe conseguir en la vermicomposta es la de un biosólido o residuo no peligroso además de no exceder los límites máximos de patógenos y parásitos que marca la Normatividad Internacional para su aprovechamiento o disposición final.

En Uruguay el ente sanitario del Estado (OSE) emplea lombrices para rehabilitar el lodo contaminado del alcantarillado y aguas servidas con el objetivo de transformarlo en un producto útil para la agricultura (Ibid. 1999).

La especie que se utiliza en Uruguay para limpiar los lodos contaminados no es oriunda sino introducida, su nombre científico es *Eisenia foetida*,

proviene del Cáucaso y tiene un gran valor biotecnológico. Esta es una especie de lombriz cuyo hábitat no es el suelo, sino los desechos orgánicos: originariamente se desarrolla en el sustrato en el que se descomponen residuos de los bosques. “Lo interesante es cómo esta lombriz, que vive en tierra fresca, es capaz de crecer y reproducirse en un medio donde hay una presión tóxica tan fuerte. En estos barros crecen organismos inferiores, como bacterias u hongos, pero no proliferan aquellos organismos que se sitúan en niveles más altos de la escala zoológica. No crece nada, excepto estas lombrices (Fesur, P. 2005).

Es importante evaluar la calidad del material obtenido después de aplicar el proceso de lombricultura, basándose en criterios físicos (olor, tamaño del grano y presencal del material extraño), análisis químicos (fósforo, nitrógeno orgánico, relación C/N, materia orgánica, metales pesados y micronutrientes). También es importante realizar análisis bacteriológicos (Coliformes Fecales) hechos en laboratorios estandarizados (Op. Cit. 2005).

2.3. Definición de términos

Biosólido: Los biosólidos son residuos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos que resultan del tratamiento de las aguas residuales procesadas.

Centrífuga: Fuerza que tiende a alejar del eje alrededor del cual gira.

- Coliformes:** Se designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.
- Compost:** Fertilizante compuesto de residuos orgánicos.
- Desertificación:** La degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas.
- Digestión aerobia:** La digestión aerobia es el proceso donde se usan los residuos orgánicos como sustrato, para el crecimiento de las bacterias que se desarrollan en presencia de oxígeno, con el fin de estabilizar los residuos y reducir su volumen.
- Digestión anaerobia:** Es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno.
- Encharcamiento:** Formación de charcos.
- Enmiendas:** La enmienda es el aporte de un producto fertilizante o de materiales destinados a mejorar la calidad de los suelos.
- Estrato:** Masa de sedimentos, de espesor más o menos uniforme y escaso, extendida en sentido horizontal y separada de otras por capas paralelas

- Fertilizante:** Sustancia que mejora la calidad de la tierra y facilita el crecimiento de las plantas.
- Fitosanitario:** De la prevención y curación de las enfermedades de las plantas o relacionado con ello.
- Inoculación:** Es ubicar algo que crecerá y se reproducirá
- Lombricultura:** Es una biotecnología que utiliza, a una especie domesticada de lombriz, como una herramienta de trabajo, recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus, carne y harina de lombriz.
- pH:** Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa, "el pH neutro es 7: si el número es mayor, la solución, es básica, y si es menor, es ácida"
- Permeabilidad:** La facilidad con la cual los gases, líquidos o raíces de las plantas penetran o pasan a través de una masa o capa de suelo.
- Termófilas:** Organismo que requiere temperaturas elevadas para su desarrollo.

CAPÍTULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de investigación

3.1.1. Variable independiente:

La aplicación de la lombricultura.

Definición de la variable:

Según RICHARD ALEXANDER ALARCÓN ALVAREZ. Manual de lombricultura de la **Universidad de Santander facultad de Ingeniería Ambiental**, Colombia. La lombricultura es una biotecnología que utiliza, a una especie domesticada de lombriz, como una herramienta de trabajo, recicla todo tipo de materia orgánica y obtiene como producto: el humus.

3.1.2. Variable dependiente:

La calidad del abono orgánico a partir de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.

Definición de la variable:

Es el conjunto de propiedades físicas y químicas más relevantes de un abono orgánico, que permiten diferenciarlas del resto; a partir del uso de los lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales.

3.2. Operacionalización de variables

3.2.1. Variable independiente:

La aplicación de la lombricultura

Definición operacional:

Se expresará mediante dos indicadores: se observará el cambio en la transformación de los lodos en abonos orgánicos según algunas propiedades físicas (por el color que deberá asemejarse al café oscuro y por el pH) y según la presencia de lombrices en el rango de poco, moderado y abundante de acuerdo a la comparación de estos indicadores, con resultados de investigaciones anteriores. Para la medición de estos indicadores se usaran diferentes procedimientos metodológicos, como: comparación de colores con la tabla Munsell 10 YR 2/1 que es el color característico del humus, también el conteo de lombrices en cada una de las camas y medición del pH con tiras de papel pH.

3.2.2. Variable dependiente:

La calidad del abono orgánico a partir de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.

Definición operacional:

Se expresará mediante los indicadores físicos y químicos: Ph, C.E (dS/m), M.O (%), N (%), P₂O₅ (%), K₂O (%), CaO (%), MgO (%), Hd (%), Na (%) y serán comparados estándares internacionales y resultados de investigaciones anteriores y con las características del lodo residual propiamente dicho. Para la medición de estos indicadores se usaran análisis de laboratorio.

CUADRO N° 3. 1

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	SUBDIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE La aplicación de la lombricultura.	M1: 100% de lodo residual	Características	Color pH
		Presencia de lombrices	Cantidad
	M2: 50% Lodo residual + 50% compost.	Características	Color pH
		Presencia de lombrices	Cantidad
	M3: 50% Lodo residual + 50% estiércol de conejo.	Características	Color pH
		Presencia de lombrices	Cantidad
	M4: 50% Lodo residual + 25% compost + 25% estiércol de conejo	Características	Color pH
		Presencia de lombrices	Cantidad
DEPENDIENTE Calidad del abono orgánico a partir de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.	Humus de lombriz.	Propiedades físico químicas	pH C.E (dS/m) M.O (%) N (%) P ₂ O ₅ (%) K ₂ O (%) CaO (%) MgO (%) Hd (%) Na (%)

Fuente: Elaboración propia

3.3. Hipótesis general e hipótesis específicas

3.3.1. Hipótesis general

Ho La aplicación de la lombricultura con "*Eisenia foetida*" influirá significativamente en la calidad del abono orgánico obtenido a partir de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.

3.3.2. Hipótesis específicas

H₁ La aplicación de distintos sustratos definirá el ecosistema óptimo para el desarrollo de la lombriz "*Eisenia foetida*"

H₂ El análisis a nivel de laboratorio determinará el aumento en la calidad del abono orgánico luego del tratamiento por lombricultivo.

H₃ La comparación de los resultados de laboratorio con estándares internacionales y análisis de otras investigaciones similares definirá la calidad del abono obtenido.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada.

Para CARRASCO DÍAS S. **Metodología de la Investigación Científica**. Pág. (43, 44). Perú. Editorial San Marcos. Segunda reimpresión 2009, esta investigación se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, la investigación que se realizó cumple con las características de una investigación aplicada ya que se transformó los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo en abono orgánico usando como tecnología la lombricultura.

4.2. Diseño de la investigación

4.2.1. Enfoque cuantitativo.

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (4) México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012. Es secuencial y probatorio, se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis.

El nivel de la investigación es de tipo descriptiva - explicativa.

4.2.2. Investigación de nivel descriptivo

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (80, 81) México, Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012. Los **estudios descriptivos** buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.

Según lo descrito anteriormente en el presente estudio de investigación se especifican los parámetros (pH, color, cantidad de lombrices/mes y análisis de macronutrientes) que determinan que el abono orgánico es de buena calidad, las cuales fueron medidas con instrumentos de observación, instrumentos mecánicos y análisis de laboratorio. También se recogió información de otras investigaciones y estándares internacionales para hacer la comparación de los parámetros especificados, mas no se indica cómo se relacionan éstas.

4.2.3. Investigación de nivel explicativo

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (83, 84) México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012. Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es

decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables.

Según lo descrito anteriormente en el presente estudio se estableció las causas y efectos que sufrieron los lodos residuales al ser expuesto al estímulo experimental durante todo el proceso de la investigación, así como también los sucesos fenómenos que ocurrieron durante el proceso de lombricultivo.

4.2.4. El diseño es de tipo cuasiexperimental

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (16, 17) México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012. La investigación cuantitativa ofrece la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, nos otorga control sobre los fenómenos, así como un punto de vista de conteo y las magnitudes de éstos. Asimismo, nos brinda una gran posibilidad de réplica y un enfoque sobre puntos específicos de tales fenómenos, además de que facilita la comparación entre estudios similares.

Para CARRASCO DÍAS S. **Metodología de la Investigación Científica**. Pág. (70) Perú. Editorial San Marcos. Segunda reimpresión 2009. El diseño de investigación es de tipo cuasiexperimental, ya que no se asignará al azar los sujetos que forman parte del grupo de control y experimental, ni serán emparejados, puesto que los grupos de trabajo ya están formados; es decir, ya

existen previamente al experimento. Un tipo de diseño cuasiexperimental es el “Diseño con postprueba únicamente y grupos intactos”.

Según CARRASCO DÍAS S. **Metodología de la Investigación Científica**. Pág. (70, 71) Perú. Editorial San Marcos. Segunda reimpresión 2009. El Diseño con postprueba únicamente y grupos intactos, presenta dos grupos: uno recibe el estímulo experimental y el otro no. La postprueba se administra con el propósito de medir los efectos de la variable independiente sobre la dependiente.

El diseño que hemos aplicado para desarrollar el proyecto de investigación, está orientado al estudio y análisis de la relación de causalidad entre las variables, que son materia de nuestra investigación.

El diseño cuenta con postprueba únicamente y grupos intactos. Este diseño presenta cinco grupos: (G, G₁, G₂, G₃, G₄) cuatro reciben el estímulo experimental y el otro no. La postprueba se administró con el propósito de medir los efectos de la variable independiente sobre la dependiente.

Esquema:

G	-	O
G ₁	X	O ₁
G ₂	X	O ₂
G ₃	X	O ₃
G ₄	X	O ₄

G: Está definido como un 1Kg de lodos residuales antes de recibir el estímulo o mezcla a la cual se le hizo la caracterización de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos.

G₁: Está definido como los lodos residuales antes de recibir estímulo o tratamiento.

G₂: Está definido como la mezcla de los lodos residuales más compost como sustrato, antes de recibir el estímulo o tratamiento.

G₃: Está definido como la mezcla de los lodos residuales más estiércol de conejo como sustrato, antes de recibir el estímulo o tratamiento.

G₄: Está definido como la mezcla de los lodos residuales más compost y estiércol de conejo como sustratos, antes de recibir el estímulo o tratamiento.

X: Tratamiento o estímulo denominado lombricultivo de lombrices "*Eisenia foetida*".

O₁: Medición de los parámetros físicos y químicos del grupo G₁ después del estímulo o tratamiento.

O₂: Medición de los parámetros físicos y químicos del grupo G₂ después del estímulo o tratamiento.

O₃: Medición de los parámetros físicos y químicos del grupo G₃ después del estímulo o tratamiento.

O₄: Medición de los parámetros físicos y químicos del grupo G₄ después del estímulo o tratamiento.

O: Medición de los parámetros físicos y químicos del grupo que no recibió ningún estímulo o tratamiento (caracterización).

- : Ausencia del estímulo o tratamiento en los lodos residuales.

4.2.5. Diseños longitudinales panel.

Para HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (160, 161) México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012. Los **diseños panel** son aquellos que analizan cambios a través del tiempo (en categorías, conceptos, variables o sus relaciones), donde los mismos participantes son medidos u observados en todos los tiempos o momentos.

Según lo descritos anteriormente en la presente investigación se observaron y analizaron los cambios en las mezclas (m_1, m_2, m_3, m_4) en todos los tiempos o momentos.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo (SEDAPAL), distrito de Lurigancho, Provincia de Lima, Departamento de Lima. Los análisis de características físicas y químicas se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía en la Universidad Nacional Agraria La Molina.

4.3.2. Condiciones climáticas del área de estudio

Las condiciones climáticas existentes en el área de estudio, han sido estimadas en función de los datos observados en la Estación Meteorológica de Ñaña, por ser la estación meteorológica más cercana a nuestra área de estudio.

Las precipitaciones que generalmente se dan en la zona de estudio son las de tipo lloviznas con partículas de agua cuyo diámetro es menor de 0.5 mm. y tienen una distribución bastante uniforme y próxima. Por debajo de los 800 msnm, es común que la precipitación pluvial de la zona sea escasa o nula, por corresponder a un área desértica y árida.

El promedio de temperatura es mayor en época de verano, siendo su valor más alto en Febrero (23.2°C), en Chosica y el menor valor en invierno, correspondiendo el más bajo al mes Julio (14.1°C) en la estación de Atocongo.

En la región de la costa donde se ubica la zona esta a baja altitud, esto es ocasionado por la presencia de microclimas, que son productos del efecto de neblinas presentando una evaporación baja.

Los vientos son provenientes en forma predominante del sur, con velocidades promedio de 13.6 km/h en HIPÓLITO UNANUE, de 11,9 km/h en LIMATAMBO, por lo que se puede resumir que los vientos predominantes son suaves y proceden del sur y sur oeste.

4.3.3. Delimitación de la investigación

4.3.3.1. Delimitación temporal

El desarrollo de la presente investigación abarcó el periodo comprendido entre los años 2014 al 2016

4.3.3.2. Delimitación Tecnológica

Se llevará a efecto a nivel de lodos residuales, libres de aditivos, provenientes de los lechos de secados, mas no de los lodos residuales provenientes del proceso de centrifugación, ya que estos contienen aditivos que influenciarían directamente al proceso de lombricultura.

4.3.4. Población

La población en estudio estará constituida por 11.07 toneladas de lodos residuales de la PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO producidos en el mes de noviembre del año 2014.

a. Criterios de inclusión

- Lodos deshidratados provenientes del lecho de secado.
- Lodos deshidratados expuestos en el lecho de secado por un periodo de 30 a 45 días.

b. Criterios de exclusión

- Lodos deshidratados provenientes del proceso de centrifugación.
- Lodos deshidratados expuestos a un tiempo menor a 30 días o mayor a 45 días.

La PTAR San Antonio de Carapongo es de tratamiento de lodos activados secundario y de tipo aeración prolongada.

OROPEZA GARCÍA NORMA. **Lodos residuales: estabilización y manejo**. pág. (61, 62) 2006. El tratamiento de las aguas residuales municipales, tiene como objetivo remover los contaminantes presentes con el fin de hacerlas aptas para otros usos o bien para evitar daños al ambiente. Sin embargo, el tratamiento del agua trae siempre como consecuencia la formación de lodos residuales, sub productos indeseables difíciles de tratar y que implican un costo extra en su manejo y disposición.

Los contaminantes contenidos en las aguas residuales pasan a las plantas de tratamiento donde se eliminan en gran medida por la absorción en el lodo producto de un tratamiento fisicoquímico o biológico. El lodo resultante de estos procesos debe someterse a un análisis para determinar sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad y biológico-infecciosas (análisis CRETIB), lo que permitirá precisar si el lodo es considerado como un residuo peligroso o como un residuo no peligroso (NOM052-ECOL-1993) y con base en esto, plantear las alternativas para el manejo y disposición del mismo (ver anexo 2). La composición de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales domésticas se muestra en la tabla 4.1, observándose que sus características varían en función del proceso que da origen a los lodos.

TABLA N° 4. 1

CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN

Parámetro	Lodos primarios	Lodos secundarios (mezcla)	Lodos digeridos
pH	5.5-6.5	6.5-7.5	6.8-7-6
Contenido de agua (%)	92-96	97.5-98	94-97
SSV (% ss)	70-80	80-90	55-65
Grasas (% ss)	12-14	3-5	4-12
Proteínas (% ss)	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos (% ss)	8-10	6-8	5-8
Nitrógeno (% ss)	2-5	1-6	3-7
Fosforo (% ss)	0.5-1.5	1.5-2.5	0.5-1.5
Bacterias patógenas (NMP/100 ml)	10 ³ -10 ⁵	100-1000	10-100
Metales pesados (% ss) (Zn, Cu, Pb)	0.2-2	0.2-2	0.2-2

Fuente: Hernández M. A, 1992. SSV: Sólidos Suspending Volátiles, NMP: Número Más Probable, SS: Sólidos Suspending.

Por lo tanto al conocer los parámetros de diseño y que la PTAR cuenta con un sistema automatizado, se comprueba que las muestras a tomarse siguiendo los criterios de inclusión y exclusión, vendrían a ser homogéneas ya que estarían dentro de los rangos de diseño preestablecidos.

4.3.5. Muestra

Método

- Método no probabilístico.

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (396). México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012. Los tipos de muestras que suelen utilizarse en las investigaciones son las *no probabilísticas* o *dirigidas*, cuya finalidad no es la generalización en términos de probabilidad. También se les conoce como “guiadas

por uno o varios propósitos”, pues la elección de los elementos depende de razones relacionadas con las características de la investigación. Veamos estas clases de muestras, pero cabe destacar que *no son privativas de los estudios cualitativos*, también llegan a utilizarse en investigaciones cuantitativas, pero se asocian más con los primeros.

Método de selección.

➤ Muestras homogéneas.

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (398). México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012. En éstas muestras las unidades a seleccionar poseen un mismo perfil o características, o bien, comparten rasgos similares. Su propósito es centrarse en el tema a investigar o resaltar situaciones, procesos o episodios en un grupo social.

Según lo descrito anteriormente el muestreo de la siguiente investigación es de tipo muestreo homogéneo ya que la población está constituida por 11.07 toneladas de lodos residuales con características y rasgos similares.

La muestra de la presente investigación

➤ Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra de lodos residuales no está supeditado a la población si no a la proporción con el sustrato a utilizarse, en este

caso son 250 Kg de lodos homogéneos que fueron distribuidos en cuatro porciones que irán a las camas experimentales de la siguiente manera:

M1: 100 Kg. de lodo

M2: 50 Kg. de lodo

M3: 50 Kg. de lodo

M4: 50 Kg. de lodo

Al ser muestras homogéneas, estas muestras se obtuvieron de una parte del lecho de secado ya que todo los lodos residuales que están dentro del lecho de secado tienen características iguales o similares, es por eso que se puede tomar la muestra en cualquier punto del lecho de secado.

➤ Detalle de la metodología.

En la presente investigación se diseñaron e instalaron cuatro camas experimentales que sirvieron para medir los indicadores tanto de la variable independiente como de la variable dependiente, las mezclas que se dieron en cada cama se detallan a continuación:

Camas 1.

Mezcla 1 (lodo residual + lombriz), que de ahora en adelante será llamado “m₁”.

Camas 2.

Mezcla 2 (lodo residual +compost + lombriz), que de ahora en adelante será llamado “m₂”.

Cama 3.

Mezcla 3 (lodo residual + estiércol de conejo + lombriz), que de ahora adelante será llamado “m₃”.

Cama 4.

Mezcla 4 (lodo residual + compost + estiércol de conejo + lombriz), que de ahora adelante será llamado “m₄”.

TABLA N° 4. 2

TABLA DE MEZCLAS

	Lodo residual	Lombriz	Compost	Estiércol de conejo
m ₁	100 Kg	½ Kg	-	-
m ₂	50 Kg	½ Kg	50 Kg	-
m ₃	50 Kg	½ Kg	-	50 Kg
m ₄	50 Kg	½ Kg	25 Kg	25 Kg

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar se parte del hecho que se transformó los lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo en abono orgánico, usando como tecnología la lombricultura.

El alcance de la presente investigación especifica los parámetros (pH, color, cantidad de lombrices/mes y análisis de macronutrientes) que determinan al abono orgánico como de buena calidad; dichos parámetros fueron medidos con instrumentos de observación, instrumentos mecánicos y análisis de laboratorio. También se recogió información de otras investigaciones y estándares internacionales para hacer la comparación de los parámetros especificados, mas no de indicar cómo se relacionan éstas.

En segundo lugar se realizaron las mediciones de los parámetros ya mencionados y se obtuvo que la m₃ (lodo residual + estiércol de conejo + lombriz) logró los resultados esperados, por lo que fue seleccionada para hacer el análisis de macro nutrientes; de igual manera se comparó los parámetros obtenidos con estándares internacionales y otras investigaciones, definiendo así que el abono orgánico obtenido es de buena calidad.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para el CENTRO DE INVESTIGACIÓN UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, 2013. **Proyecto de Tesis**. Pág. 69, disponible en:

http://www.academia.edu/6870973/PROYECTO_DE_TESIS. Consultada el 18 de agosto de 2016.

➤ Técnica

Es el procedimiento por el cual el investigador obtiene la información requerida de una realidad o fenómeno en función de los objetivos del estudio. Las técnicas varían y se seleccionan considerando el enfoque de investigación que se emplee (cuantitativo o cualitativo). La realidad presenta toda una vasta gama de datos y que también pueden aplicarse diversidad de técnicas para su conocimiento.

➤ Instrumento

Es la herramienta específica o recursos que emplea el investigador en el proceso de recopilación de datos que servirán para la investigación. Los instrumentos se seleccionan a partir de la técnica previamente elegida.

4.4.1. Descripción de las técnicas

Las técnicas y/o instrumentos que se han utilizado en nuestra investigación son:

A. Técnica de Observación:

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (260, 261). México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012. Este método de recolección de datos consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías.

Se ha utilizado esta técnica para obtener información a través de la visualización del color y la presencia de lombrices, esta técnica se utilizó para la variable independiente.

Descripción de Instrumentos.

- Instrumento Registros de observación: se utilizó este instrumento para observar y registrar los parámetros físicos durante el proceso de lombricultivo, los datos tomados se realizaron mensualmente para presencia de lombrices y color.
- Instrumentos Notas: se utilizó este instrumento para observar anomalías puntuales durante el proceso de lombricultivo y así poder determinar las causas que las ocasionaban.
- Instrumento Inventario: se utilizó este instrumento para obtener información de carácter fotográfico para reportar el proceso del lombricultivo.

B. Técnica de observación asistida técnicamente:

Se ha utilizado esta técnica para obtener información a través de mediciones ya sea in situ o de laboratorio, esta técnica fue utilizada tanto para la variable dependiente o independiente.

Descripción de instrumentos

- Instrumentos mecánicos: Se utilizaron para obtener datos in situ del pH, las cuales fueron medidas semanalmente hasta que termine el proceso de lombricultivo, los instrumentos utilizados fueron un vaso precipitado y las tiras de papel pH para medir el pH. Estos instrumentos se utilizaron para la variable independiente.
- Instrumentos electrónicos: Se utilizaron en el LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES de la facultad de AGRONOMÍA de la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA la cual se realizó al culminar el proceso de lombricultivo. Estos instrumentos se utilizaron para la variable dependiente.

C. Técnica de recolección de datos secundarios (recolectados por otros investigadores)

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (261, 262) México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012. Los datos secundarios implica la revisión de documentos, registros públicos y archivos físicos o electrónicos. También obtendríamos información de los

archivos de los hospitales y las diferentes procuradurías o cuerpos policíacos.

Esta técnica se utilizó para comparar la calidad de abono orgánico con otras investigaciones. También para observar si la muestra cumplía los estándares internacionales para biosólidos y determinar si se puede tratar como abono orgánico o transportarlo a un relleno sanitario.

Descripción de instrumentos:

➤ Informe de Ensayo N° LE1412001656: Este instrumento es un análisis de parámetros microbiológicos y físico químicos realizado a los lodos deshidratados de la PTAR San Antonio de Carapongo elaborado por la empresa TECNOLOGÍAS ECOLÓGICAS PRISMA S.A.C

➤ 40 CFR part 503 Sewage Sludge Annual Report Review Guide:

- El número 40 se refiere al “título 40” que se describe a continuación:

Título 40: Protección del Medio Ambiente es la sección del MCR que se ocupa de proteger la salud humana y el medio ambiente de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

- Las siglas MCR se refiera a:

Material de Referencia Certificado.

- Las siglas CFR se refiera a:

Código de Regulaciones Federales

- La parte 503 se refiere a:

Guía del informe de revisión sobre lodos de depuradora anual.

Este instrumento se utilizó para hacer la comparación del Informe de Ensayo N° LE1412001656 y ver si los parámetros están dentro de los estándares internacionales.

- Resultado de laboratorio de la tesis 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: Este instrumento se utilizó para comparar la calidad del abono orgánico obtenido en la presente investigación y así poder demostrar que es un abono de buena calidad.
- Valores analíticos del Humus, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) es una dependencia del Poder Ejecutivo Federal de México: Este instrumento se utilizó para ser comparado con el Análisis de humus de lombriz obtenida de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongó por LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES de la facultad de AGRONOMÍA de la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA y así poder determinar si el abono orgánico producido en la PTAR San Antonio de Carapongó cumple con los rangos de estándares internacionales de abonos orgánicos.

CUADRO N° 4. 1

RESUMEN DE TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Técnica	Instrumentos
Técnica Observación.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registros de observación <li style="padding-left: 20px;">Conteo de lombrices / mes <li style="padding-left: 20px;">Tabla Munsell: 10YR ➤ Notas ➤ Inventario fotográfico
Técnica de observación asistida técnicamente:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instrumentos mecánicos <li style="padding-left: 20px;">Tiras de papel pH para medir pH ➤ Instrumentos electrónicos <li style="padding-left: 20px;">Análisis de humus de lombriz obtenida de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo por LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES de la facultad de AGRONOMÍA de la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Técnica de recolección de datos secundarios (recolectados por otros investigadores)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informe de Ensayo N° LE1412001656. ➤ 40 CFR part 503 Sewage Sludge Annual Report Review Guide USEPA. ➤ Resultado de laboratorio de la tesis 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. ➤ Valores analíticos del Humus, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) es una dependencia del Poder Ejecutivo Federal de México.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Validación y confiabilidad del instrumento

Los instrumentos de investigación fueron validados por los siguientes expertos: Ing. Baca Rueda Miguel Ricardo y el Blgo. Tome Ramos Carlos (Ver Anexo N° 5).

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (200, 201) México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012.

La confiabilidad, de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales.

La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir.

➤ Registros de observaciones:

✓ Confiabilidad

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. **Metodología de la Investigación**, pág. (301) México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012.

Medida de estabilidad (confiabilidad por *test-retest*). En este procedimiento un mismo instrumento de medición se aplica dos o más veces a un mismo grupo de personas, después de cierto periodo. Si la correlación entre los resultados de las diferentes aplicaciones es altamente positiva, el instrumento se considera confiable.

Este instrumento se utilizó para registrar el conteo de lombrices "*Eisenia foetida*". El conteo se realizó, con tres repeticiones por cada muestra una vez cada mes hasta terminar el proceso.

✓ Validez

Según HERNÁNDEZ SAMPIERI y otros. Metodología de la Investigación, pág. (201) México. Editorial Mc Grawe Hill Interamericana de México S.A. Quinta edición. 2012.

Evidencia relacionada con el contenido. Se refiere al grado en que un instrumento refleja un dominio específico de contenido de lo que se mide.

Según lo mencionado anteriormente, este instrumento se creó especialmente para registrar la cantidad de lombrices que había en cada una de las camas muestrales durante el proceso de lombricultivo, por lo tanto el dominio es único y específico.

➤ Notas

Confiabilidad y validez

Este instrumento fue utilizado para anotar las anomalías que ocurrió en todo el proceso de lombricultivo, por lo tanto las anotaciones son confiables y válidas para poder sustentar datos anómalos en las toma de mediciones durante el tiempo que dura la investigación.

➤ Registro

Confiabilidad y validez.

Este instrumento fue utilizado para documentar mediante imágenes (fotografías), la instalación, mediciones y el proceso de lombricultivo (planta piloto), por lo tanto los registros fotográficos son confiables y válidos para poder sustentar gráficamente si realmente se llevó a cabo la instalación, medición y el proceso de lombricultivo.

➤ Instrumentos mecánicos

Tiras de papel pH, para medir el pH.

Confiabilidad.

Se hizo una prueba control con tres repeticiones en un vaso precipitado de 500 ml que contenía 300 ml de agua destilada. Se procedió a ingresar el tiras de papel pH, a continuación se comparó con el envase para ver el rango de acidez del papel de muestra, en los tres casos se obtuvo un pH igual a 7.

Medida de estabilidad (confiabilidad por *test-retest*). Las muestras obtenidas se sacaban de las cuatro esquinas y el centro de la cama experimental, luego se mezclaban en un vaso precipitado de 500 ml, con una muestra de 20 gr y 200 ml de agua destilada. Se hacía dos muestras por cama experimentan y con una frecuencia de cuatro veces por semana.

Validez.

Evidencia relacionada con el contenido. El instrumento midió adecuadamente el parámetro de estudio “pH”, el instrumento es exclusivo para la medición del parámetro pH.

➤ Instrumentos electrónicos

Análisis de humus de lombriz obtenida de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo por LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES de la facultad de AGRONOMÍA de la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.

Confiabilidad y validez.

Este instrumento es confiable y válido para demostrar los parámetros fisicoquímicos que posee el humus abono orgánico obtenido de los lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.

➤ Informe de Ensayo N° LE1412001656.

Confiabilidad y validez.

Este ensayo fue realizado a los Lodos Deshidratados de la PTAR San Antonio de Carapongo por la empresa Tecnologías Ecológicas Prisma. La que hace confiable y válido contar con este informe de ensayo para demostrar los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos que poseen los lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.

- 40 CFR part 503 Sewage Sludge Annual Report Review Guide.

Confiabilidad y validez.

Guía del informe de revisión sobre lodos de depuradora anual esta es una norma internacional, incluye la concentración de cada contaminante que aparece en el lecho de las concentraciones de los lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas domésticas, por lo tanto es confiable y valido para demostrar que los lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo cumplen con los estándares internacionales.

- Resultado de laboratorio de lodos residuales de la tesis 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.

Confiabilidad y validez

Estos resultados son los parámetros fisicoquímicos del abono orgánico obtenidos de los lodos residuales de la PTAR de la empresa “COMESTIBLE LA ROSA”, por lo tanto es confiable y valido hacer una comparación con los parámetros del abono orgánico obtenidos por lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo y determinar cual tiene mejor calidad.

- Valores analíticos del Humus, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) es una dependencia del Poder Ejecutivo Federal de México.

Confiabilidad y validez

Estos rangos son confiables porque fue realizada por una institución muy seria como es una Secretaría en el estado mexicano y válido porque fue revisado por los expertos.

4.5. Procedimiento de recolección de datos.

4.5.1. Observación

Registros de observación:

A. Presencia de lombrices.

Se procedió a medir el cernidor el cual sirvió para tomar las muestras, tiene las siguientes dimensiones: 30 cm por 30 cm y 4 cm de altura, luego se realizó el conteo con tres repeticiones por cada cama, las muestras para conteo se realizó en el volteo (oxigenación) de las camas, las muestras se tomaron en la zona donde se observaba mayor cantidad de lombrices. Se procedió a hacer una ficha para registrar los datos obtenidos, con las siguientes escalas: Poco (P), Moderado (M), Abundante (A); estas escalas se dieron según la cantidad de lombrices que fueron contadas dándole un valor de abundante al conteo que tenga la mayor cantidad de lombrices, poco al conteo que tuvo la menor cantidad de lombrices y moderado al conteo que este entre los dos conteos anteriores. Los conteos para registrar la presencia de lombrices se efectuó cada mes, requiriendo un tiempo de 1

hora por cada cama, en total se requirió 4 horas por el conteo de las 4 camas.

Se utilizó las escalas para facilitar el registro de la cantidad de lombrices, también se tuvo en cuenta la observación de los investigadores en el volteo de las camas para determinar la escala del indicador, en la siguiente tabla podemos observar el registro de la población de lombrices para todo el proceso del lombricultivo, esto se observa en la tabla 4.3 y 4.4.

TABLA N° 4. 3

PROMEDIO DE CONTEO DE LOMBRICES

Mezclas	m1 (lodo residual + lombriz)	m2 (lodo residual + compost + lombriz)	m3 (lodo residual + estiércol de conejo + lombriz)	m4 (lodo residual + compost + estiércol de conejo + lombriz)
MES 1	131	9	163	156
MES 2	143	57	314	228
MES 3	82	163	407	285
MES 4	39	284	517	452

Fuente: Elaboración propia

Con el promedio del conteo de lombrices se hizo una tabla de porcentajes por mes, para poder comparar el crecimiento o disminución de la población de lombrices y así poder verificar cual ecosistema es el más óptimo para la crianza de lombrices.

TABLA N° 4. 4

REGISTROS PARA LA PRESENCIA DE LOMBRICES

MES 1	ACTIVIDAD	TIEMPO REQUERIDO	CAMA 1 (LODO SOLO)			CAMA 2 (LODO + COMPOST)			CAMA 3 (LODO + ESTIÉRCOL)			CAMA 4 (LODO + COMPOST ESTIÉRCOL)				
			P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A		
MES 2	PRESENCIA DE LOMBRICES	4 horas	-	-	80%	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	96%
MES 3	PRESENCIA DE LOMBRICES	4 horas	-	45.5%	-	-	18.2%	-	-	-	100%	-	-	-	-	72.7%
MES 4	PRESENCIA DE LOMBRICES	4 horas	20%	-	-	-	-	40%	-	-	100%	-	-	70%	-	-
MES 4	PRESENCIA DE LOMBRICES	4 horas	7.5%	-	-	-	-	55%	-	-	100%	-	-	-	-	87.5%

Leyenda:

P: Poco (0 – 30%)

M: Moderado (31 – 70%)

A: Abundante (71 – 100%)

Fuente: Elaboración propia

B. Color.

Para el indicador del color se observaron los cambios de color que tenían las camas con el tiempo y se utilizó el Sistema Munsell que describe todos los posibles colores en términos de tres coordenadas: matiz (Hue) que mide la composición cromática de la luz que alcanza el ojo; claridad (Value), el cual indica la luminosidad u oscuridad de un color con relación a una escala de gris neutro; y pureza (Chroma), que indica el grado de saturación del gris neutro por el color del espectro. La interpretación del color del humus se asocia a la incorporación de materia orgánica que se descompone y da la coloración negra. Este color ha sido asociado con niveles altos de materia orgánica, condiciones de buena fertilidad, en especial presencia de cationes tales como el Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , para esta medición se utilizó la tabla Munsell 10 YR (ver anexo 6) en el cual se encuentra el color característico del humus 10YR 2/1, lo que se busco es tener tonalidades cercana al 10 YR 2/1 y se diseñó una tabla de intensidades y se dio escala de bajo (10 YR 6/1, 5/2, 5/1), medio (10YR 4/2, 3/2, 4/1) e intenso (10 YR 3/1, 2/2, 2/1), se sacaron muestras de cada cama y se comparó con la tabla 10YR de Munsell y se procedió a llenar la ficha de observaciones. También se ejecutaban una vez al mes cuando se realizaba el volteo (oxigenación) de las camas con un tiempo requerido de 30 minutos para las 4 camas.

TABLA N° 4. 5

FICHA DE REGISTRO DE COLORES

ACTIVIDAD	TIEMPO REQUERIDO	CAMA 1 (LODO SOLO)						CAMA 2 (LODO + COMPOST)						CAMA 3 (LODO + ESTIERCOL DE CONEJO)						CAMA 4 (LODO + COMPOST + ESTIERCOL DE CONEJO)					
		10YR MUNSELL (COLOR)			10YR MUNSELL (COLOR)			10YR MUNSELL (COLOR)			10YR MUNSELL (COLOR)			10YR MUNSELL (COLOR)			10YR MUNSELL (COLOR)			10YR MUNSELL (COLOR)			10YR MUNSELL (COLOR)		
MES 1		BAJO	MEDIO	INTENSO	BAJO	MEDIO	INTENSO	BAJO	MEDIO	INTENSO	BAJO	MEDIO	INTENSO	BAJO	MEDIO	INTENSO	BAJO	MEDIO	INTENSO	BAJO	MEDIO	INTENSO	BAJO	MEDIO	INTENSO
INTERPRETACIÓN DEL COLOR	5 minutos	5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1	
MES 2																									
INTERPRETACIÓN DEL COLOR	5 minutos	5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1	
MES 3																									
INTERPRETACIÓN DEL COLOR	5 minutos	5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1	
MES 4																									
INTERPRETACIÓN DEL COLOR	5 minutos	5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1	
MES 5																									
INTERPRETACIÓN DEL COLOR	5 minutos	5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1		5 / / 1	4 / / 2	3 / / 1	2 / / 2	1 / / 1	

Fuente: Elaboración propia. Bajo (10 YR 6/1, 5/2, 5/1) Medio (10YR 4/2, 3/2, 4/1) Intenso (10 YR 3/1, 2/2, 2/1)

C. Notas.

Las notas se utilizaron en cada toma de medidas de temperatura, pH, humedad, volteo (oxigenación), conteo de lombrices, para reportar anomalías en el proceso de lombricultivo. En todo el proceso se tuvo dos anomalías bien marcadas que serán explicadas a continuación:

En la toma de temperatura de la cuarta semana se observó un incremento anómalo de 45.6 °C en la cama de lodo + compostaje (cama 2), lo que diezmó la población de lombrices en esa cama.

En el tercer mes se observó en la cama de lodo solo (cama 1) una compactación de los lodos lo que impedía hacer el volteo (oxigenación), cuando se procedió hacer el volteo los lodos se presentaban en forma de terrones bien compactados.

D. Inventario:

Se procedió a hacer un inventario fotográfico en todo el proceso de investigación, reportando cada una de las actividades que se realizaron dentro de ella. Esto fue para llevar una secuencia detallada del proceso y tener registro fotográfico para que demuestren que las actividades y los datos obtenidos son reales. También se utilizó para registrar los cambios ocurridos en las distintas camas experimentales.

4.5.2. Técnica de observación asistida técnicamente:

A. Instrumentos mecánicos:

Se procedió hacer la medición del pH, los instrumentos utilizados fueron vaso precipitado y tiras de papel pH.

Según (KARMA A, 1993), debido a que el pH del suelo es medido en una matriz acuosa como agua o una solución de sales diluidas, es dependiente del grado de dilución (relación suelo-dilución). Los suelos con alta cantidad de materia orgánica tienden a formar una gruesa pasta seca, por lo que una relación menor de muestra en agua puede ser aceptable (1:5 o 1:10). Por lo que se utilizó la relación de 1:10, para el muestreo del pH.

Se procedió a sacar una muestra de 20 gramos la cual se vertió en un vaso precipitado de 500 ml y se le agrego 200 ml de agua destilada, luego se introdujo la tira de papel pH, se observó las tonalidades que indica en la tira y se compara con el patrón del envase para ver que pH tiene dicha muestra, luego los resultados fueron anotados en la ficha de control de pH. Se llevó un registro de pH en todo el proceso de lombricultivo. Este indicador sirvió para observar cuanta acidez resisten las lombrices y que pH es óptimo para su crianza, también sirvió de verificación para saber qué sustrato es el más adecuado para la crianza de lombrices.

Según INÉS GARCÍA Y CARLOS DORRONSÓ, **Contaminación de suelos**, Universidad de Granada, Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias, España 2001. Se agrupan por escalas del

pH que va del 0 hasta 14, con los rangos de ácido (0 – 6.75), neutro (6.75 – 7.25), básico (7.25 - 14).

La medición del pH se realizó 4 veces por semana con un tiempo requerido de 30 minutos por las 4 camas.

La ficha que se usó para registrar los datos obtenidos de pH durante todo el proceso del lombricultivo está detallada en la siguiente tabla:

TABLA N° 4. 6

TABLA DE CONTROL DEL PH

ACTIVIDAD		CAMA 1 (LODO SOLO)	CAMA 2 (LODO + COMPOST)	CAMA 3 (LODO + ESTIÉRCOL)	CAMA 4 (LODO + COMPOST + ESTIÉRCOL)
DIA	SEMANA 1	TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6	5.5
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6	5.5
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6	5.5
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6	5.5
DIA	SEMANA 2	TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6	5.5
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5	6	6
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5	6	6
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5	6.5	6
		TIEMPO	pH	pH	pH

DIA	SEMANA 3								
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	REQUERIDO	5.8		6		6.5		6
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	5.5		6		6.5		6
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	5.5		6.5		6.5		6
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	5.7		6.5		6.5		6
DIA	SEMANA 4	TIEMPO REQUERIDO	pH		pH		pH		pH
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.0		6.5		6.8		6
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6		6.5		6.5		6.5
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5		6.5		6.5		6.5
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5		6.5		6.5		6.5
DIA	SEMANA 5	TIEMPO REQUERIDO	pH		pH		pH		pH
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6		6.5		6.8		6.8
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5		6.5		6.8		6.5
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5		6.5		6.5		6
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6		6.5		6.5		6.8

	CADA CAMA	30 minutos						
DIA	SEMANA 6	TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH	pH	pH	pH
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.5	6.5	7	
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.5	6.5	7.5	
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.5	6.5	7.5	
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.5	6.8	7.5	
DIA	SEMANA 7	TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH	pH	pH	
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.5	6.8	7.5	
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.5	6.5	7.5	
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.5	6.5	7.5	
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.8	6.8	6.8	7.5	
DIA	SEMANA 8	TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH	pH	pH	
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.5	6.8	7	
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.8	6.5	6.5	7.5	
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		6	6.5	6.5	6.5	7	

	CADA CAMA	30 minutos						
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.5	6.8		
DIA	SEMANA 9	TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH	pH		
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.5	7		
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.8	7		
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.8	7.5		
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6	6.5	6.8	6.8		
DIA	SEMANA 10	TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH	pH		
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5	6.5	6.8	6.8		
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5	6.5	6.8	7		
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5	6.5	6.8	7		
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5	6.5	6.8	7.5		
DIA	SEMANA 11	TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH	pH		
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5	6.5	6.5	7		
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	6.5	6.5	6.5	7.5		

	CADA CAMA		30 minutos					
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	6.5	6.5	6.5	7.5	
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	6.5	6.5	6.8	7.5	
DIA	SEMANA 12		TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH	pH	
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	6.5	6.8	6.8	7.5	
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	6.5	6.8	6.8	7.5	
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	6.5	6.8	6.8	7.5	
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	6.5	6.8	6.8	7.5	
DIA	SEMANA 13		TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH	pH	
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	6	6	6.5	7.5	
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	5.5	6	6.5	6.5	
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	5.5	6	6.5	6.5	
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	5.5	6	6.5	6.5	
DIA	SEMANA 14		TIEMPO REQUERIDO	pH	pH	pH	pH	
1	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA		30 minutos	5.5	6.5	6.5	6.5	

	CADA CAMA	30 minutos				
2	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	5.5	6.5	6.8	6.5
3	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	5.5	6.8	6.5	6.5
4	MEDICIÓN DEL PH EN CADA CAMA	30 minutos	5.5	6.8	6.5	7
	PROMEDIO		5.99	6.44	6.54	6.76

Fuente: Elaboración propia

Acido: 0 – 6.75

Neutro: 6.75 – 7.25

Básico: 7.25 - 14

B. Instrumentos Electrónicos:

Se utilizaron para el análisis de laboratorio del humus de lombriz producido en la PTAR San Antonio de Carapongo. Se procedió a tomar una muestra de 1 Kg de la cama 3 (lodo + estiércol de conejo) ya que fue la cama que cumplió con todas las características que debe pasar un proceso de lombricultivo. Se llevó la muestra al LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES de la facultad de AGRONOMÍA de la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA (ver anexo 4), en el siguiente cuadro se muestra los resultados del análisis de macronutrientes:

CUADRO N° 4. 2

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES

N° LAB	pH	C.E dS/m	M.O %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
470	6.90	6.66	38.51	1.97	4.14	0.65	6.36	1.32	62.58	0.17

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Técnica de recolección de datos secundarios

A. El informe de ensayo N° LE1412001656:

Este ensayo fue realizado a los Lodos Deshidratados de la PTAR San Antonio de Carapongo por la empresa Tecnologías Ecológicas Prisma S.A.C, el día 31 de diciembre del año 2014, la muestra fue: siete (7) unidades de 1 Kg de lodos deshidratado a las cuales se les realizaron dos tipos de análisis: microbiológico (MB) y fisicoquímico (FQ). Este documento se utilizó para comparar con los límites máximos permisibles

40 CFR part 503 Sewage Sludge Annual Report Review Guide (EPA) para lodos residuales y el análisis del laboratorio del abono orgánico obtenido, realizado en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Esta información fue entregada por la Gerencia de Gestión de Aguas Residuales –SEDAPAL. Las siguientes tablas muestran los resultados de ambos análisis.

TABLA N° 4. 7

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico		
REQUISITO	VALOR OBTENIDO	UNIDADES
Coliformes Totales	940 000	NMP/10 g
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP)	230 000	NMP/10 g
Salmonela	Presencia	Sp/25 g
Quistes y Ooquistes de Protozoarios. Patógenos: <i>Cryptosporidium</i> sp	04	ind/1000 g
<i>Enteroparásitos</i>	05	
Parásitos: Trematoda: <i>Fasciola Hepática</i> <i>Paragonimus</i> sp. Cestoda: Hymenolepis sp. Taenia sp. Diphillobotrium sp. Nematode <i>Ascaris</i> sp. <i>Necator</i> sp. <i>Trichuris</i> sp. <i>Strongyloides</i> sp. <i>Enterobius</i> sp.	< 1 < 1 04 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1	Huevos/1000 g

NMP/10 g: número más probable por 10 gramos

Sp/25 g: especies por 25 gramos.

ind/1000 g: individuos por 1000 gramos.

Huevos/ 1000 g: número de huevos por 1000 gramos.

Fuente: EPA

TABLA N° 4. 8

ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

Análisis Fisicoquímico		
REQUISITO	VALOR OBTENIDO	UNIDADES
Arsénico	7.1	mg/kg
Cadmio	6.8	mg/kg
Cobre	783	mg/kg
Plomo	633	mg/kg
Mercurio	8.45	mg/kg
Níquel	85	mg/kg
Zinc	727	mg/kg
Cromo	5.73	mg/kg
Molibdeno	6.4	mg/kg
Selenio	5.3	mg/kg
pH	8.4	---
Humedad	72.3	%
Peso específico	2.4	%
Sólidos fijos	81.4	%
Sólidos volátiles	19.6	%
Conductividad eléctrica	623	µS/cm
Calcio	40230	mg/kg
Magnesio	2846	mg/kg
Potasio	785	mg/kg
Sodio	2282	mg/kg
Bicarbonatos	2203	mg/kg
Carbonatos	6.3	mg/kg
Cloruros	291	mg/kg
Sulfatos	124.2	mg/kg
Carbonato orgánico	5.6	mg/kg
Fosforo	140	mg/kg
Nitrógeno amoniacal	436	mg/kg
Nitritos	0.43	mg/kg
Nitratos	2.44	mg/kg
Nitrógeno total	458.1	mg/kg
Aceites y grasas	16344	mg/kg
Capacidad de intercambio catiónico.	100.32	meq/100g

mg/kg: miligramo por kilogramo

meq/100 g: mili equivalente por 100 g

µS/cm : micro Siemens por centímetro.

Fuente: Análisis de Laboratorio Baltic Control S.A.C.

B. 40 CFR part 503 Sewage Sludge Annual Report Review Guide:

Este informe incluye la concentración de cada contaminante que aparece en el lecho de las concentraciones de los lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas domésticas, las cuales fueron comparadas con el informe de ensayo N° LE1412001656 (ver anexo 7) y según los resultados obtenidos ver si los lodos son adecuados para su tratamiento y/o su disposición final.

TABLA N° 4. 9

VALORES LÍMITES POR LA EPA NORMA CFR 40 PARTE 503 PARA
BIOSÓLIDOS

constituyentes	Concentración máxima(mg/Kg)	Calidad microbiológica Tipo A*	Calidad microbiológica Tipo B**
Arsénico	75		
Cadmio	85		
Cobre	4300		
Plomo	840		
Mercurio	57		
Molibdeno	75		
Níquel	420		
Selenio	100		
Zinc	7500		
Microbiológico			
Coliformes fecales (UFC/g)		<10 ³	<2x10 ⁶
Salmonella.sp. (UFC/g)		3/4	-
Huevos de helmintos/g		1/4	-

Fuente: EPA 2014

C. Resultado de laboratorio de la tesis “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”:

Este análisis fue comparado con el análisis del abono orgánico obtenido en PTAR San Antonio de Carapongo para observar cuál de las dos investigaciones tienen los mejores nutrientes.

TABLA N° 4. 10

RESULTADOS DE LABORATORIO DEL ABONO ORGÁNICO OBTENIDO
EN LA EMPRESA COMESTIBLE "LA ROSA"

Resultados de Laboratorio			
Resultado de laboratorio para abono orgánico a partir de lodos orgánicos	Reporte	NTC 5167	Cumplimiento de la norma
Perdidas por volatilización % *	23.83 %	Perdidas por volatilización % *	
Contenido de ceniza % *	13.15 %	Contenido de ceniza % *	60 % *
Residuos insolubles en acido	7.33 %		
Contenido de humedad *	64.11 %	Contenido de humedad	
N, P ₂ O ₅ y K ₂ O totales		N, P ₂ O ₅ y K ₂ O totales reportar si es mayor	1 %
Nitrógeno	1.55 %		
Potasio	0.19 %		
Calcio	0.50 %		
Magnesio	0.15 %		
Fosforo	0.30		
Azufre	0.09 %		
Boro	0.0022 %		
Manganeso	0.057 %		
Hierro	1.44 %		
Zinc	0.009 %		
Sodio	0.036 %		
Relación C/N	3.5 (7/2)		
Retención de humedad	29.53 %	Retención de humedad min.	Su propio peso
pH	5.19	pH mayor a 4 menor a 9	> 4 < 9
Metales pesados mg/kg		Límites de metales pesados en mg/kg (ppm)	
Arsénico	13.23	Arsénico (As)	41
Cadmio	0.21	Cadmio (Cd)	39
Cromo	16.18	Cromo (Cr)	1 200
Mercurio	< 5.00	Mercurio (Hg)	17
Níquel	9.09	Níquel (Ni)	420
Plomo	9.76	Plomo (Pb)	300

Fuente: Estudio de Investigación en la Empresa Comestible "La Rosa"

D. Valores analíticos del Humus, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) es una dependencia del Poder Ejecutivo Federal de México.

Este análisis fue comparado con el análisis del abono orgánico obtenido en PTAR San Antonio de Carapongo para ver si está dentro del rango de los valores analíticos del humus y así poder ver si es un abono orgánico de buena calidad. En la Tabla 4.11 se pueden observar los valores.

TABLA N° 4. 11
VALORES ANALÍTICOS DEL HUMUS

Valores Analíticos del Humus		
Parámetros	Unidades	Rango
pH	-	6.8 a 7.2
N	%	1.5 a 3.35
P	ppm	700 a 2500
K	ppm	4400 a 7700
C/N	-	10 a 13
C C	meq /100g	75 a 81
Ca	%	2.8 a 8.7
Mg	ppm	260 a 576
Mn	ppm	0.2 a 0.5
Cu	ppm	85 a 490
Zn	ppm	87 a 404

Fuente: Sistema de Agro negocios de Traspatio, SAGARPA, 2004

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.

Se tabuló y analizó la información que se obtuvo a través de todas las técnicas e instrumentos de recolección de datos, presentando los análisis respectivos en el software de Excel 2010.

4.6.1. Interpretación y análisis de los resultados.

Para la interpretación y análisis de la información obtenida se utilizó el diagrama de columnas también conocido como gráfico de barras 3D y gráfico de línea 2D, las cuales representan gráficamente los conjuntos de

datos o valores a comparar, y está conformado por barras rectangulares de longitudes proporcionales a los valores representados.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Los resultados obtenidos con su respectiva discusión de la presente investigación se muestran a continuación.

5.1. Análisis de la presencia de lombrices

Se analizaron la presencia de lombrices en las camas experimentales, las cuales se observan en la tabla 5.1.

TABLA N° 5. 1

PRESENCIA DE LOMBRICES

ACTIVIDAD		CAMA 1 (LODO SOLO)			CAMA 2 (LODO + COMPOST)			CAMA 3 (LODO + ESTIÉRCOL)			CAMA 4 (LODO + COMPOST + ESTIÉRCOL)		
		P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A
MES 1	TIEMPO REQUERIDO	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A
PRESENCIA DE LOMBRICES	4 horas	-	-	80%	6%	-	-	-	-	100%	-	-	96%
MES 2		P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A
PRESENCIA DE LOMBRICES	4 horas	-	45.5%	-	18.2%	-	-	-	-	100%	-	-	72.7%
MES 3		P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A
PRESENCIA DE LOMBRICES	4 horas	20%	-	-	-	40%	-	-	-	100%	-	70%	-
MES 4		P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A
PRESENCIA DE LOMBRICES	4 horas	7.5%	-	-	-	55%	-	-	-	100%	-	-	87.5%

Leyenda:

P: Poco (0 – 30%)

M: Moderado (31 – 70%)

A: Abundante (71 – 100%)

Fuente: Elaboración propia

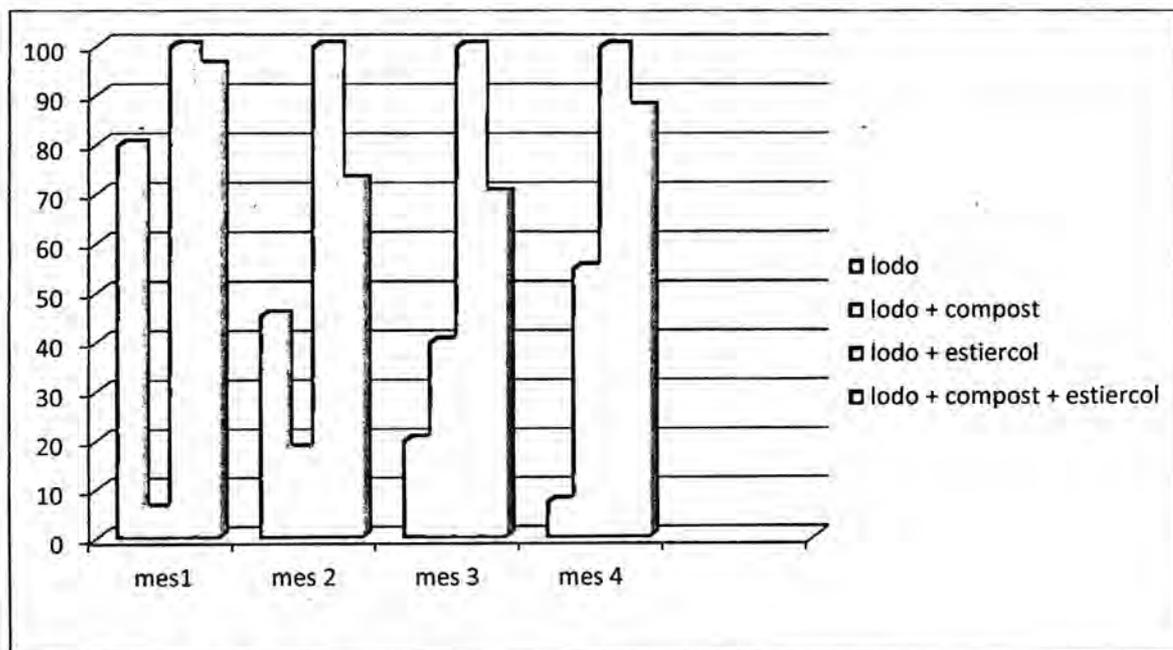
En la tabla 5.1 se observa los valores obtenidos en el conteo mensual de las camas experimentales expresadas en porcentaje, estos valores nos indican qué tan efectivo fue el sustrato aplicado en cada cama.

En el GRÁFICO 5.1: se puede observar que en el primer mes de inoculación de las lombrices en la cama 2 (lodo +compostaje), hubo una muerte masiva de lombrices esto fue debido a que el compost se activó elevando las temperatura, lo que diezmo la población de lombrices. También se ve una tendencia de descenso para la cama 1 (lodo solo), esto porque después del riego y con el tiempo, el lodo se empezó a compactar y era difícil la oxigenación causando la muerte de las lombrices. Con respecto a la cama 3 (lodos + estiércol de conejo) se observó una buena adaptación y reproducción de lombrices logrando un proceso más rápido. Para la cama 4 (lodo + compost + estiércol de conejos) se observa una buena adaptación pero no eficiente, es por eso que el proceso de lombricultivo demoró un mes más que la cama 3.

En el GRÁFICO 5.2 se observa el crecimiento y/o disminución de la población de lombrices; se observa que la Cama 3 tiene una línea ascendente esto nos indica un medio óptimo para la crianza de lombrices, en la Cama 2 se observa un crecimiento pero en poca proporción, esto debido a que el compost se activó y mato la gran mayoría de la población, la cama 4 también tiene una curva ascendente pero no tan eficiente, en la Cama 1 se observa una curva descendente, esto se debe a que los lodos son propensos a compactarse y esto mata a las lombrices.

GRÁFICO N° 5.1

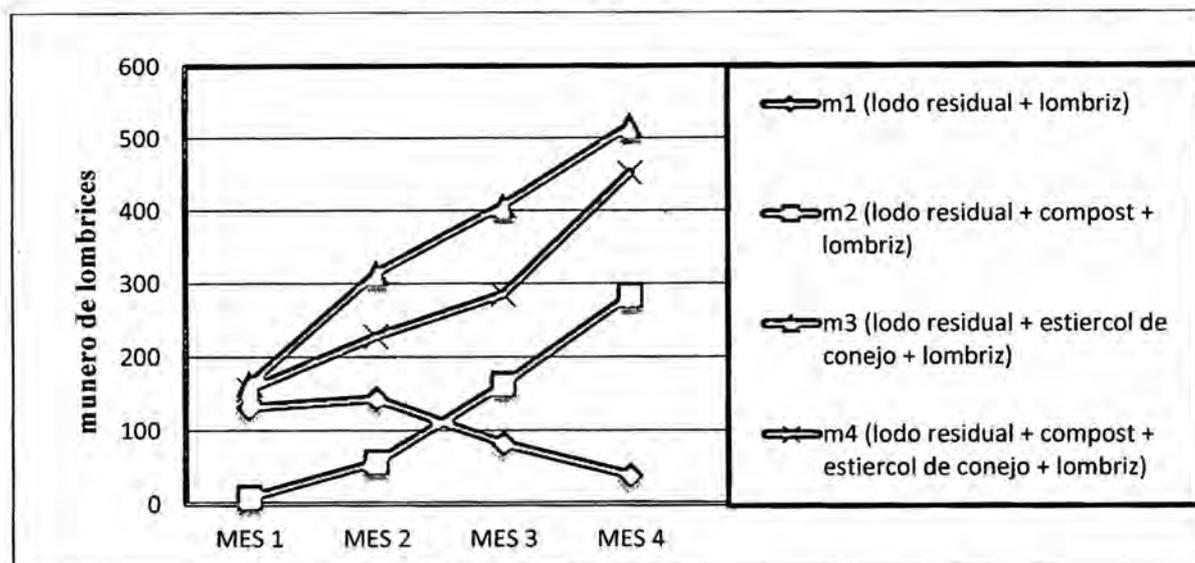
PRESENCIA DE LOMBRICES



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 5.2

PROMEDIO DE CONTEO DE LOMBRICES EN EL TIEMPO QUE DURO EL LOMBRICULTIVO



Fuente: Elaboración propia.

5.2. Análisis del rango de colores

Se analizaron los colores de las camas experimentales y se compararon con la tabla Munsell 10YR 2/1 (negro) que es el color asociado con el humus de lombriz. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 5.2.

TABLA N° 5. 2

COLOR DE HUMUS DE LOMBRIZ

ACTIVIDAD	TIEMPO REQUERIDO	CAMA 1 (LODO SOLO)	CAMA 2 (LODO + COMPOST)	CAMA 3 (LODO + ESTIÉRCOL DE CONEJO)	CAMA 4 (LODO + COMPOST + ESTIÉRCOL DE CONEJO)
MES 1		10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)
		BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO
		5/1	5/2	4/1	4/1
INTERPRETACIÓN DEL COLOR	5 minutos	X	X	X	X
MES 2		10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)
		BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO
		5/2	4/1	4/2	4/1
INTERPRETACIÓN DEL COLOR	5 minutos	X	X	X	X
MES 3		10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)
		MEDIO	MEDIO	INTENSO	MEDIO
		4/1	3/2	3/1	4/2
INTERPRETACIÓN DEL COLOR	5 minutos	X	X	X	X
MES 4		10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)	10YR MUNSELL (COLOR)
		MEDIO	MEDIO	INTENSO	MEDIO
		4/2	3/2	2/2	3/1
INTERPRETACIÓN DEL COLOR	5 minutos	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

En el GRÁFICO 5.3: se observa los cambios de colores en las camas experimentales durante todo el proceso de lombricultivo. Para la cama 1 (lodo solo), se observa que el color varió en los dos primeros meses y luego se mantuvo constante, eso se debe a la poca población de lombrices que quedaban en la cama 1.

En la cama 2 (lodo + compost), se observa un cambio de color en todo el proceso, pero no tan intenso ya que en el segundo mes hubo una pérdida de la

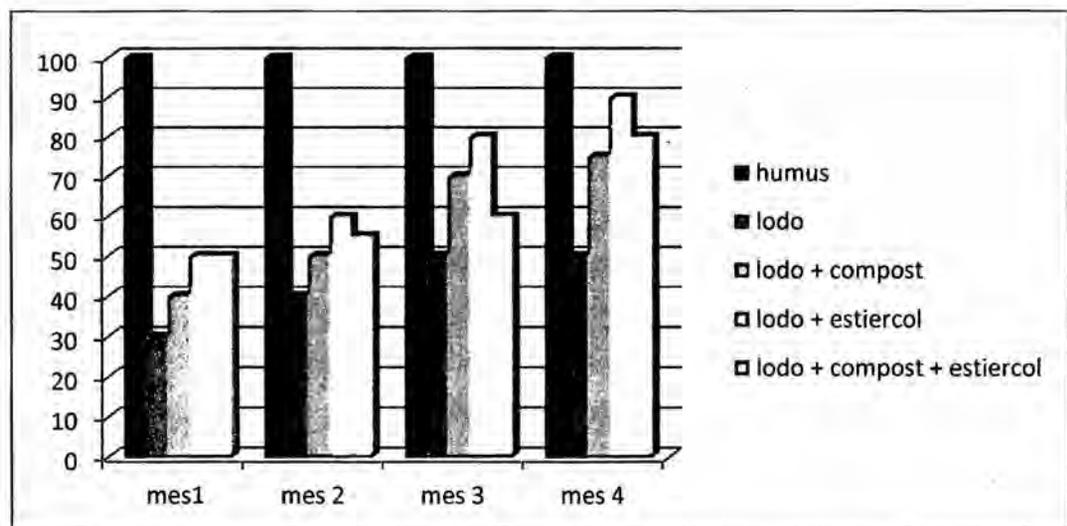
población de lombrices, por calentamiento del sustrato al haberse elevado su temperatura.

Para la cama 3 (lodo + estiércol), se ve un cambio de color intenso y se acerca mucho al color ideal que según la tabla 10YR 2/1 de Munsell es para el humus, esto nos indica que el sustrato (estiércol de conejo), es óptimo para este proceso.

Para la cama 4 se observa que tienen un crecimiento regular de poca intensidad, esto se debe a que es más difícil degradar el compost que el estiércol, pero sin duda esta combinación va a llegar a la intensidad de la cama 2, sin embargo le tomara más tiempo a las lombrices para que la puedan degradar totalmente.

GRÁFICO N° 5.3

RANGO DE COLORES DE LAS CAMAS EXPERIMENTALES CON LA TABLA MUNSELL 10 YR 2/1.



Fuente: Elaboración propia

5.3. Análisis del pH

Se analizaron los cambios de pH en cada una de las camas experimentales durante todo el proceso del lombricultivo, el promedio de pH obtenido se observa en la tabla 5.3.

TABLA N° 5. 3

PROMEDIO DE PH EN LAS CAMAS EXPERIMENTALES DURANTE EL PROCESO DE LOMBRICULTURA

ACTIVIDAD	CAMA 1 (LODO SOLO)	CAMA 2 (LODO + COMPOST)	CAMA 3 (LODO + ESTIÉRCOL)	CAMA 4 (LODO + COMPOST + ESTIÉRCOL)
PROMEDIO	5.99	6.44	6.54	6.76

Fuente: Elaboración propia

En el GRÁFICO 5.4: se observa las variaciones del pH en las diferentes camas experimentales, en la cama 1 (lodo solo), se observa que el promedio del pH en todo el proceso es 5.99 un pH, ácido lo cual no es adecuado para un óptimo desarrollo de las lombrices.

Para la cama 2 (lodo + compost), se observa un pH promedio de 6.44 que es ligeramente ácido, esto se debe a que el sustrato usado elevó el pH ligeramente, esto le da un pH adecuado pero no el óptimo sin embargo en este medio las lombrices sí se pueden criar con normalidad.

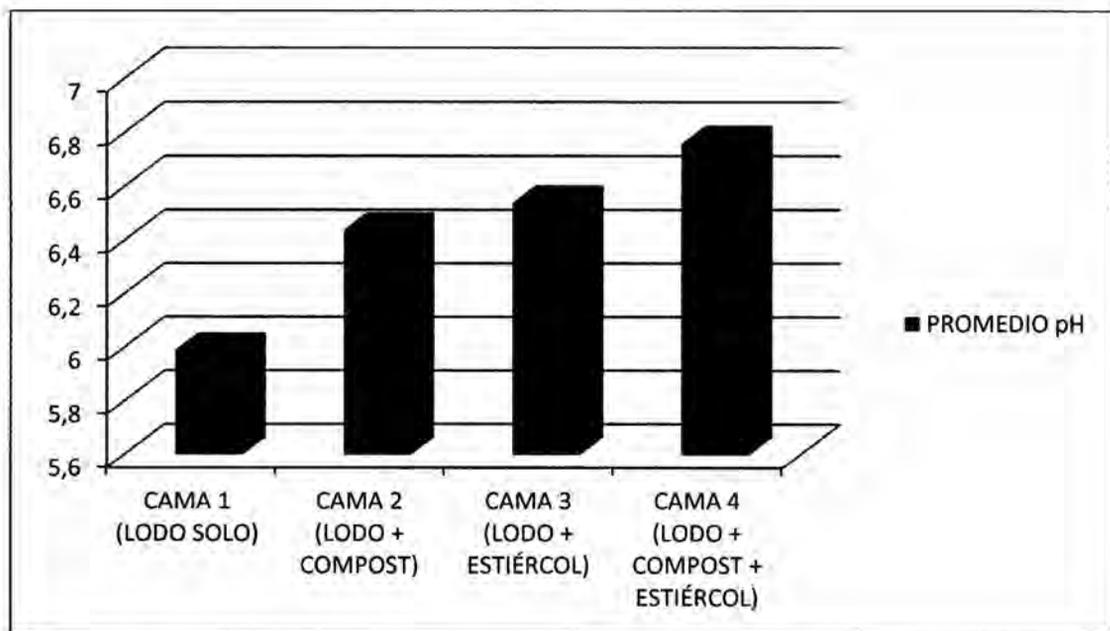
Para la cama 3 (lodo + estiércol de conejo), se tiene un pH promedio de 6.54 esto debido al sustrato elegido y a la producción de abono orgánico en todo el proceso, este pH no es el óptimo pero si es adecuado para la crianza de lombrices porque se acerca al pH neutro.

En la cama 4 (lodo + compost + estiércol), se puede observar que tiene un pH de 6.76, este pH es de las cuatro camas la que más se acerca a un pH 7 que es neutro, por lo tanto es la cama que tiene el mejor medio en cuanto al pH para una adecuada crianza de lombrices.

En cuanto a la cama 1 (lodo solo), con un pH de 5.99 es un factor que también influye en la disminución de las lombrices.

GRÁFICO N° 5. 4

PROMEDIO DE PH



Fuente: Elaboración propia.

5.4. Análisis de 40 CFR part 503 Sewage Sludge Annual Report Review Guide (EPA) con el Informe de Ensayo N° LE1412001656

En la tabla 5.4 se observa la comparación de los límites máximos permisibles para biosólidos según el EPA (Agencia de Protección Ambiental) y de los lodos de la PTAR San Antonio de Carapongo, en mg/kg.

TABLA N° 5. 4

COMPARACIÓN DE 40 CFR PART 503 SEWAGE SLUDGE ANNUAL
REPORT REVIEW GUIDE CON INFORME DE ENSAYO N° LE1412001656

Constituyentes	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Molibdeno (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Selenio (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
EPA	75	85	4300	840	57	75	420	100	7500
LE1412001656	7.1	6.8	783	633	8.45	6.4	85	5.3	727
Constituyentes	Coliformes fecales (UFC/g)		Salmonella sp (UFC/g)		Huevos de helmintos (HH/g)				
EPA	< 10 ³ clase A < 2 x10 ⁶ clase B		< 3 en 4 g Clase A		< 1 en 4 g clase A				
LE1412001656	0.23 x 10 ⁶ NMP/10 g		Presencia Sp/25 g		0.004 en 1g				

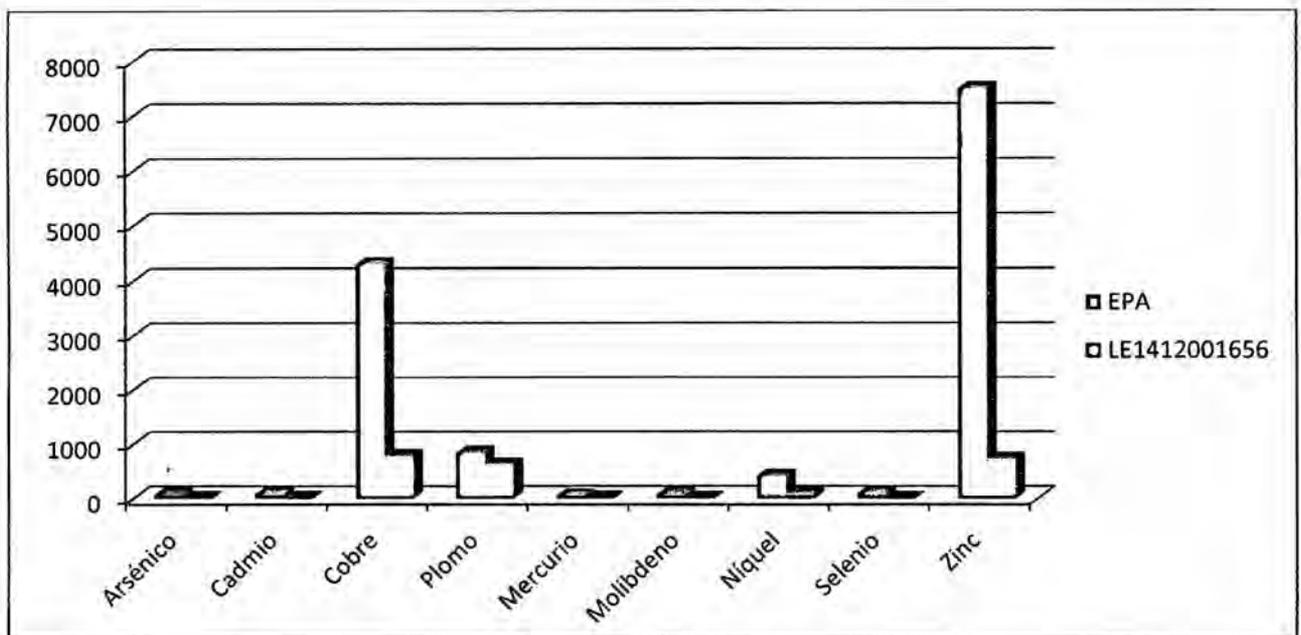
Fuente: Elaboración propia

En el GRÁFICO 5.5 se puede observar que los lodos de la PTAR San Antonio de Carapongo están dentro de los límites máximos permisibles de la 40 CFR part 503 Sewage Sludge Annual Report Review Guide (EPA) que lo ubica como un lodo de tipo A, eso significa que es un lodo que se puede tratar para aprovechar como abono orgánico. En el caso de los Coliformes Fecales tenemos valores altos, que clasifica el lodo residual de la PTAR San Antonio de Carapongo como de tipo B; se sabe que la mayor especie de este grupo de Coliformes Fecales es la *Escherichia coli*, la cual puede ser eliminada en una hora si es expuesto a una temperatura 55 °C y entre 15 a 20 minutos expuestos a una temperatura a 60 °C. Según el criterio de inclusión el lodo utilizado tiene una exposición al sol de 30 a 45 días en los cuales son estabilizados con cal (óxido de calcio) lo que eliminaría en gran porcentaje la colonia de Coliformes Fecales. A esto se agrega que según DROPPELMANN; GAETE; MIRANDA, (2009), el proceso de vermicompostaje con lombrices *Eisenia*

foetida, genera biosólidos de clase A en cuanto a la disminución de NMP (número más probable) de Coliformes Fecales se refiere. Además se menciona que este proceso de disminución de NMP de Coliformes Fecales se realiza en un promedio de 13 y 20 días a partir de la inoculación de las lombrices.

GRÁFICO N° 5. 5

COMPARACIÓN DE 40 CFR PART 503 SEWAGE SLUDGE ANNUAL REPORT REVIEW GUIDE (EPA) CON EL INFORME DE ENSAYO N° LE1412001656



Fuente: Elaboración propia

5.5. Análisis del Informe de Ensayo N° LE1412001656 con el análisis de laboratorio del abono orgánico de la PTAR San Antonio de Carapongo.

En la tabla 5.5 se muestra la comparación de los parámetros fisicoquímicos que tienen relación con los abonos orgánicos, las cuales se obtuvieron con el

factor gravimétrico (Ver Anexo 8) del análisis de abono orgánico de la PTAR San Antonio de Carapongo.

TABLA N° 5. 5
COMPARACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO N° LE1412001656 CON EL
ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL ABONO ORGÁNICO DE LA PTAR
SAN ANTONIO DE CARAPONGO.

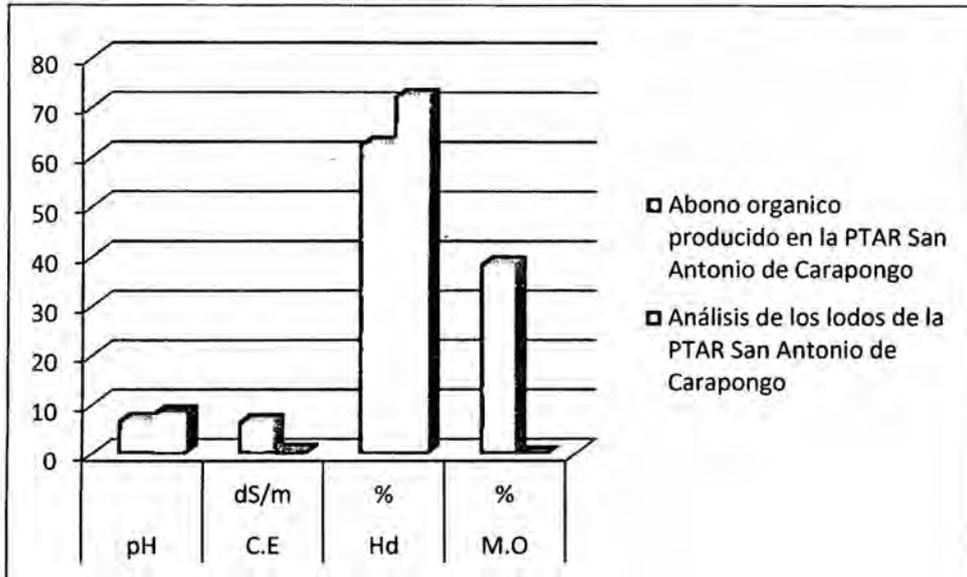
Parámetros	pH	C.E dS/m	M.O %	N mg/kg	P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Hd %	Na mg/kg
Abono orgánico producido en la PTAR San Antonio de Carapongo	6.9	6.66	38.51	19700	18066	5396.3	45454.92	7960.92	62.58	1700
Análisis de los lodos de la PTAR San Antonio de Carapongo	8.4	0.623	-	458.1	140	785	40230	2846	72.3	2282

Fuente: Elaboración propia

En el GRÁFICO 5.6 se muestra que el pH del abono es casi neutro 6.9 a la comparación del pH de los lodos tienen un pH básico esto se debe a la gran cantidad de detergente y lejía que ingresan dentro del proceso en la PTAR. También se observa que la conductividad es mayor en el abono orgánico que en el lodo residual. El análisis que se le hizo a los lodos residuales no midió el parámetro M.O (Materia Orgánica), en respecto a la humedad el lodo residual es más húmedo puesto que el abono orgánico se dejó secar unos días para su análisis.

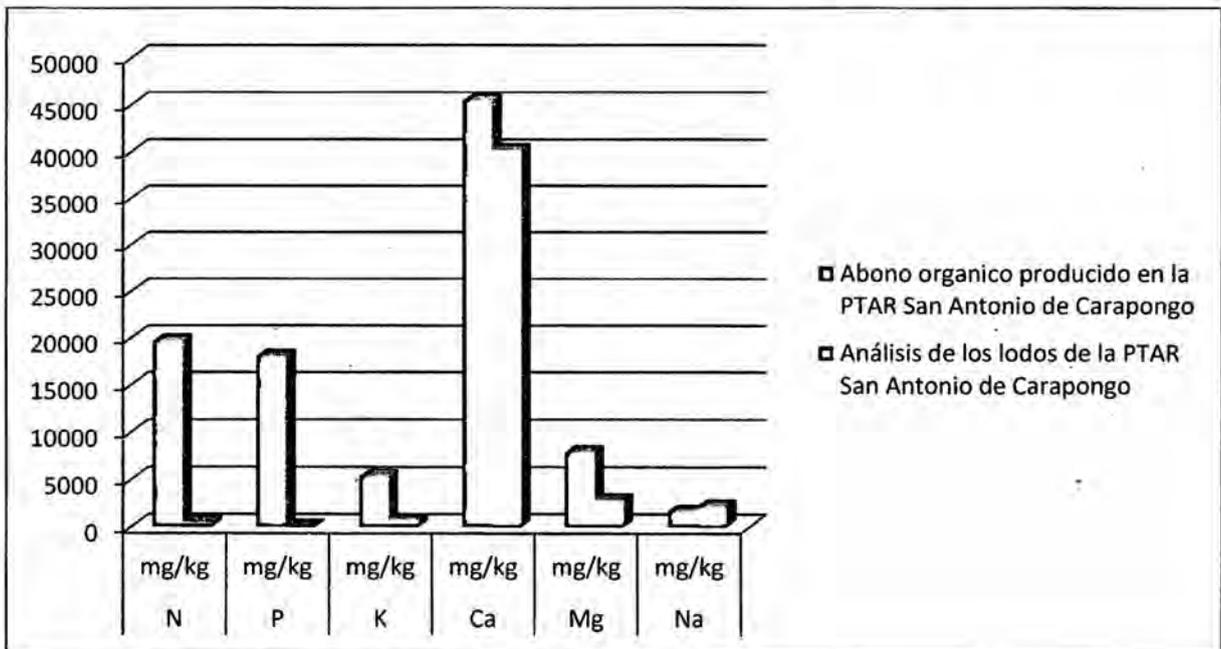
En el GRÁFICO 5.7 se observa que en todos los parámetros comparados, el abono orgánico es superior a los lodos residuales, esto sirve para afirmar que aunque el lodo es de tipo A es necesario hacer un proceso de lombricultivo para aumentar su valor orgánico.

GRÁFICO N° 5. 6
COMPARACIÓN DE PARÁMETROS, PH, C.E, HD, M.O.



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 5. 7
COMPARACIÓN DE PARÁMETROS, N, P, K, Ca, Mg, Na.



Fuente: Elaboración propia.

5.6. Análisis de la PTAR San Antonio de Carapongo con Industria comestible

La Rosa y Rango analíticos de humus: Contenido nutrimental de las lombricompostas (SAGARPA)

En la tabla 5.6 se observa la comparación de los análisis de macronutrientes de la PTAR San Antonio de Carapongo e industrias comestible La Rosa, el análisis de esta tabla nos dará a saber cuál de los dos abonos orgánicos es de mejor calidad. También se hace la comparación con Valores analíticos del Humus, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)

TABLA N° 5. 6

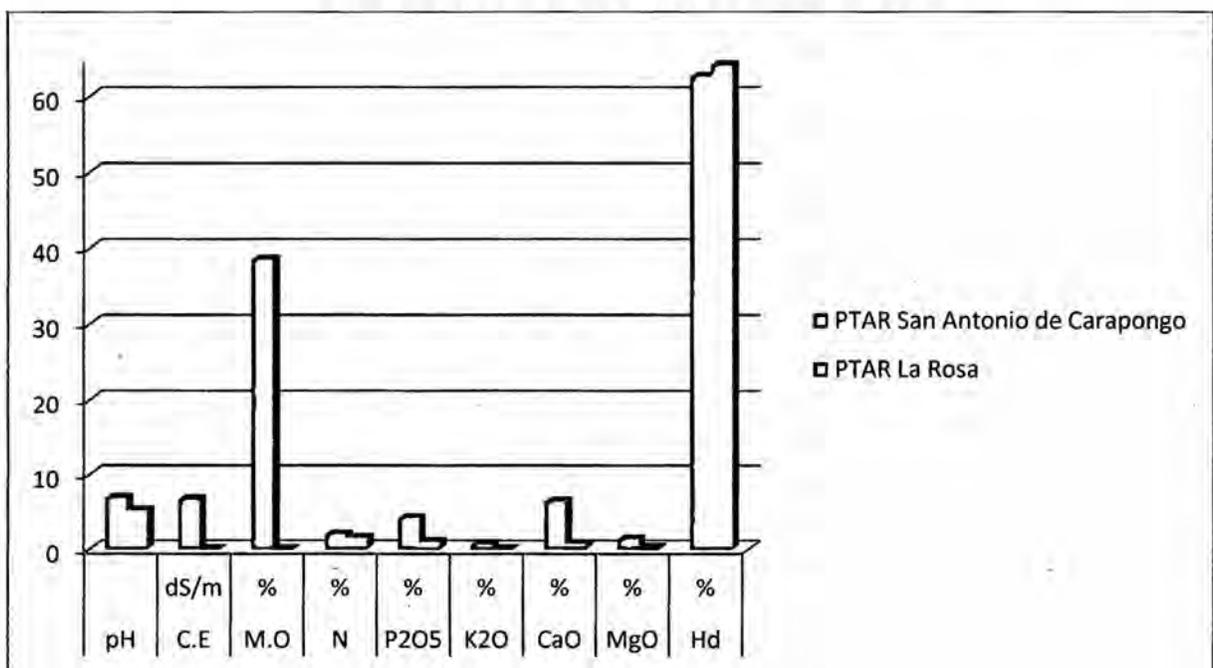
COMPARACIÓN DEL ABONO ORGÁNICO OBTENIDO EN LA PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO E INDUSTRIA COMESTIBLE LA ROSA Y RANGO ANALÍTICOS DE HUMUS: CONTENIDO NUTRIMENTAL DE LAS LOMBRICOMPOSTAS (SAGARPA)

	pH	C.E dS/m	M.O %	N %	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
PTAR San Antonio de Carapongo	6.9	6.66	38.51	1.97	4.14	0.65	6.36	1.32	62.58	0.17
PTAR La Rosa	5.19	-	-	1.55	0.099	-	0.7	0.25	64.11	0.036
Rango analíticos de humus: Contenido nutrimental de las lombricompostas (SAGARPA)	6.8 a 7.2	- -	- -	1.5 a 3.35	0.16 a 0.573	0.53 a 0.928	3.918 a 12.173	0.0431 a 0.096	-	-

Fuente: Elaboración propia

En el GRÁFICO 5.8 resaltan tres parámetros, conductividad eléctrica (C.E), materia orgánica (M.O) y K₂O que no fueron medidas en el análisis de la PTAR Industria comestible La Rosa. También se observa que el pH de la PTAR La Rosa es ácido lo cual no es adecuado para las crianza de lombrices, lo que respecta a las comparación de macronutrientes se puede observar que los valores de la PTAR San Antonio de Carapongo son más altos lo que demuestra la mejor calidad de abono orgánico que la PTAR La Rosa.

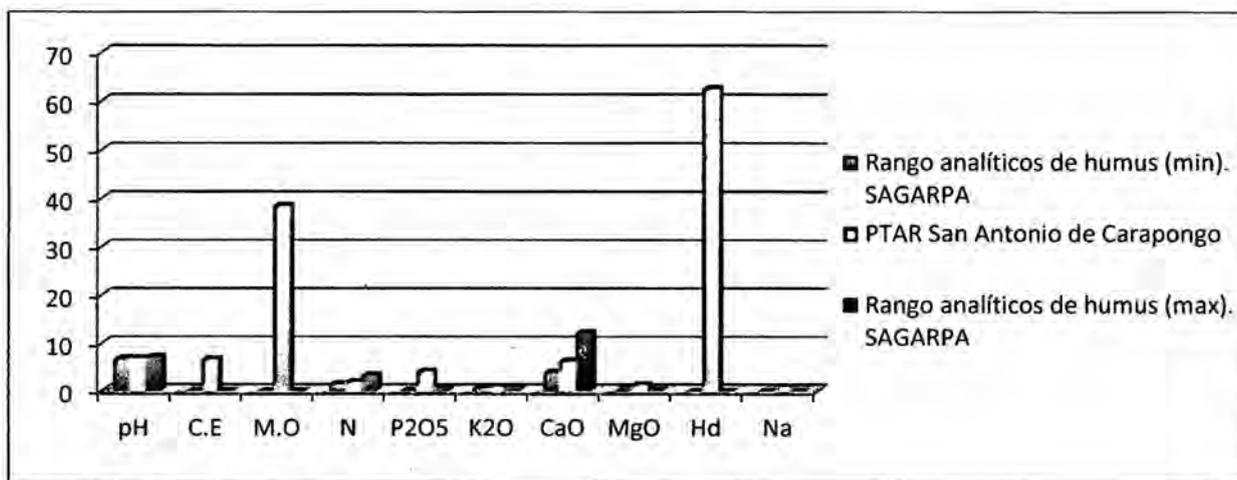
GRÁFICO N° 5. 8
COMPARACIÓN DE LA PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO Y LA
PTAR INDUSTRIA COMESTIBLE LA ROSA



Fuente: Elaboración propia

En el GRÁFICO 5.9 se puede observar que el pH, N, K₂O, CaO, están dentro de rangos analíticos de humus según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), para el P₂O₅, MgO, están por encima del rango, mientras que para C.E, M.O, Hd, Na, el rango analíticos de humus no aplica.

GRÁFICO N° 5.9
COMPARACIÓN DE LA PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO Y
RANGO ANALÍTICOS DE HUMUS: CONTENIDO NUTRIMENTAL DE LAS
LOMBRICOMPOSTAS (SAGARPA)



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados

H₁ La aplicación de distintos sustratos definirá el ecosistema óptimo para el desarrollo de la lombriz "*Eisenia foetida*"

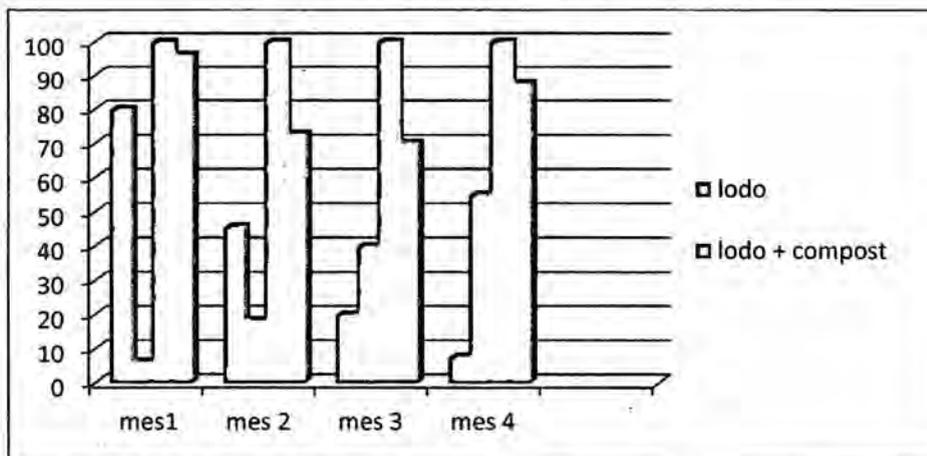
Comprobación.

De acuerdo con los resultados se cuenta con dos análisis para poder comprobar la H₁, las cuales son:

1. Análisis de la presencia de lombrices.

Con respecto a la cama experimental 3 (lodos + estiércol de conejo) se observó una buena adaptación y reproducción de lombrices determinando el ecosistema óptimo para el desarrollo de la lombriz "*Eisenia foetida*" la cual se observa en el siguiente gráfico:

GRÁFICO N° 6. 1
PRESENCIA DE LOMBRICES



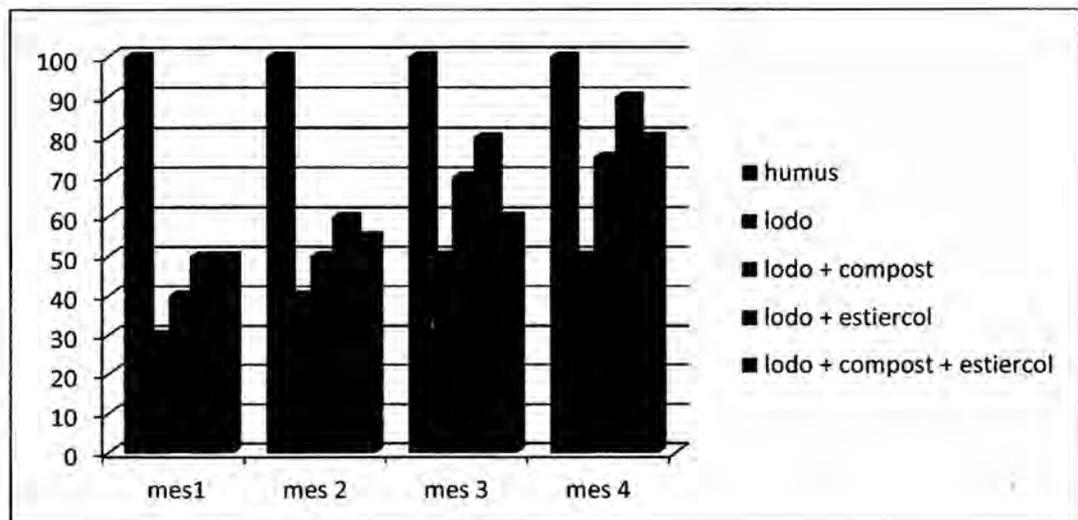
Fuente: Elaboración propia.

2. Análisis del rango de colores

Para la cama 3 (lodo + estiércol), se ve un cambio de color intenso y se acerca mucho al color ideal que según la tabla 10YR 2/1 de Munsell pertenece al humus, esto nos indica que el sustrato (estiércol de conejo), tiene la ecología óptima para el desarrollo de la lombriz "*Eisenia foetida*". La cual se muestra en el siguiente gráfico:

GRÁFICO N° 6. 2

RANGO DE COLORES DE LAS CAMAS EXPERIMENTALES CON LA
TABLA MUNSELL 10 YR 2/1



Fuente: Elaboración propia

Con esto se comprueba la H1, determinando que la cama experimental que posee una ecología óptima para el desarrollo de la lombriz "*Eisenia foetida*", es la cama 3 (lodos + estiércol de conejo).

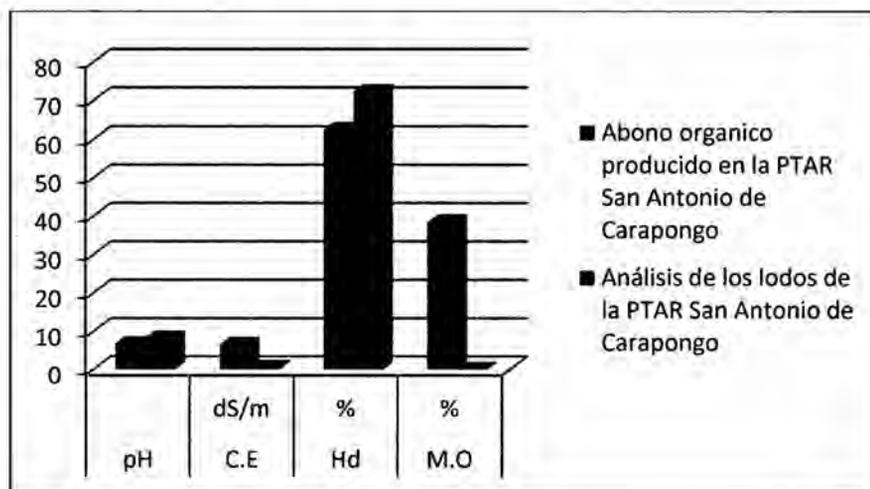
H₂ El análisis a nivel de laboratorio determinará el aumento en la calidad del abono orgánico luego del tratamiento por lombricultivo.

Comprobación

De acuerdo con los resultados se cuenta con un Análisis del Informe de Ensayo N° LE1412001656 con el análisis de laboratorio del abono orgánico de la PTAR San Antonio de Carapongo, para poder comprobar la H₂.

GRÁFICO N° 6.3

COMPARACIÓN DE PARÁMETROS, PH, C.E, HD, M.O.



Fuente: Elaboración propia

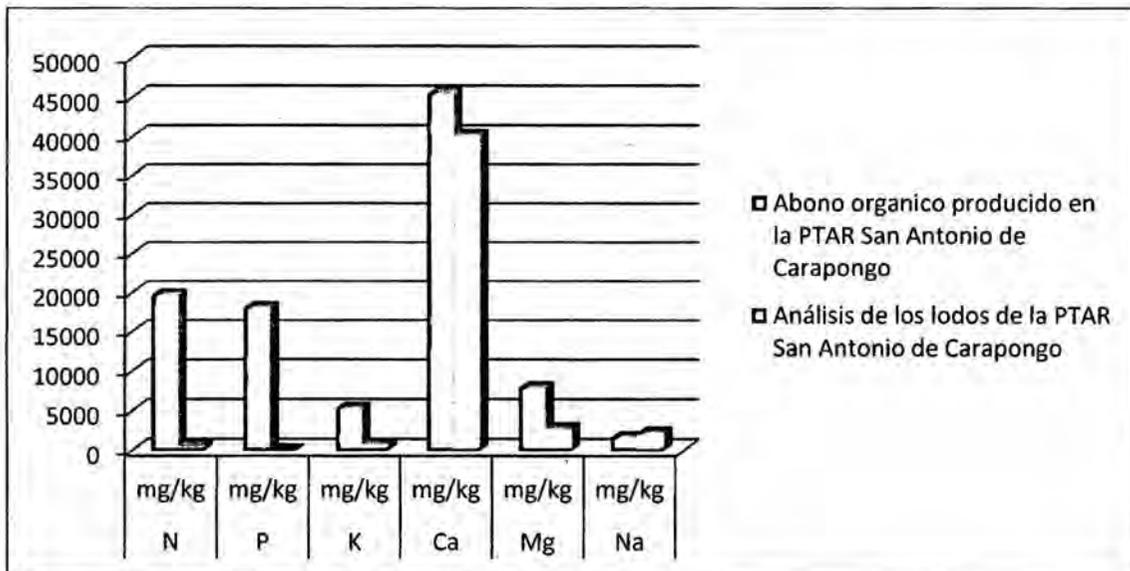
En el GRÁFICO N° 6.3, se puede observar como los valores del pH que es 6.9 para el abono orgánico y 8.4 para el lodo residual, con esos valores podemos que el abono orgánico es casi neutro y el lodo residual es básico. Para la conductividad eléctrica (C.E), se puede observar que baja drásticamente el abono orgánico con valores de 6.66 y 0.623 (dS/m); observamos que hay un aumento

en la conductividad eléctrica después del tratamiento. Para la humedad (Hd) se tiene valores de 62.58% para el abono orgánico y 72.3%. Para materia orgánica (M.O) el abono orgánico tiene 38.51% y los lodos residuales no aplica para ese parámetro.

En el GRÁFICO N° 6.4, se puede observar que todos macronutrientes esenciales que son: N, P, K, Ca, Mg, Na, en el abono orgánico son más elevados que los resultados de las muestra de los lodos residuales. Con esto se comprueba la H₂ que mediante un análisis de laboratorio el abono aumentara su calidad luego del tratamiento por lombricultivo.

GRÁFICO N° 6.4

COMPARACIÓN DE PARÁMETROS, N, P, K, Ca, Mg, Na.



Fuente: Elaboración propia

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

H₃ La comparación de los resultados de laboratorio con estándares internacionales y análisis de otras investigaciones similares definirá la calidad del abono obtenido.

Comprobación.

En la actualidad las empresas de tratamiento de aguas residuales, solo optan por el traslado de sus lodos residuales hacia un relleno sanitario, es decir no aprovechan el potencial fertilizante que estos lodos poseen, tan solo se deshacen de ellos. Lo cual nos lleva a determinar que todo beneficio obtenido por este nuevo tipo de tratamiento es superior a la ofrecida por la tecnología existente en ese rubro.

Sin embargo, es importante ver que tan bueno es el abono orgánico obtenido por nuestra tecnología a base de lombrices y sustratos, a partir de los lodos residuales, comparándolos con otros estudios.

A modo de contrastación se mostrará a continuación una comparación de los resultados con la investigación realizada por MARIANA TREJOS VÉLEZ NATALIA AGUDELO CARDONA, obtenidos en nuestro proceso con los resultados de la empresa “Comestibles La Rosa”.

“Las aguas residuales del proceso productivo de elaboración de galletas, chocolatería y otros comestibles, son conducidas junto con las aguas residuales domésticas del personal que labora en la empresa Comestibles La Rosa (cerca de 600 personas) a una planta de tratamiento de aguas residuales basada en la tecnología de lodos activados.

Para la investigación realizada en la empresa “Comestibles La Rosa”, se dio uso de diferentes sustratos junto a la lombriz *Eisenia foetida*, como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA N° 6. 1

SUSTRATOS USADOS EN LA INVESTIGACIÓN REALIZADA EN LA EMPRESA "COMESTIBLES LA ROSA"

NÚMERO DE CAMA	ALIMENTO PARA CADA CAMA	CANTIDAD DE LODO	CANTIDAD DE LOMBRIZ	PROPORCIÓN DE ALIMENTO
1	Lodos	5 kg	5 kg	5 kg
2	Corte de pastos y lodo	4 kg	4 kg	2 kg
3	Lodos y barredura	4 kg	4 kg	2 kg
4	Lodos y residuos de casino	4 kg	4 kg	2 kg de cada uno
5	Lodos, pastos, residuos de casino y barredura	2 kg	2 kg	1 kg de cada uno

Fuente: Aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “Comestibles La Rosa”

La receta alimenticia mejor aceptada por los lombricultivos fue la composta de pastos. Los sustratos alimenticios (Barredura de galletas, residuos de casino, y pastos) la barredura de galletas y los residuos de casino presentaron buena aceptación, pero se observó que presentaron plagas, hongos e incrementos en las temperaturas sobrepasando los rangos determinados para la investigación. Los cultivos alimentados con pastos no presentaron ningún tipo de plagas, la reproducción y la cantidad de cocones (huevos de lombriz) fue mayor a la de los demás sustratos, por esta razón y según la necesidad de disminución de los residuos de la empresa se eligió como sustrato alimenticio los pastos por su gran cantidad de generación ya que la barredura ya tiene un fin comercial dentro de la empresa.

Si bien es cierto los lodos residuales provenientes de la empresa Comestibles La Rosa, se encuentran combinados tanto los desechos del proceso productivo como los desechos de las aguas domésticas del personal, lo cual le podría brindar cierto beneficio en cuanto a mayor presencia de materia orgánica; resulta que al comparar los informes de laboratorios respectivos de cada investigación en la tabla 6.2 se obtiene que el abono orgánico producido en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo posee mejores características en cuanto a su calidad.

TABLA N° 6.2
COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS ENTRE LA
PTAR DE COMESTIBLES "LA ROSA" Y PTAR SAN ANTONIO DE
CARAPONGO

	pH	C.E dS/m	M.O %	N %	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
PTAR San Antonio de Carapongo	6.9	6.66	38.51	1.97	4.14	0.65	6.36	1.32	62.58	0.17
PTAR La Rosa	5.19	-	-	1.55	0.99	0.99	0.7	0.25	64.11	0.036

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que los lodos de la PTAR San Antonio de Carapongo son netamente de aguas residuales domésticas, por lo que se contrasta los resultados de nuestra investigación.

Estas variaciones podrían explicarse bajo el hecho de que el abono orgánico producido en la empresa Comestibles La Rosa aún haya necesitado tiempo para su maduración, ya que solo contaron con dos meses de proceso mientras que la producción de humus en la PTAR San Antonio de Carapongo tuvo un periodo de cuatro meses. Otro factor que causaría la diferencia de resultados sería el sustrato escogido, ya que el estiércol de

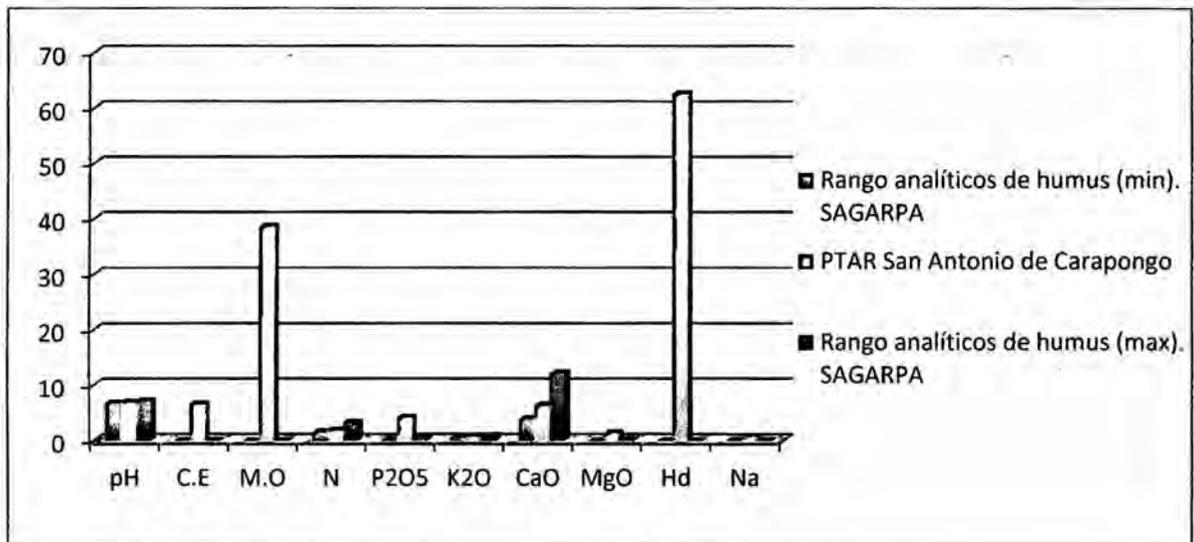
conejo contiene muchas mejores características que la composta de pastos en cuanto a calidad de abono orgánico se refiera.

Si bien es cierto el abono orgánico obtenido en la PTAR San Antonio de Carapongo contiene metales pesados dentro de los límites máximos permisibles, pero yace la incertidumbre en cuanto a la limitación para ser aplicados a vegetales de tallos bajos, ya que a estos metales pesados se les conoce por ser causantes de diferentes enfermedades tanto al hombre como a los animales que la ingieran; sin embargo dicho estudio no es parte de esta investigación, por lo que se extiende el tema para futuros estudios.

Comparación de la PTAR San Antonio de Carapongo y rango analíticos de humus: contenido nutrimental de las lombricompostas (SAGARPA).

GRÁFICO N° 6. 5

COMPARACIÓN DE LA PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO Y
RANGO ANALÍTICOS DE HUMUS: CONTENIDO NUTRIMENTAL DE LAS
LOMBRICOMPOSTAS (SAGARPA)



Fuente: Elaboración propia

En el GRÁFICO 6.5 se puede observar que tenemos cuatro parámetros el pH, N, K₂O, CaO dentro de los rangos analíticos de humus, pero tenemos dos parámetros que están el P₂O₅, MgO, están por encima del rango y para los parámetros C.E, M.O, Hd, Na, rango analíticos de humus no aplica, esto según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

Con la comparación de los instrumentos: Abono orgánicos obtenido de la PTAR San Antonio de Carapongo, Resultado de laboratorio de la tesis 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 y Valores analíticos del Humus, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), se puede comprobar la H₃.

H₀ La aplicación de la lombricultura con “*Eisenia foetida*” influirá significativamente en la calidad del abono orgánico obtenido a partir de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.

Comprobación

Con la validación de las hipótesis específicas: H₁, H₂, H₃ se alcanzó a validar la hipótesis general y problema principal de esta investigación.

Con esto se comprueba la H₀, que la aplicación de la lombricultura con *Eisenia foetida* sí influye significativamente en la calidad del abono orgánico obtenido a partir de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

1. La aplicación de la lombricultura con "*Eisenia foetida*" sí influyó significativamente, mejorando la calidad del abono orgánico obtenido a partir de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.
2. De todas las pruebas realizadas con distintos sustratos, se determinó que el "lodo residual más estiércol de conejo" presentó las mejores condiciones en cuanto a color, pH y presencia de lombrices. Estos parámetros en conjunto determinaron el ecosistema más óptimo para el desarrollo de la lombriz *Eisenia foetida*.
3. Con el análisis del abono orgánico obtenido de la PTAR San Antonio de Carapongo se determinó un aumento de los parámetros fisicoquímicos comprobando así un incremento de la calidad.
4. El abono orgánico obtenido de la PTAR San Antonio de Carapongo, cumple los estándares internacionales como el de La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), y de investigaciones similares como el realizado en la Empresa comestibles La Rosa; con los que se define que el abono orgánico obtenido es de buena calidad.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

1. Realizar una pre prueba de madurez del compost (sustrato), para evitar desviaciones durante la investigación.
2. Continuar con investigaciones respecto al uso agronómico del lodo residual proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, con otros tipos de sustratos a fin de conocer su eficiencia y rentabilidad.
3. Para investigaciones futuras, realizar un análisis técnico, financiero y económico de costo/beneficio del tratamiento de lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la lombricultura con *Eisenia foetida*, a fin de determinar la rentabilidad de su implementación.

CAPÍTULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Enlaces Web:

- ✓ CABRERA SANTA CRUZ. **Manual de lombricultura**. Disponible en:
http://www.pilcomayo.net/media/biblioteca/libro_787_MA-156.pdf.
Artículo web. Consultada el 12 de marzo del 2016.
- ✓ CONCHA ORTIGOSA RIVAS. **Anatomía y fisiología de la lombriz roja**. Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/biodiversidad-en-mi-compostador/160-anatomia-y-fisiologia-de-la-lombriz-roja.html>. Artículo web. Consultada el 08 de Noviembre del 2015.
- ✓ LABORDE, Gustavo. **Lombrices contra la contaminación**. Disponible en: <http://www.oei.org.co/sii/entrega19/art02.htm> . Artículo web. Consultada el 12 de marzo del 2016.
- ✓ SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN. Fichas técnicas sobre actividades agrícolas, pecuarias y de traspatio: Lombricultura. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Lombricultura.pdf> . Artículo web. Consultada el 18 de Octubre del 2016.
- ✓ TINEO BERMUDEZ. **Crianza y manejo de lombrices de tierra con fines agrícolas**. Disponible en:
http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1029/Crianza_y_manejo_de_lombrices_de_tierra.pdf;jsessionid=614D4C93DA

[9E26CA52CF3DC52F340409?sequence=1](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/Probarros/file/12.pdf) . Artículo web. Consultada el 03 de marzo del 2016.

- ✓ UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Folleto informativo de tecnología de biosólidos, aplicación de biosólidos al terreno.** Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/Probarros/file/12.pdf> . Artículo web. Consultada el 08 de Noviembre del 2015.

Revistas:

- ✓ DOMINGUEZ, Jorge. **State of the art and new perspectives in vermicomposting research**, en *C.A. Edwards. Earthworm Ecology*, p. 401-425. 2004.
- ✓ DROPELMANN, Carmen Verónica; GAETE, Carolina Pía; MIRANDA, Paulina (2009). **Remoción mediante vermicomposteo de los coliformes fecales presentes en lodos biológicos.** En *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* N.º 49: 124-128. 2009.
- ✓ FRANCISCO ATENCIO, Jenny; RAMOS MATÍAS, Pedro; AGUIRRE YATO, Guillermo. **Aprovechamiento agrícola del lodo generado en la PTAR de Puente Piedra, Lima - Perú.** En *Revista de la Sociedad Química del Perú*. Vol. 77, N° 1: 75-85. 2011.
- ✓ GUZMÁN CAROLINA Y CAMPOS CLAUDIA. **Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura**, en *Universitas scientiarum*. Vol. 9, N° 1: 59-67. Junio del 2004.

- ✓ MONTOYA MORENO, Giset Natalia; BUITRAGO, John Alexander. **Producción de humus a través del tratamiento de biosólidos con vermicompostaje, una mirada al futuro.** En *Rev. Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina*. ISSN 2145-5759. 2011.
- ✓ NORMA OROPEZA GARCÍA. **Lodos residuales: estabilización y manejo,** en *Caos Conciencia*. Vol. 1: 51 – 58. 2006.
- ✓ OTTAVIANI, M.; SANTARSIERO, A.; DE FULVIO, S. P. **Hygienic, technical and legislative aspects of agricultural sewage sludge usage,** en *Acta Chim. Hung.* n.128, p. 535-543. 1991.
- ✓ TOCCALINO, P. SEREBRINSKY, C. ROUX, J. **Comportamiento reproductivo de la lombriz Roja Californiana según estación del año y tipo de alimentación.** En *Rev. Vet.* Vol. 15, Nº 2: 65-69. 2004.
- ✓ TORRES, Patricia; PEREZ, Andrea; ESCOBAR, Juan C.; URIBE, Iris E.; IMERY, Ricardo. **Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales,** en *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v. 27, n.1, p. 267-275. 2007.

Libros:

- ✓ ADEX. **Lombricultura – Una alternativa de producción.** La Rioja: Adex. 2002.
- ✓ ANGULO AGUADO; SEOANEZ CALVO. **Aguas residuales urbanas: tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento.** Madrid. Mundi Prensa. 1995.

- ✓ BARBADO, JOSE LUIS. **Cría de lombrices**. Buenos Aires. Editorial Albatros. 2009.
- ✓ DUNCAN MARA. **El tratamiento de aguas residuales en climas cálidos**. London – New York – Sydney – Toronto. Edit. John Wiley & Sons. 1976.
- ✓ FUNDACION AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE (FAMA). **La lombricultura en la agricultura orgánica**. Santo Domingo, Dominicana, Rep. Editora Andrea Brechelt. 2008.
- ✓ HENRÍQUEZ, CARLOS; MORA, LUIS. **Produciendo abono de lombriz. Turrialba, provincia de Cartago**. Imprenta Nacional. 2003.
- ✓ KIELY, G. **Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión**. Madrid. McGraw – Hill. 1999.
- ✓ KUTER, G.; BLACKWOOD, K.; L. F. DÍAZ, J.; DONOVAN, D.; DURFEE, E.; EPSTEIN, J.; HAY, M.; LANG, T.; RICHARD, G.; SAVAGE, R.; STRATTON, R.; TARDY, T.; WALSH, C.; WILBER III; WILLIAMS, T. **Biosolids composting. Water Environment Federation**. Washington. 1995.
- ✓ MARTÍNEZ, C. C. **Potencial de la lombricultura, elementos básicos para su desarrollo**. Texcoco, estado de México. 2º Edición en Prensa. 1999.
- ✓ MENDOÇA, S. R. **Sistemas de Lagunas de Estabilización**. Bogotá. Mc Graw – Hill Interamericana. 2000.
- ✓ NUÑEZ, J. **Fundamentos de edafología**. San José. Edit. UNED. 1985.

- ✓ RUSSEL, Edward J.; WILD, Alan. **Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas**. Madrid. Mundi Prensa Libros S.A. 1992.
- ✓ SCHULDT, Miguel. **Lombricultura: teoría y práctica**. Madrid. Mundi Prensa. 2006.

Tesis:

- ✓ ÁVILES SACOTO, Estefanía Caridad. **Determinación de la efectividad del proceso de Lombricultura como tratamiento para la estabilización de Lodos Residuales provenientes de una Planta de Tratamiento de Aguas**. Tesis de Grado para optar el título de Ingeniera Ambiental. Cuenca, México. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. 2011.
- ✓ QUINTANA VALENCIA, Judith Marcela. **Estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR – Cañaveralejo, Cali – Colombia**. Tesis de grado para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial. Cali, Colombia. Universidad de San Buenaventura Cali. 2012.
- ✓ RODRIGUEZ COTUA, Eder Andrés. **Gestión ambiental para los subproductos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales en el jardín botánico de la Universidad Nacional de Colombia y comparación con sistemas similares en San Andrés Isla**. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental. San Andrés Isla, Colombia. Universidad Nacional de Colombia sede Caribe. 2008.

- ✓ TREJOS VÉLEZ, Mariana; AGUDELO CARDONA, Natalia. **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.** Tesis de Grado para optar el título de Administrador Ambiental. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. 2012.

ANEXOS

1. Matriz de consistencia

- a. Título de la investigación: “OBTENCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS POR MEDIO DE LAS LOMBRICES “*Eisenia foetida*” A PARTIR DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN ANTONIO DE CARAPONGO”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p>Problema General: ¿Al aplicar la lombricultura con <i>Eisenia foetida</i> como alternativa tecnológica influirá en la calidad del abono orgánico a partir de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo?</p> <p>Problemas específicos: ¿Al aplicar distintos</p>	<p>Objetivo General: Obtención de abonos orgánicos a por medio de la lombricultura a partir de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo.</p> <p>Objetivos específicos: 1. Determinar el</p>	<p>Hipótesis General: La aplicación de la lombricultura influirá en la calidad del abono orgánico a partir de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.</p> <p>Hipótesis</p>	<p>Tipo: La presente investigación será de tipo aplicada, porque la investigación que se realizó cumple con las características de una investigación aplicada, ya que se transformó los lodos residuales de la planta de tratamiento de</p>	<p>Población: La población en estudio estará constituida por los lodos residuales de la PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO producidos en un mes.</p> <p>Muestra: Son muestras</p>

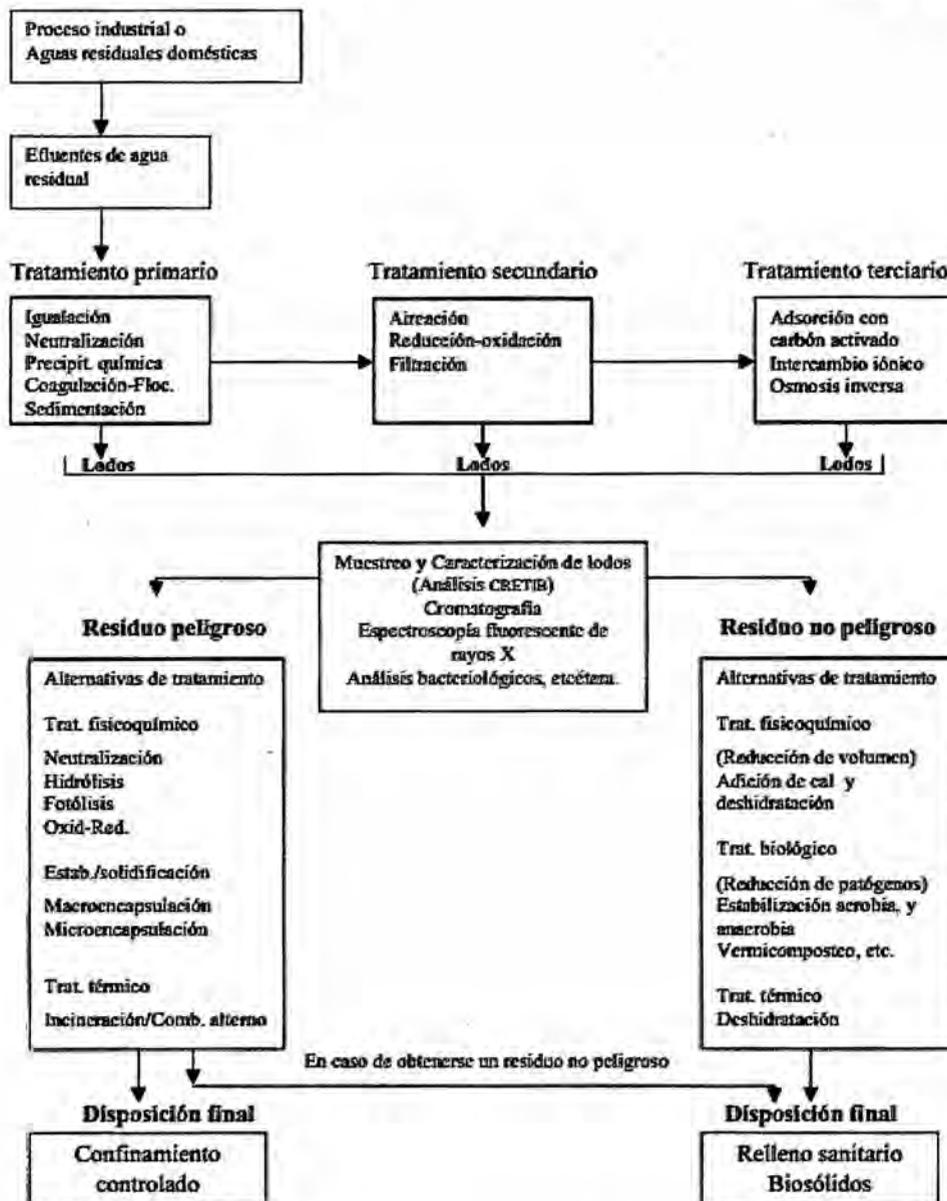
<p>¿Al definir el ecosistema óptimo para el desarrollo de la lombriz "Eisenia foetida"?</p>	<p>ecosistema óptimo para el desarrollo de la lombriz "Eisenia foetida".</p>	<p>específicas. H₁ La aplicación de distintos sustratos definirá el ecosistema óptimo para el desarrollo de la lombriz "Eisenia foetida"</p>	<p>aguas residuales San Antonio de Carapongo en abono orgánico usando como tecnología del lombricultivo</p>	<p>homogéneas distribuidas de la siguiente manera: se tomó una muestra de 250 Kg que fueron distribuidas en cuatro camas experimentales:</p>
<p>¿Al realizar un análisis a nivel de laboratorio podrá terminarse el experimento en la calidad del abono orgánico luego del tratamiento por lombricultivo?</p>	<p>2. Obtener los parámetros físicoquímicos en laboratorio que indique la calidad del abono orgánico.</p>	<p>H₂ El análisis a nivel de laboratorio determinara el aumento en la calidad del abono orgánico luego del tratamiento por lombricultivo.</p>	<p>Diseño de la investigación: El diseño es de tipo cuantitativo–cuasiexperimental, ya que en el presente estudio de investigación se especifican los parámetros (pH, color, cantidad de lombrices/mes y análisis de macronutrientes) que determinan que el abono orgánico es buena calidad, las cuales fueron medidas con instrumentos de observación, instrumentos mecánicos y</p>	<p>1.-M1: 100 Kg. de lodo 2.-M2: 50 Kg. de lodo 3.-M3: 50 Kg. de lodo 4.-M4: 50 Kg. de lodo Las muestras fueron obtenidas del lecho de secado</p>
<p>¿Al comparar los resultados de laboratorio con estándares internacionales y análisis de otras investigaciones similares podrá definirse la calidad del abono obtenido?</p>	<p>3. Comparar los resultados del laboratorio con estándares internacionales y análisis de otras investigaciones similares.</p>	<p>H₃ La comparación de los resultados de laboratorio con estándares internacionales y análisis de otras investigaciones similares definirá la calidad del abono obtenido.</p>	<p>análisis de macronutrientes) que determinan que el abono orgánico es buena calidad, las cuales fueron medidas con instrumentos de observación, instrumentos mecánicos y</p>	<p>Las muestras fueron obtenidas del lecho de secado</p>

			<p>análisis de laboratorio.</p> <p>También se recogió información de otras investigaciones y estándares internacionales para hacer la comparación de los parámetros especificados, mas no se indica cómo se relacionan éstas.</p> <p>También de tipo de diseño cusixperimental es el “Diseño con postprueba únicamente y grupos intactos”.</p>	
--	--	--	--	--

2. Alternativas planteadas para tratamiento y disposición de lodos.

Caos Conciencia 1: 51-58, 2006

N. Oropeza



Fuente: OROPEZA GARCÍA NORMA. Lodos residuales: estabilización y manejo

3. Carta de permiso de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional del Callao a SEDAPAL

CARGO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

"Año de la Promoción de la Industria Responsable y del Compromiso Climático"



Bellavista, 04 de julio del 2014

OFICIO N°306-2014-D-FIARN

Ingeniero
FRANCISCO QUEZADA NECIOSUP
GERENTE DE GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES - SEDAPAL
Presente.-



De mi especial consideración,

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarlo cordialmente a nombre de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao que represento y el mio propio y, a la vez hacer de su conocimiento que nuestros estudiantes en su pleno derecho quieren afianzar su desarrollo académico y realizar trabajos de investigación para proyecto de tesis.

En esta oportunidad presento a usted, a los alumnos: **MARQUINA TRIGOSO, Leonidas Flavio y MARTÍNEZ FLORES, Jhohans Pelayo**, a fin de que puedan brindarles los espacios necesarios y la información para el trabajo que viene desarrollando sobre procesos de mejora continua y las certificaciones de estándares de Calidad y Gestión Ambiental que posee mercedamente SEDAPAL.

La actividad que van a desarrollar los alumnos es sobre el tratamiento de los Lodos residuales provenientes del lecho de secado, el cual es transportado a los rellenos sanitarios, anulando todo tipo de aprovechamiento.

Por tal motivo Recorro a usted, a fin de que tenga a bien disponer a quien corresponda autorización para el ingreso a la Planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo a partir de la fecha hasta noviembre del 2014.

Esperando la valiosa atención que brinde al presente me despido de usted no sin antes expresarle mi especial deferencia,

Atentamente,

Mg. Estando Trujillo Flores
CARGO

HF 0720
16-07-14

Rosario L.
Cc: Archivo

4. Análisis de laboratorio del humus de lombriz



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : LEONIDAS MARQUINA TRIGOSO
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ ATE-VITARTE
 MUESTRA DE : HUMUS DE LOMBRIZ
 REFERENCIA : H.R.-50576
 BOLETA : 12234
 FECHA : 31/07/15

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
470		6.90	6.66	38.51	1.97	4.14	0.65

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
470		6.36	1.32	62.58	0.17

Sady García Bendezu
 Jefe de Laboratorio

5. Validación de Instrumentos por opinión de expertos

DISEÑO DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

1. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres del Informante: Baca Rueda Manuel Ricardo

1.2. Cargo e institución donde labora: Docente cursos de Contaminación de Suelos y Control, y Planificación y Ordenamiento y Ordenamiento Territorial.

Nombre del instrumento o motivo de evaluación:

Resumen de Técnicas e Instrumentos.

Técnica	Instrumentos
Técnica Observación.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registros de observación: <li style="padding-left: 20px;">Conteo de lombrices / mes <li style="padding-left: 20px;">Tabla Munsell: 10YR ➤ Notas ➤ Inventario fotográfico
Técnica de observación asistida técnicamente:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instrumentos mecánicos <li style="padding-left: 20px;">Papel tomasol para medir pH ➤ Instrumentos electrónicos <li style="padding-left: 20px;">Análisis de humus de lombriz obtenida de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo por LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES de la facultad de AGRONOMÍA de la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Técnica de recolección de datos secundarios (recolectados por otros investigadores)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informe de Ensayo N° LE1412001656. ➤ 40 CFR part 503 Sewage Sludge Annual Report Review Guide EPA. ➤ Resultado de laboratorio de la tesis 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.

Fuente: elaboración propia.

1.3. Autores del instrumento: Leónidas Marquina Trigoso y Jhohans Martínez Flores
Estudiantes Egresados de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos
Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

1.4. Investigación: OBTENCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS POR MEDIO DE
LAS LOMBRICES "*Eisenia foetida*" A PARTIR DE LOS LODOS
RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES SAN ANTONIO DE CARAPONGO LIMA – PERÚ.

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 1-20	Regular 21-40	Buena 41-60	Muy Buena 61-80	Excelente 81-100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.					85
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.					90
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.					84
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica entre (variables e indicadores)					85
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					90
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos sobre parámetros físicos y químicos en el tema de estudio.					88
7. CONSISTENCIA	Consistencia entre la formulación del problema, objetivos y la hipótesis.				80	
8. COHERENCIA	Entre los indicadores y las dimensiones.					90
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito de la investigación.					86
10. PERTINENCIA	Adecuado para tratar el tema de investigación.					92

II. **OPINIÓN DE APLICABILIDAD:**

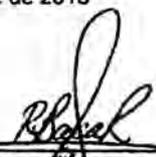
Es una investigación de gran aporte a la generación de abonos orgánicos con buena calidad de nutrientes, a partir de lodos provenientes de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

III. **PROMEDIO DE VALORACIÓN: 87**

LUGAR Y FECHA: Bellavista – Callao, 13 de setiembre de 2016

DNI. N°: 06850776

Teléfono N° 981522725


Firma del experto informante
CIP N° 47593

DISEÑO DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

L DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres del Informante: DOMÍNGUEZ RAMOS CARLOS

1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE DE LA ASIGNATURA:
MICROBIOLOGÍA AMBIENTAL Y MICROBIOLOGÍA GENERAL

Nombre del instrumento o motivo de evaluación:

Resumen de Técnicas e Instrumentos.

Técnica	Instrumentos
Técnica Observación.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registros de observación: <ul style="list-style-type: none"> Conteo de lombrices / mes Tabla Munsell: 10YR ➤ Notas ➤ Inventario fotográfico
Técnica de observación asistida técnicamente:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instrumentos mecánicos <ul style="list-style-type: none"> Papel tornasol para medir pH ➤ Instrumentos electrónicos <ul style="list-style-type: none"> Análisis de humus de lombriz obtenida de lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo por LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES de la facultad de AGRONOMÍA de la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Técnica de recolección de datos secundarios (recolectados por otros investigadores)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informe de Ensayo N° LE1412001656. ➤ 40 CFR part 503 Sewage Sludge Annual Report Review Guide EPA. ➤ Resultado de laboratorio de la tesis 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.

Fuente: elaboración propia.

1.3. Autores del instrumento: Leónidas Marquina Trigoso y Jbohans Martínez Flores
Estudiantes Egresados de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos
Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

1.4. Investigación: OBTENCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS POR MEDIO DE
LAS LOMBRICES "*Eisenia foetida*" A PARTIR DE LOS LODOS
RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES SAN ANTONIO DE CARAPONGO LIMA - PERÚ.

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 1-20	Regular 21-40	Buena 41-60	Muy Buena 61-80	Excelente 81-100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.					90
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.					90
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.					85
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica entre (variables e indicadores)					90
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.					85
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos sobre parámetros físicos y químicos en el tema de estudio.					81
7. CONSISTENCIA	Consistencia entre la formulación del problema, objetivos y la hipótesis.					90
8. COHERENCIA	Entre los indicadores y las dimensiones.					95
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito de la investigación.					88
10. PERTINENCIA	Adecuado para tratar el tema de investigación.					96

II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

ES UNA TESIS DE GRAN APEATE PARA LA OBTENCIÓN DE
ABONOS ORGANICOS CON BUENA CALIDAD DE NUTRIENTES

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 88.6%

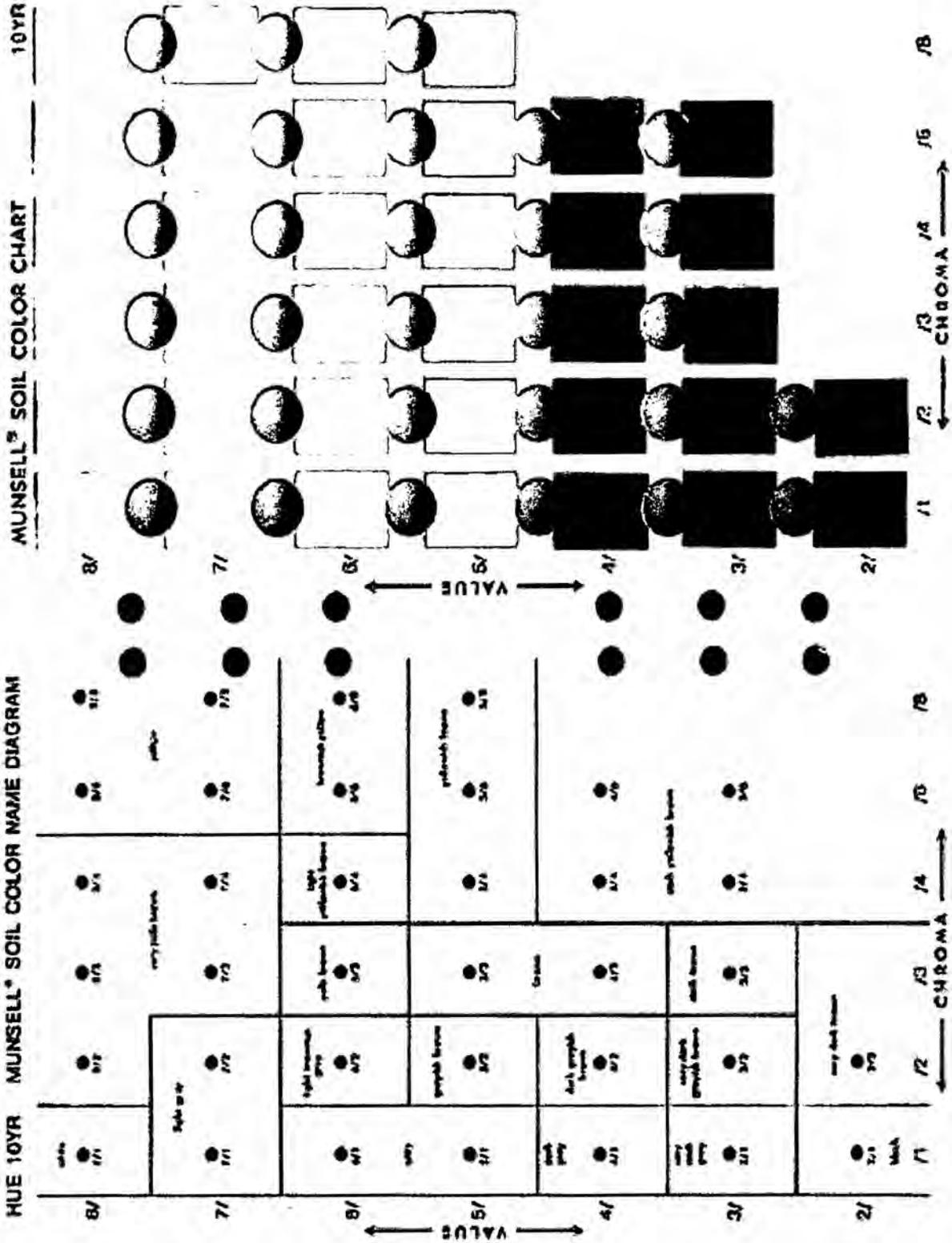
LUGAR Y FECHA: Bellavista - Callao, 14 setiembre de 2016

DNI N°: 076 95630

Teléfono N°: 950958253


Firma del experto informante

6. Tabla de Munsell 10YR



7. Informe de Ensayo N° LE1412001656



Caring about quality
Baitic Control[®]
 S.A.

INFORME DE ENSAYO N° LE1412001656

RAZON SOCIAL : TECNOLOGÍAS ECOLÓGICAS PRISMA SAC
DOMICILIO LEGAL : AV. MARISCAL CASTILLA NRO. 818 URB. MONTAÑONE (CORA 22 AV BENAVIDES) LIMA - LIMA - SANTIAGO DE SURCO
SOLICITUD DE SERVICIO/CONTRATO : CMA140101181
PRODUCTO : LODO DESHIDRATADO
IDENTIFICACION : PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO (CASETA DE VIGILANCIA)
PRECINTO : No aplica
NUMERO DE MUESTRAS : 01
CANTIDAD DE MUESTRA : Siete (07) unidades de 1 Kg.
PRESENTACION : Frascos de plástico
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : Refrigerada
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : Proporcionada por el cliente
FECHA DE INGRESO : 31-12-14
FECHA DE INICIO DE ANALISIS : 31-12-14
ANALISIS REALIZADO EN : Laboratorio: Microbiología (MB) y Física Química (FQ)
CODIGO LABORATORIO :
MB:01150
FQ:00987



Análisis Microbiológico		
REQUISITOS	VALOR OBTENIDO	UNIDADES
Coliformes Totales	940 000	NMP/10 g
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP)	280 000	NMP/10 g
Salmonella	Presencia	5pr/25 g
Oxitas y Oquistes de Protozoarios Patógenos:		
Cryptosporidium sp.	04	ind/1000 g
Enteroquistes	05	
Parásitos:		
Tremátodo		
Fasciola Hepática	<1	
Paragonimus sp.	<1	
Cestodo		
Hymenolepis sp.	04	
Taenia sp.	<1	
Diphylobotrium sp.	<1	Huevos/1000 g
Nematodo		
Ascaris sp.	<1	
Necator sp.	<1	
Trichostrongylus sp.	<1	
Strongyloides sp.	<1	
Enterobius sp.	<1	
Análisis Fisicoquímico		
REQUISITOS	VALOR OBTENIDO	UNIDADES
Arsénico	7.1	mg/kg
Cadmio	6.8	mg/kg
Cobalto	783	mg/kg
Plomo	633	mg/kg

VALERY RENE
 NALINDO CANO
 INGENIERO SANITARIO
 REG. CP N° 86418

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE UN DELITO AMBICIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

NOTA: Este informe es válido para el uso interno del laboratorio y no debe ser utilizado como evidencia de conformidad con normas de productos o servicios. El uso indebido de este informe constituye un delito amercionado conforme a la ley, por la autoridad competente.

HA-13-V7-01 / V02

Global Independent Inspections, Testing and Certification Services

Baitic Control S.A.
 Calle 14 de Julio N° 1000, Lima 1, Perú
 T: +51 1 422 2222

ifia



Caring about quality
Baltic Control[®]

JURA EESTI V. LAM. 5-4

INFORME DE ENSAYO Nº LE1412001688

Mercurio	8.46	mg/kg
Niquel	85	mg/kg
Zinc	727	mg/kg
Cromo	6.73	mg/kg
Molibdeno	6.4	mg/kg
Selenio	5.3	mg/kg
pH	6.4	-
Humedad	72.3	%
Peso específico	2.4	%
Sólidos fijos	81.4	%
Sólidos volátiles	18.6	%
Conductividad eléctrica	629	µS/cm
Calcio	40230	mg/kg
Magnesio	2540	mg/kg
Potasio	786	mg/kg
Sodio	2282	mg/kg
Bicarbonatos	2303	mg/kg
Carbonatos	6.3	mg/kg
Cloruros	291	mg/kg
Sulfatos	124.2	mg/kg
Carbono orgánico	5.6	%
Fósforo	140	mg/kg
Nitrógeno amoniacal	438	mg/kg
Nitratos	0.43	mg/kg
Nitritos	2.44	mg/kg
Nitrógeno Total	468.1	mg/kg
Acidez y Alcalinidad	16344	mg/kg
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	100.32	meq/100g

10000 g: número más probable por 10 gramos, 10/25 g: especie por 25 gramos, 10/1000 g: individuos por 1000 gramos.
mg/kg: miligramos por kilogramo



MÉTODOS UTILIZADOS EN LABORATORIO:

Microbiológico	ENENWV-APHA-MWWA-1727 Part 1021 E, 2nd Ed. 2012
Coliformos Totales	ENENWV-APHA-MWWA-1727 Part 1021 E, 2nd Ed. 2012
Coliformos Fecales y Termotolerantes (CFM)	ENENWV-APHA 22nd Ed. 2012-2020 F. Pág. 3-10 e 3-18
Unidad de Salmonea	Técnicas de concentración y filtración de BREATHER
Detección de larvas y huevos de Insectos, quistes y cistóides de protozoos patógenos	Técnicas de concentración y filtración de BREATHER
Quistes y Oocistos de Protozoos Patógenos	Mét. 2000 5.5.1
Cryptosporidium sp.	ENENWV-APHA 22nd Ed. 2012-2020 F. 3111B, Pág. 3-10, 3-20
Giardia	ENENWV-APHA 22nd Ed. 2012-2020 F. 3111B, Pág. 3-10, 3-20
Cobre	ENENWV-APHA 22nd Ed. 2012-2020 F. 3111B, Pág. 3-10, 3-19
Plomo	ENENWV-APHA 22nd Ed. 2012-2020 F. 3111B, Pág. 3-10, 3-27
Mercurio	ENENWV-APHA 22nd Ed. 2012-2020 F. 3111B, Pág. 3-10, 3-25
Niquel	ENENWV-APHA 22nd Ed. 2012-2020 F. 3111B, Pág. 3-10, 3-25
Zinc	ENENWV-APHA 22nd Ed. 2012-2020 F. 3111B, Pág. 3-10, 3-24
Cromo	ENENWV-APHA 22nd Ed. 2012-2020 F. 3111B, Pág. 3-10, 3-23
Molibdeno	EPA Method 200.7, Rev. 4.1, 8th Ed. Version Determination of Metals and trace Elements in Water
Selenio	EPA Method 200.7, Rev. 4.1, 8th Ed. Version Determination of Metals and trace Elements in Water
pH	Método electroquímico
Humedad	Método gravimétrico a 104 °C
Peso específico	Método gravimétrico
Sólidos fijos	Método gravimétrico
Sólidos volátiles	Método gravimétrico
Conductividad eléctrica	ENENWV-APHA 22nd Ed. 2012-2020 F. Pág. 2-64
Calcio	Digestión ácida, Espectrofotometría de absorción atómica
Magnesio	Digestión ácida, Espectrofotometría de absorción atómica

VALERY RINE
DARIUS ČIČIŅ
INGEBERT SARTIARUC
REG. CP Nº 66418

Página 2 de 3

Procedimiento de control de calidad en el laboratorio de análisis de aguas de la empresa "Baltic Control" Ltd. en
Correspondencia con el método de análisis de aguas de la empresa "Baltic Control" Ltd. en
Las muestras de las aguas se obtienen en el laboratorio de análisis de aguas de la empresa "Baltic Control" Ltd. en
según el procedimiento de análisis de aguas de la empresa "Baltic Control" Ltd. en

PL 13 07-03 / V02

of independent inspection,
testing and certification services

Baltic Control OÜ

ifia



INFORME DE ENSAYO N° LE1412801668

Plomo
 Sodio
 Bicarbonato
 Carbonato
 Cloruro
 Oxígeno
 Carbono orgánico
 Fosforo
 Hidrogeno amoniacal
 Nitros
 Nitrosos
 Hidrogeno Total
 Aceite y Grasa
 Demanda de oxígeno
 Sulfuro (S_T)

Espectrofotometría de elementos pesados
 SM 9000 APHA 22nd Ed 2012-3511 B, Pág. 3-16
 Espectrometría en solución. Análisis de metales-CMA 015, 2011
 Carbonato en agua. Análisis de metales-CMA 015, 2011
 SM 9000 APHA 22nd Ed 2012-4000-CL-B, Pág. 4-60
 NACH 8151
 Carbono orgánico en agua. Múltiple y total. Method 1547.
 EPA Method 2007, Rev 4.4, USEC Version. Determination of Metals and base Elements in Water
 SM 9000 APHA 22nd Ed 2012-4000-CL-B C, Pág. 4-110 a 4-111
 NACH 8152
 NACH 8153
 SM 9000 APHA 22nd Ed 2012-4000-CL-B C, Pág. 4-110 a 4-111
 SM 9000 APHA 22nd Ed 2012-5520 B, Pág. 3-40
 Método Kjeldahl y/o Titulación con amonio



Lima, 08 de Enero de 2015

[Handwritten signature]
 Laboratorio de Ensayo
 SULL OAR & CIA S A
 Calle 10 de Agosto 1000
 Lima, Perú

**VALENTIN
 RAULINO CANO
 INGENIERO QUIMICO
 REG. CP 16 6848**

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE UN DELITO BAUCONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

37 **Página 1 de 1**
 Política de privacidad y política de confidencialidad de la información personal de los clientes de SULL OAR & CIA S.A.
 Este informe es el resultado de un análisis de laboratorio realizado en el laboratorio de ensayos de SULL OAR & CIA S.A.
 Este informe es válido únicamente para el análisis de laboratorio y no debe ser utilizado para otros fines. SULL OAR & CIA S.A. no se responsabiliza por el uso indebido de este informe.
 Si desea más información, comuníquese con SULL OAR & CIA S.A. al teléfono 01 425 1234 o al correo electrónico info@sull.com

TS-1547-03 / V02

Global Independent verifiers,
 testing and certification services

SULL OAR & CIA S.A.

[Handwritten signature]

8. Factores gravimétricos

TABLA DE FACTORES DE CONVERSIÓN DE INTERÉS EN LA AGRICULTURA

Para convertir A a B Multiplicar por	A	B	Para convertir B a A Multiplicar por
Medidas de Concentración			
1	Centímoles/kilogramo (cmol/kg)	Miliequivalentes/100gramos (meq/100g)	1
0.1	Gramos/kilogramo (g/kg)	Porcentaje (%)	10
1	Miligramos/kilogramo (mg/kg)	Partes por millón (ppm)	1
10 ⁴	Porcentaje (%)	Partes por millón (ppm)	10 ⁴

Fuente: Lignoquim, Guayaquil, Ecuador

FACTORES DE CONVERSIÓN DE MINERALES UTILIZADOS EN AGRICULTURA

Para convertir A a B Multiplicar por:	A	B	Para convertir B a A Multiplicar por:
0.8302	K ₂ O	K	1.2046
0.7147	CaO	Ca	1.3992
0.4005	SO ₃	S	2.4969
0.3338	SO ₄	S	2.9959
0.3106	B ₂ O ₃	B	3.2199
0.7988	CuO	Cu	1.2519
0.4364	P ₂ O ₅	P	2.2914
0.7242	H ₃ PO ₄	P ₂ O ₅	1.3808
0.6994	Fe ₂ O ₃	Fe	1.4298
0.6031	MgO	Mg	1.6581
0.7745	MnO	Mn	1.2912
0.6665	MoO	Mo	1.5004
0.2259	NO ₃	N	4.4266
0.7765	NO ₄	N	1.2878
0.4674	SiO	Si	2.1393
0.8033	ZnO	Zn	1.2448

Fuente: Lignoquim, Guayaquil, Ecuador

9. Prueba Piloto realizado en la PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO - SEDAPAL

Prueba piloto del tratamiento de lodos residuales para la generación de humus de lombriz en la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo.

En esta parte del capítulo vamos a detallar la experiencia realizada en la PTAR San Antonio de Carapongo, explicaremos todas las actividades realizadas como son instalación, siembra, alimentación, medición de parámetros, riego, volteo, aireación cosecha.

Para la ejecución del presente piloto contamos con los permisos que nos otorgó la Gerencia de Gestión de Aguas Residuales –SEDAPAL. Para la cual se tuvo que presentar una solicitud enviado por el decano Mg. Eduardo V. Trujillo Flores dirigido al gerente. Ing. Francisco Quezada Neciosup.

En la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo se hizo coordinaciones con el operador Eutemio Marquina Retamozo para que pueda facilitar el acceso a las diferentes áreas que tengan injerencia en el proyecto, también un almacén exclusivo para el proyecto y la logística en el tiempo que dure el proyecto piloto.

Objetivo general del piloto

Evaluar el proceso de estabilización de lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “San Antonio de Carapongo” por medio de

lombricultivo, como una alternativa de aprovechamiento de los residuos, orientado a la sostenibilidad ambiental y económica.

Objetivos específicos.

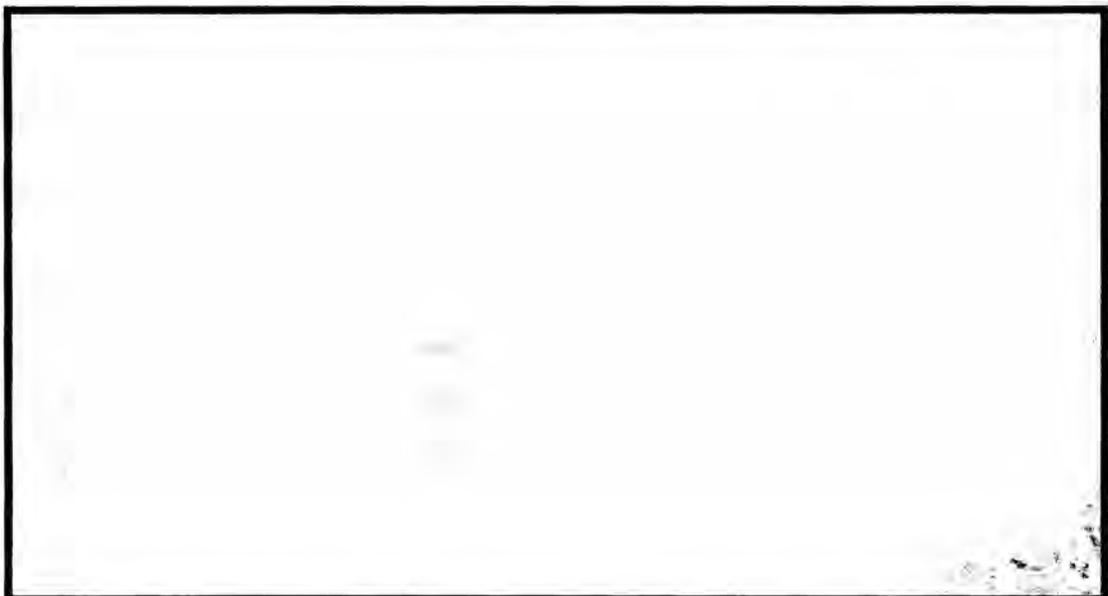
- Determinar el potencial aprovechable de los lodos, a partir de sus características biológicas, físicas y químicas.
- Seleccionar la alternativa óptima frente a la definición de nutrientes a suministrar a los cultivos, derivados de la transformación de los lodos que se producen en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Descripción del área de estudio.

Localización.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo se ubica en la zona de Carapongo en la margen derecha del río Rímac en los terrenos que ocupa la Urbanización San Antonio de Carapongo.

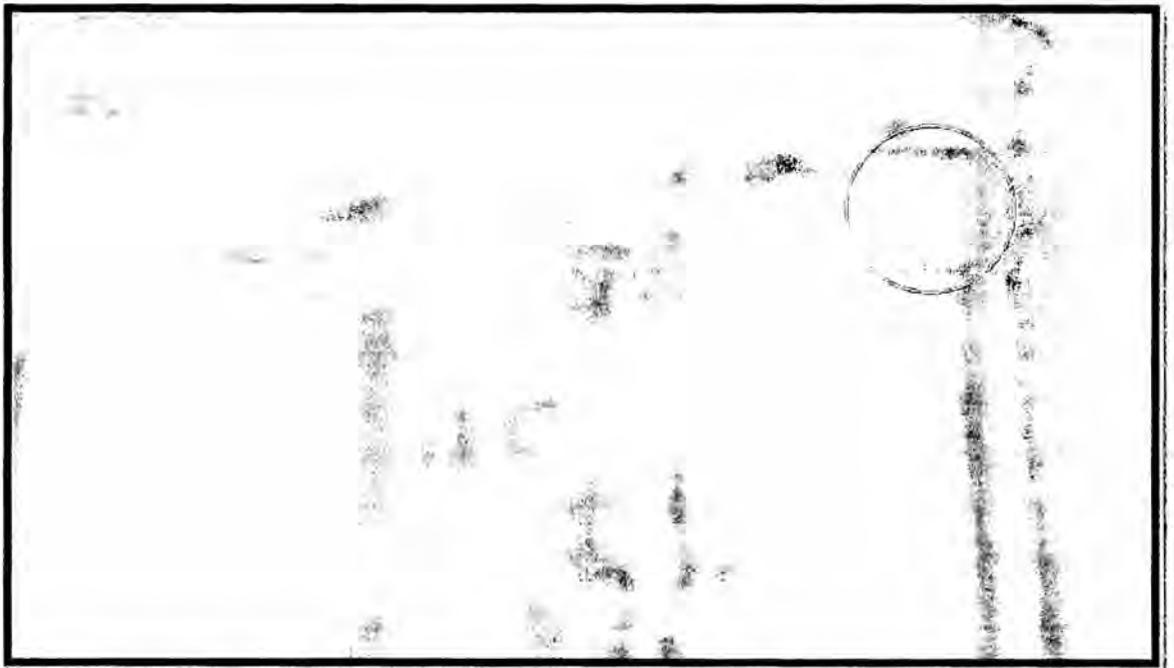
Foto 1: Planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de



Carapongo

Los montajes experimentales y definitivos se ubicaron en la parte posterior de la PTAR al costado del almacén de cal, con un área de 53.308 m² y un perímetro de 33.356 m, como se muestra en el Plano satelital.

Foto 2: Localización del área de estudio.



Análisis da la investigación.

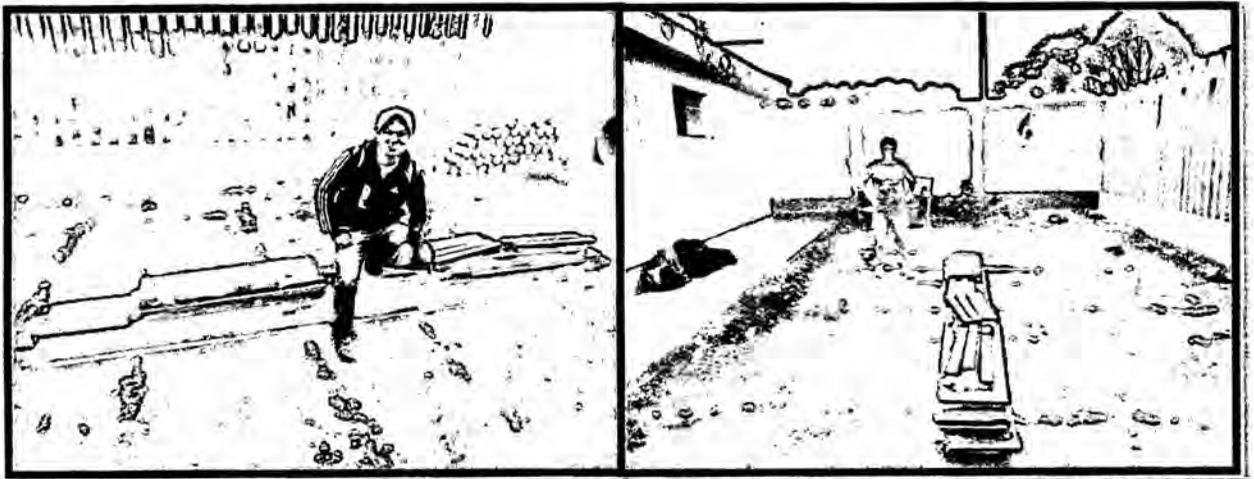
Las actividades para cumplir con los objetivos planteados serán realizadas según los pasos planteados a continuación.

Área de trabajo:

El área destinada para la instalación del lombricultivo se sitúa en un lugar aireado, cuenta con un área de 53.308 m² y un perímetro de 33.356 m; se

tiene en cuenta que el sitio debe estar cerca de la fuente de agua para su riego, por eso cuenta con un grifo de agua y con fácil acceso para el suministro del sustrato

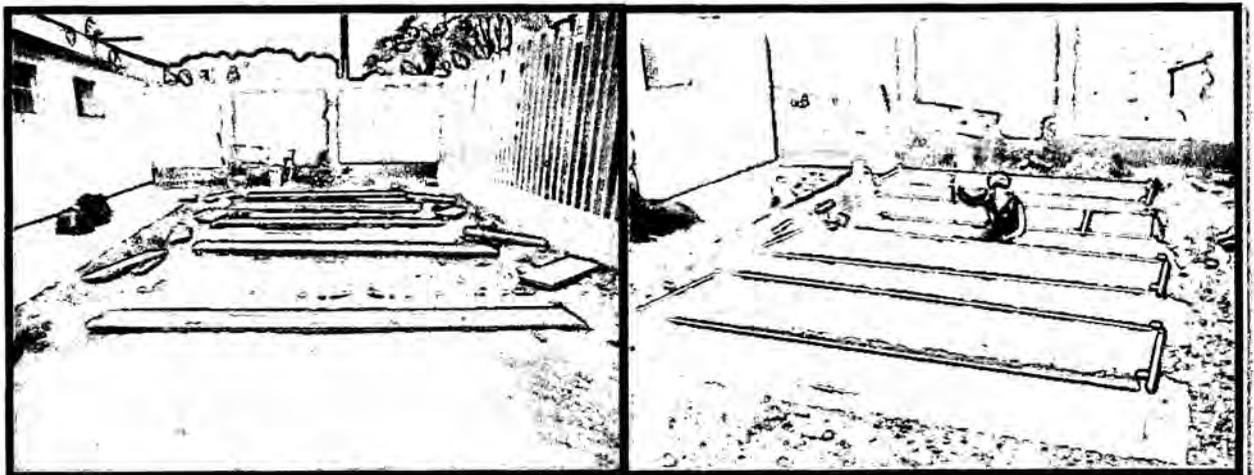
Foto 3: Área de trabajo.



Montaje experimental:

Se instalaron cuatro camas de 3.5 m de largo por 1 m de ancho y 0.30 m de altura, el material utilizado para las camas es madera roble las cuales fueron habilitadas con las medidas exclusivamente para el proyecto piloto, como se observa a continuación:

Foto 4: Camas instaladas (antes y después)



También se instaló las paredes que cercara el área de trabajo para evitar el paso del personal que labura en la planta de tratamiento de aguas residuales y un techo para evitar la radiación directa del sol, se usó como material para la pared y el techo malla rachel. (poli sombra), para la instalación de la paredes se tuvo que colocar postes de madera para que sirvan de sostén de la malla rachel, para la instalación del techo se tuvo que mandar a coser un solo cuerpo de malla rachel de 64 m², que es lo que cubre todo el área de trabajo, la instalación de la pared y el techo se observa a continuación:

Foto 5: Pared y techo de malla rachel



Siembra de las camas de lombriz:

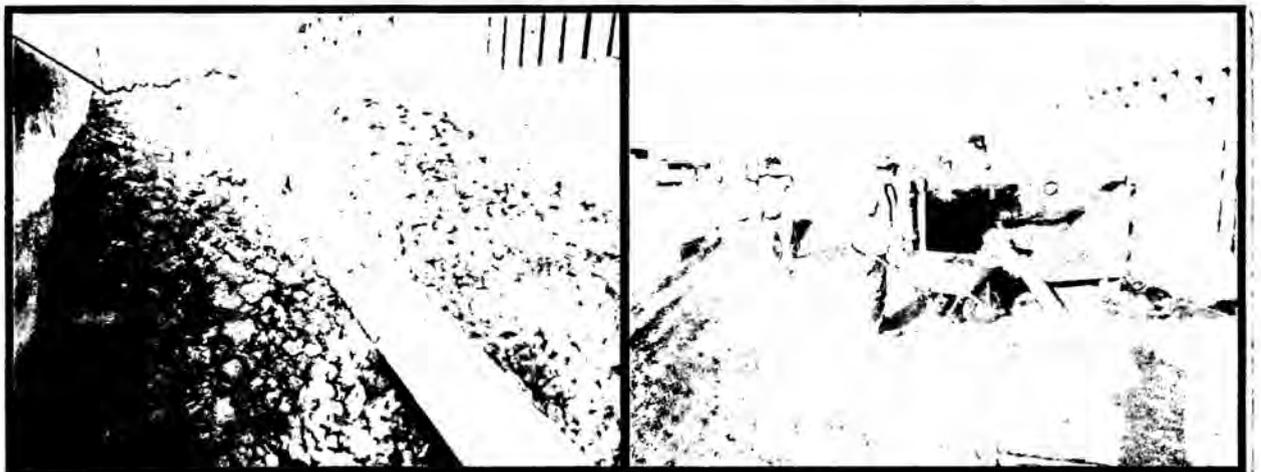
Sustratos: Para esta etapa en primer lugar elegimos el sustrato que se sembraría en cada una de las camas, usamos, lodos residuales, estiércol de conejo, compostaje y una combinación de los tres sustratos anteriores.

Foto 6: Compra de estiércol de conejo y compostaje en la Universidad la Cantuta



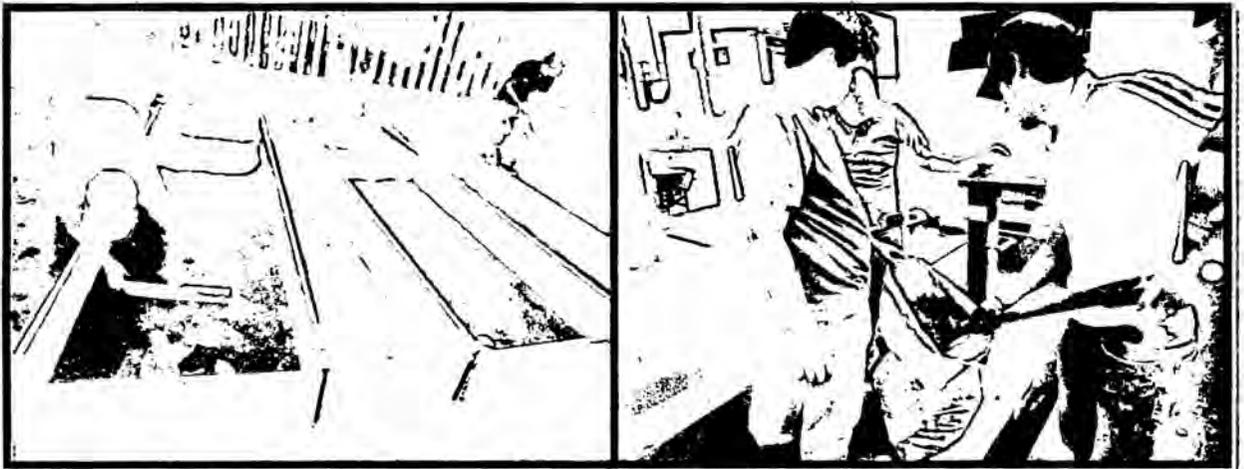
Lodos residuales: Traslado de los lodos residuales deshidratados hacia el área de trabajo, para cual se utilizó bugís y palas para el trabajo.

Fotos 7: Transporte de lodos residuales hacia el área de trabajo.



Preparación de terreno: A continuación se tuvo que hacer un estrato de tierra mezclada con lodo para nivelar el terreno, luego se pesó el lodo residual para empezar con la siembra de las camas.

Fotos 8: Nivelación del suelo y pesado de lodos.



La lombriz: Se compró un saco de 36 Kg entre humus y lombriz (2 Kg aproximadamente) la cual se procedió a pesar para separar en 1/2 Kg de lombriz y 9 Kg de humus, estas serán inoculadas en cada cama entre los sustratos.

Fotos 9: Lombriz californiana (*Eisenia foetida*) y el pesado de los núcleos.



Cama 1 (sustrato: lodo residual): El sustrato utilizado en la cama 1, es lodo residual. Se aplicaron 100 Kg de lodo residual y $\frac{1}{2}$ Kg de lombriz aproximadamente, se sembró de la siguiente manera:

- Se dividieron los 100 kg en tres partes de 50 kg.
- Se agregaron los primeros 50 kg de lodo formando un estrato y se inoculo las lombrices esparciendo por toda la superficie, acción se repite para los últimos 50 kg de lodo y lombrices, al final se cubre con chala seca para proteger de la luz solar.

Fotos 10: Agregando el sustrato lodo residual



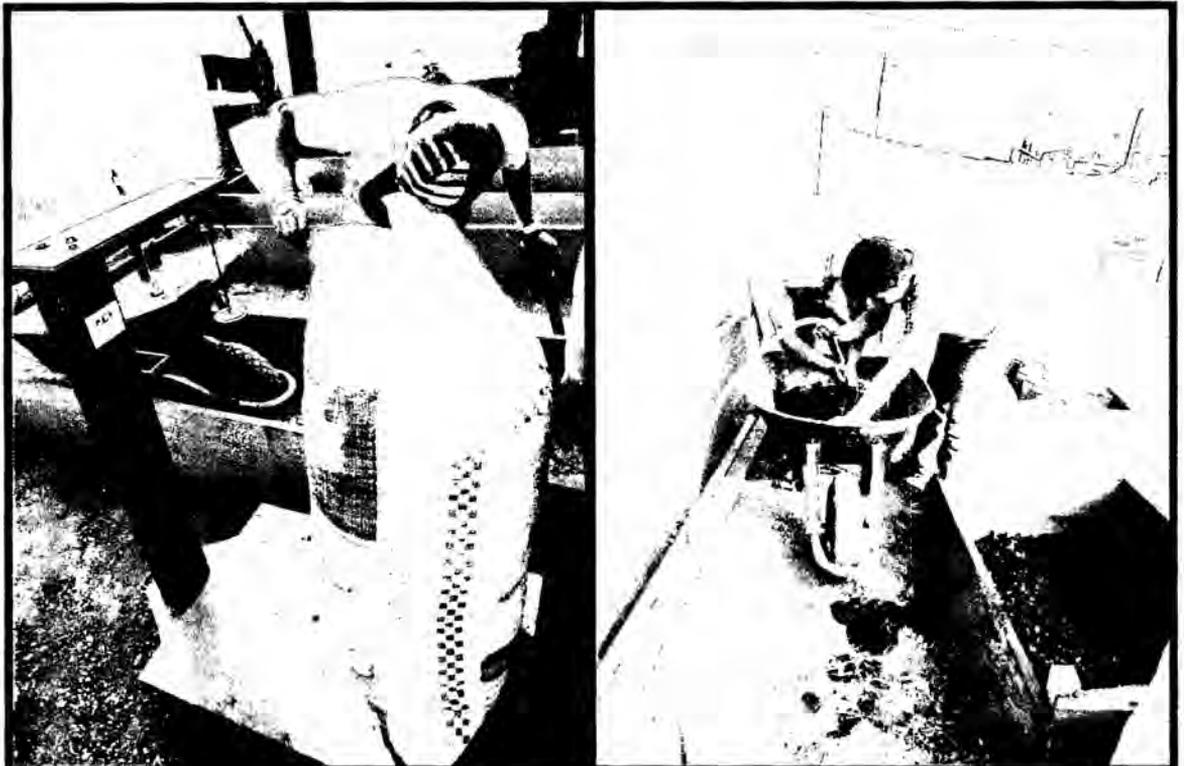
Fotos 10: Inoculación de las lombrices y el cubrimiento con chala seca



Cama 2 (sustrato: lodo residual y compost): El sustrato utilizado en la cama 2, es lodo residual y compost a una proporción de 50 kg de lodo residual y 50 kg de compost con una inoculación de ½ Kg de lombrices aproximadamente, el sembrado se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Se pesaron 25 kg de lodo residual y se colocó formando un estrato, luego se inocula las lombrices.
- Luego se pesaron 25 kg de compost, se le hecha a la cama formando un segundo estrato a continuación se inocula las lombrices esparciendo por toda la superficie.
- Para los siguientes 25 kg de lodo y 25 kg de compost se procede de igual manera, en estratos, al final se cubre con chala para proteger de la luz solar

Fotos 11: pesaje del compost y humedecimiento del compost



Fotos 12: Inoculación de lombrices y el último estrato de compost colocado.



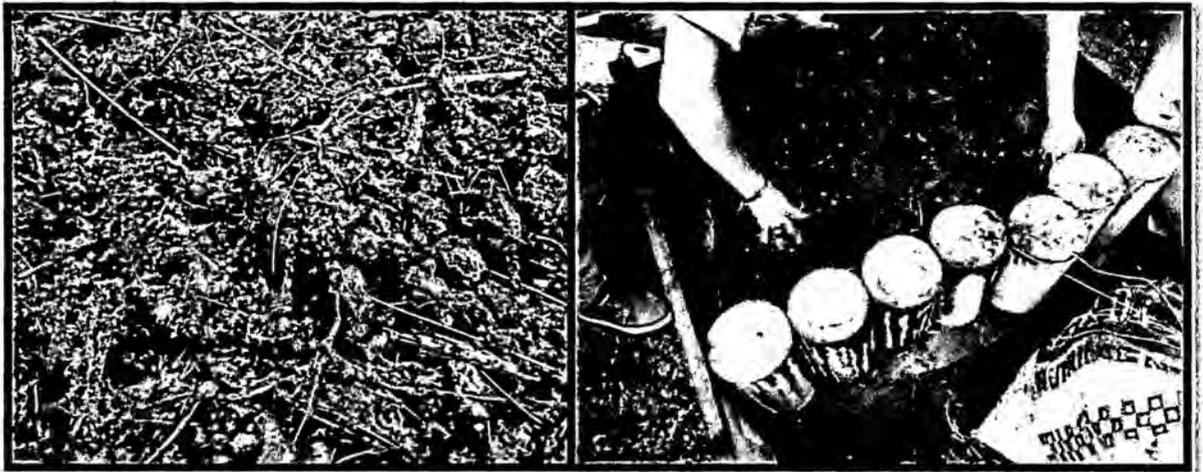
Cama 3 (sustrato: lodo residual y estiércol de conejo): El sustrato utilizado en la cama 3, es lodo residual y estiércol de conejo a una proporción de 50 kg de lodo residual y 50 kg de estiércol de conejo con una inoculación de $\frac{1}{2}$ Kg de lombrices aproximadamente, el sembrado se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Se pesaron 25 kg de lodo residual y 25 Kg de estiércol de conejo la siembra es como las dos camas anteriores se forman estratos de lodos y por encima va el estiércol de conejo, la inoculación de las lombrices se hace entre estratos hasta tener los 100 kg en la cama.

Fotos13: Pesado del estiércol de conejo para ser agregado al estrato de lodo



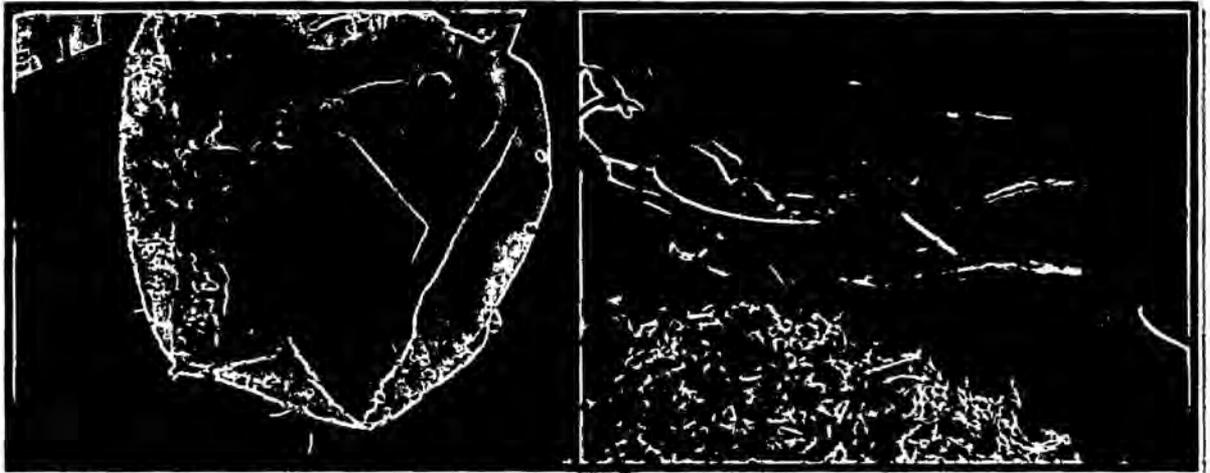
Fotos 14: Humedecimiento del estiércol para ser esparcido el estrato final.



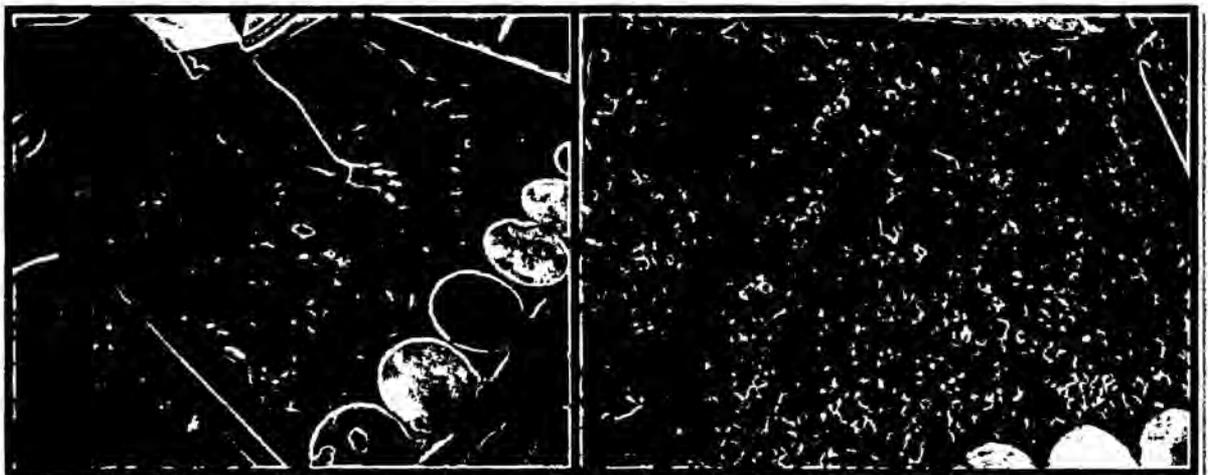
Cama 4 (sustrato: lodo residual, compost y estiércol de conejo): El sustrato utilizado en la cama 4, es lodo residual, compost y estiércol de conejo a una proporción de 50 kg de lodo residual, 25 kg de compost y 25 kg de estiércol de conejo con una inoculación de $\frac{1}{2}$ Kg de lombrices aproximadamente, el sembrado se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Se pesaron 25 kg de lodo residual, 12.5 kg de compost y 12.5 kg de estiércol de conejo, la siembra es por estratos y entre ellas inoculación de lombriz.
- En la base de la cama se empieza por agregar el sustrato lodo residual, sobre él va el sustrato de compost, para finalizar el sustrato estiércol de conejo y la inoculación entre estratos, el mismo procedimiento se repite con los sustratos sobrantes.

Fotos 15: Pesado de los sustratos y humedecimiento del compost

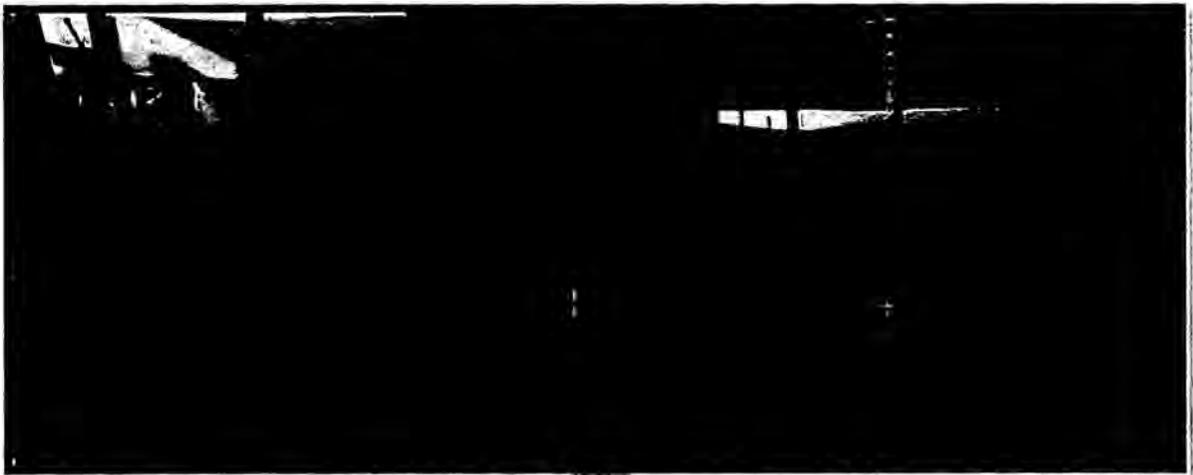


Fotos 15: Esparciendo el compost y la inoculación en el último estrato de lodo



De esta forma se culmina el sembrado de las cuatro camas experimentales.

Fotos 16: Después de culminar el sembrado de las camas experimentales.



Los parámetros para la producción de abono orgánico deben tener las condiciones óptimas y tiene que reunir los factores favorables para un hábitat adecuado.

Los cuidados del lombricultivo en la PTAR San Antonio de Carapongo se realizaron de la siguiente forma:

1. Revisión diaria del contenido de humedad:

La humedad se revisó diariamente por medio del tacto, según la teoría se debe mantener un rango del 70% - 80% de humedad.

En los casos en los que el cultivo se observaba o se sentía húmedo se tomó en la mano una muestra de lodo y se presionó de tal manera que si al forzarlo brotaba agua se procedía a abrir la cama con orificios que ayudaran al drenaje, si por el contrario se observaba y se sentía seco se procedía a humedecer sin encharcar el cultivo.

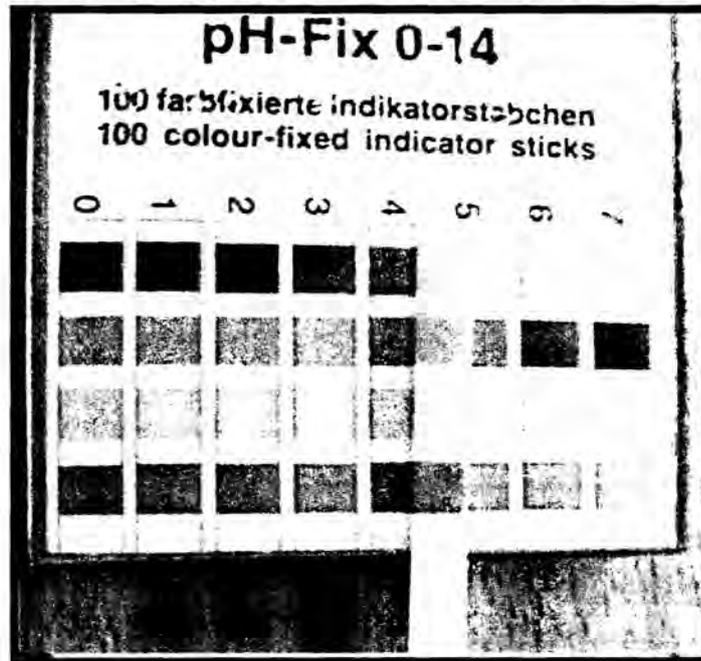
Foto 17: Medición de la humedad con el termómetro hidrométrico.



2. Control del pH:

La muestra que se tomó para la medición inicial fue un trozo mediano el cual se deposita en un vaso precipitado (500mL) de laboratorio, diluido en agua destilada, y se usa el papel pH metro en, es así como se calcula el pH. La literatura consultada, referente a las condiciones óptimas de un lombricultivo, indica que el pH recomendado es 7,0 ya que las lombrices pueden llegar a soportar pH ácidos hasta 5,5 y alcalinos de 8,5 arriesgando de esta manera la productividad de la lombriz. Los pH manejados en la investigación fueron variables pero no sobrepasaban los rangos de acidez o alcalinidad, en caso de que esto sucediera se tenían controles. Si el cultivo arrojaba parámetros de acidez se neutralizaba con pequeñas cantidades de cal disuelta en agua y si, por el contrario, arrojaba parámetros de alcalinidad se procedería a disolver vinagre en agua para rociar el cultivo.

Foto 18: tiras de papel pH, usado para medir el pH



3. Control de temperatura:

Para el análisis de temperatura se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

Temperaturas mayores a 26° C: a temperaturas mayores a la mencionada se debe voltear u oxigenar el cultivo proporcionándole oxigenación y liberación de calor.

Temperaturas menores a 22°C: en caso que las temperaturas descieran por debajo de lo mencionado se debe proceder a cubrir el cultivo con plástico negro para aislar de la temperatura exterior.

Foto 19: Medición de la temperatura con el termómetro hidrométrico.

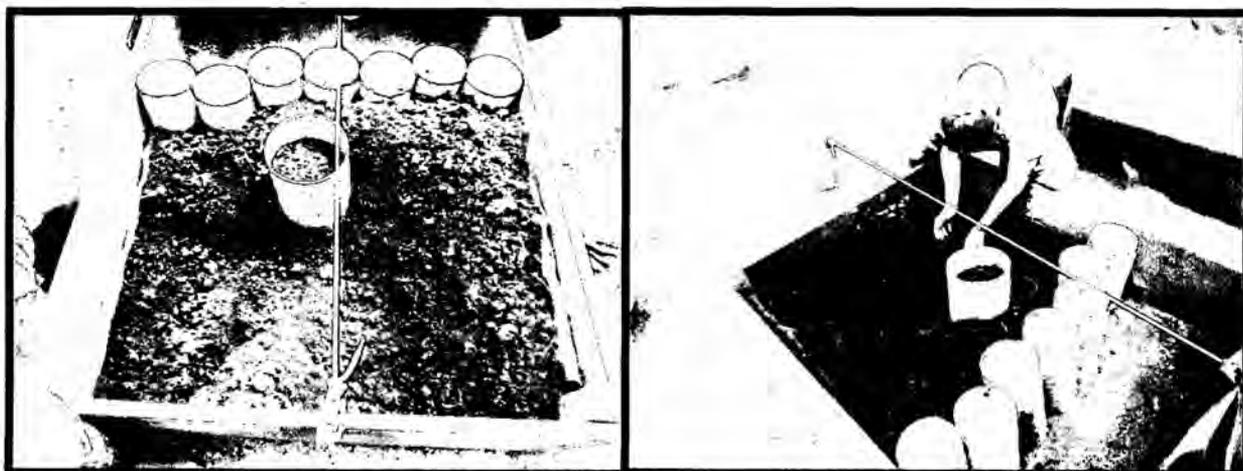


4. Oxigenación y volteo:

La oxigenación y volteo se realizaron semanalmente teniendo en cuenta hacer una adecuada distribución de tareas y tiempos.

El proceso de oxigenación y volteo es de vital importancia en el cultivo, ya que por medio de los volteos se le da al cultivo el oxígeno requerido para los microorganismos que intervienen en el proceso de estabilización y generación de abono orgánico.

Foto 20: Oxigenación y volteo.



5. Alimentación:

El alimento se ubicó en capas sucesivas de 5 a 10 cm de espesor.

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron tres tipos diferentes de alimento distribuidos en cada una de las camas instaladas: lodos; compost y lodo; lodos y estiércol de conejo; lodos más estiércol de conejo y compost.

6. Riego:

El riego se realizó de manera directa a una vez por semana, con manguera, para llevar un buen control del agua esparcida. Los riegos no se realizaron de forma excesiva ya que se arrastran proteínas y puede provocar la pérdida de valor nutricional del alimento y se puede provocar la muerte de la lombriz por ahogamiento.

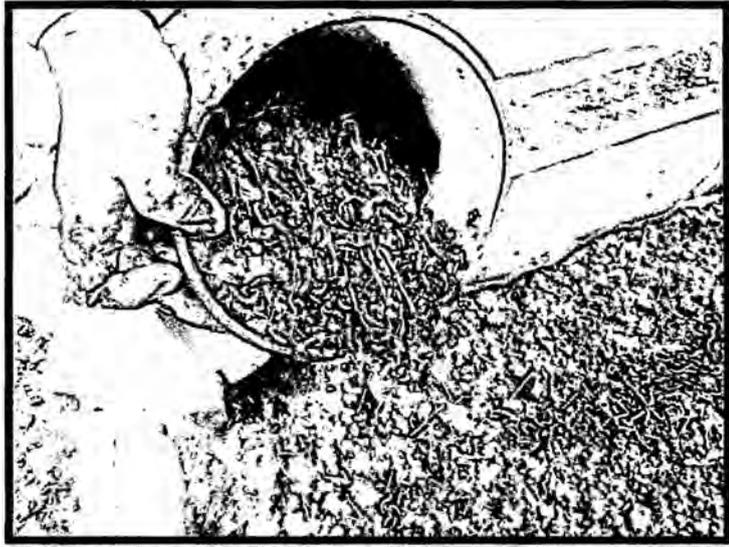
Foto 21: Riego de las camas de lombricultivo.



7. Extracción de la lombriz:

Al cabo de tres meses la lombriz transformó el lodo en abono orgánico, el método utilizado para la separación de la lombriz fue dejar la cama sin alimento por un período de 8 días para causar de esta manera estrés (hambre) en la lombriz, se procedió a colocar comida en un rincón de los dos extremos de la cama, de esta manera las lombrices se desplazaron en búsqueda del alimento y allí se sacaron manualmente; cuando el lombricultivo es a gran escala se procede a colocar costales de malla ancha con el alimento y de esta manera la lombriz quedará atrapada dentro del costal.

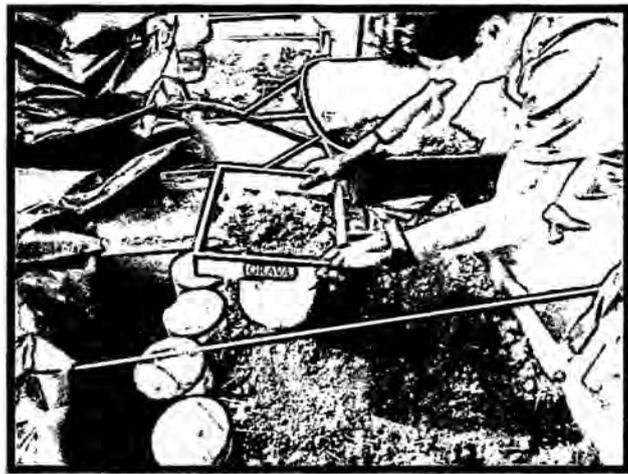
Foto 22: extracción de lombrices.



8. Cosecha:

Al observar que la cosecha cambia de color café claro a oscuro y la textura comienza a tener similitud con la tierra, es decir, su contextura es granulosa, su olor es semejante a la tierra y posee un pH neutro, se procede a desterronar y tamizar.

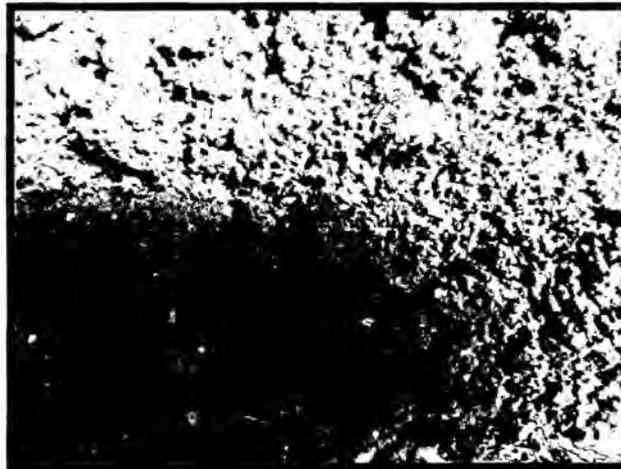
Foto23: Cosecha del humus.



9. Procesamiento final del abono:

Una vez separada la lombriz del abono, por medio del zarandeo o separación manual, se procedió a extender el abono en un lugar abierto para su debido secado, el abono no debe quedar del todo seco, se debe conservar como mínimo un 30% de humedad por un periodo de 8 días aproximadamente.

Foto 24: humus de lombriz en el proceso de secado



10. Al finalizar el proceso de lombricultivo, es decir, al obtener el producto final llamado abono orgánico se procedió a sacar muestras en cantidades de 1/2 Kg para ser analizadas por laboratorio.

Foto 25: muestras para llevar a analizar al laboratorio.



Las muestras fueron enviadas al LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA "LASPAF", especializado en análisis de productos agrícolas, concluyendo de esta forma lo planteado en el objetivo número uno.