



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE SISTEMAS DE
COMPOSTAJE EN EL RELLENO SANITARIO DEL INGA

Autora

Gabriela Susana Noguera Aguilera

Año
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE SISTEMAS DE
COMPOSTAJE EN EL RELLENO SANITARIO DEL INGA

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación.

Profesora Guía

Mtr. Viviana Pavlova Sigcha Terán

Autora

Gabriela Susana Noguera Aguilera

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo, Estudio comparativo de la eficiencia de sistemas de compostaje en el Relleno Sanitario del Inga, a través de reuniones periódicas con la estudiante Gabriela Susana Noguera Aguilera, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Viviana Pavlova Sigcha Terán

Master en Gestión Integral del Agua

C.I.: 172221616-3

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Estudio comparativo de la eficiencia de sistemas de compostaje en el Relleno Sanitario del Inga, de la estudiante Gabriela Susana Noguera Aguilera, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Indira Fernandina Black Solís

Magister en Conservación y Gestión del Medio Natural

C.I.: 171127356-3

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Gabriela Susana Noguera Aguilera

C.I.: 172230654-3

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mi familia. A mi papi, que gracias a su esfuerzo y dedicación me ha permitido alcanzar una meta más en mi vida, por siempre ser mi ejemplo de trabajo y constancia. A mi mami, que con sus consejos me ha hecho crecer de manera personal y profesional, y muy especialmente por su apoyo durante la realización de este proyecto de titulación. A mi mejor amigo, mi novio Edu, por compartir estos años de vida universitaria durante los cuales me ha ayudado de todas las formas posibles.

DEDICATORIA

A Dani, mi hermanita, tu delicadeza y ocurrencias hacen que mi vida sea más alegre, eres mi cómplice y motivación para ser mejor cada día.

A Emilio, mi hermanito, con tu inocencia y travesuras has pintado mis días de colores y vuelvo a ser niña cuando estoy contigo.

Que este trabajo sirva de ejemplo para que cumplan todo lo que se propongan en sus vidas. Los amo.

RESUMEN

El incremento de habitantes en el mundo y con ello el aumento de residuos, han generado problemas irreversibles en el planeta. Realizar acciones correctivas ante esta problemática nos permitirá mantener el estilo de vida que llevamos hasta el día de hoy.

En busca de mejorar el medio en el que vivimos, el presente trabajo de investigación propone una técnica viable al tratamiento de los residuos orgánicos generados en el Distrito Metropolitano de Quito, a partir de los residuos separados de forma mecánica en la estación de separación sur de la EMGIRS.

Se planteó 2 metodologías de compostaje entre las que se alternó la materia prima utilizada en cada uno de ellos; materia orgánica, lombrices (*Eisenia foetida*) y material estructurante (cascarilla de arroz), con el fin de evaluar la calidad de abono generado al cabo de 3 meses de experimentación en base al análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos.

Durante el análisis de resultados se determinó que la calidad del abono no puede definirse solo por los datos estudiados, sino que depende del fin que se le vaya a dar, ya que los parámetros necesarios para agricultura, forestal o para zonas recreativas son muy variables.

Sin observar diferencias significativas en el análisis de los parámetros físicos y basando los resultados solamente en los análisis químicos y biológicos; se concluye que el tratamiento 3 que se encuentra compuesto por materia orgánica y lombrices se presentó en un estado de descomposición más avanzado, posee un mejor equilibrio entre macro y micronutrientes y promete mejores resultados de germinación y adaptación para cultivos por lo que se determina como el mejor tratamiento de compostaje.

ABSTRACT

The increase of habitants in the world and the increase of waste produced by them have generated serious problems in the planet. By generating a plan with actions to face this problem will allow us to maintain the lifestyle that we carry until now.

In search of improving the environment in which we live, the present research proposes a viable technique for the treatment of organic waste generated in the Metropolitan District of Quito, from the separated waste by mechanically ways in the "Separation Station" of the EMGIRS that it's located in the south of the city.

By the implementation of 4 composting techniques among which the raw material used in each of them was alternated between; organic waste, worms (*Eisenia foetida*) and structuring material (rice husk), in order to evaluate the quality of the fertilizer generated after 3 months of experimentation based on the physical, chemical and biological analysis.

During the analysis of results it was determined that the quality of the fertilizer can't be defined only by the parameters studied, because it depends on the purpose of the fertilizer, that's because the parameters required for agriculture, forestry or recreational areas are different.

Without observing significant differences in the analysis of the physical parameters and basing the results only on the chemical and biological analyzes obtained; the conclusion of the research is that the treatment 3 that is composed by organic matter and worms is in an advanced decomposition, has the best balance between macro and micronutrients and promises better germination and adaptation results for future crops, so it is determined as the better composting treatment.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivo General.....	3
1.3 Objetivos específicos.....	3
1.4 Hipótesis.....	3
1.5 Alcance	3
1.6 Justificación	4
2. Marco Referencial.....	5
2.1 Residuos Sólidos.....	5
2.1.1 Clasificación de Residuos Sólidos	6
2.1.2 Generación de Residuos Sólidos.....	8
2.1.3 Aprovechamiento de Residuos Sólidos	10
2.2 Abonos Orgánicos.....	11
2.2.1 Compostaje	12
2.2.2 Lombricultura.....	18
2.3 Material Estructurante	22
3. Metodología.....	23
3.1 Área de estudio.....	23
3.2 Diseño experimental.....	25
3.3 Construcción de las unidades de tratamiento.....	25
3.4 Siembra, control de parámetros físicos y mantenimiento de los lechos de compostaje	30
3.4.1 Control de parámetros físicos durante la experimentación	31
3.4.2 Mantenimiento de los lechos	33
3.5 Análisis de parámetros químicos.....	34
3.6 Análisis de parámetros biológicos.....	35

4. Resultados, Análisis y Discusión	35
4.1 Parámetros físicos	36
4.1.1 pH	37
4.1.2 Temperatura	40
4.1.3 Humedad	43
4.1.4 Luz	45
4.2 Parámetros químicos.....	46
4.2.1 Macroelementos Primarios	49
4.2.2 Macroelementos Secundarios	52
4.2.3 Microelementos.....	55
4.2.4 Materia orgánica y carbono orgánico.....	59
4.2.5 Conductividad eléctrica.....	60
4.2.6 Relación C/N.....	61
4.3 Parámetros Biológicos	62
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	65
5.1 Conclusiones.....	65
5.2 Recomendaciones.....	66
REFERENCIAS.....	80
ANEXOS.....	90

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El Banco Mundial predice que para el 2030 el 60% de la población mundial residirá a nivel urbano. Datos sobre la población mundial informan que anualmente se incrementa la población del 2,5% al 6%; esto junto con el consumismo sin medida y el hacinamiento en zonas urbanas ha provocado un incremento en la generación de residuos, según el ISWA la generación per cápita de RSU (Residuos Sólidos Urbanos) será un 44% superior entre el 2005 y el 2025 (International Solid Waste Association, 2012).

El manejo de residuos sólidos es de gran interés y preocupación para las instituciones y comunidades, ya que estos, al no ser dispuestos de la manera adecuada generan un deterioro del paisaje natural, así como la proliferación de vectores transmisores de enfermedades que constituyen una amenaza contra la sanidad y la salud humana. Además, de ser un problema inminente para el medio ambiente debido a los productos que se derivan de estos desechos en su descomposición tales como el biogás y los lixiviados (Bermudez, 1999).

Es por esto, que actualmente existe un creciente interés por preservar los recursos naturales y disminuir los efectos negativos producidos por los pasivos ambientales que se generan en los procesos de descomposición de la basura, lo que ha llevado a buscar nuevas técnicas para el manejo de residuos, que permitan mitigar los problemas desde la generación, promoviendo beneficios en la recolección, transporte y disposición de los mismos. Uno de los métodos más utilizados a nivel mundial es el reciclaje, trayendo consigo campañas globales de reducción en el consumo y promoviendo la reutilización de los recursos y finalmente la disposición separada de los mismos. También se han instalado varias plantas de incineración mediante las cuales se busca la combustión completa de los residuos hasta su conversión en cenizas, producto de esta transformación se puede recuperar energía; estos ejemplos alterativos

de manejo de RSU buscan la disminución del volumen de residuos generados y por ende la reducción de sus pasivos ambientales (Ojeda, 2009).

Es por esta razón que muchos países han buscado la forma de implantar medidas de disposición de residuos con el fin de contrarrestar el deterioro ambiental y los efectos sociales y económicos en la población, fomentando el uso de tecnologías limpias y respetuosas en los procesos de producción promoviendo así el ahorro de energía y agua, así como el estímulo por consumo de productos ecológicos y socialmente amigables (Banco Mundial, 2018).

Entre los ejemplos de gestión sustentable de RSU se tiene el caso de Malmö (Suecia) en donde se ha integrado un "modelo de eco-ciclo" que incluye la separación de los desechos desde su origen. Este país cuenta con instalaciones que generan energía de la basura, y los procesos de reutilización como, reciclaje y compostaje a partir de restos de comida y jardín, son muy utilizados. Gracias a este programa, los residuos dispuestos en un vertedero se han reducido desde el 2001 hasta el 2013 en 0,7%; producto de esta conversión de los desechos se ha logrado generar energía térmica la cual cubre el 60% de las necesidades de calefacción de Malmö y el área de Burlöv; además, de generar 25.000 toneladas de biofertilizante y 10.000 toneladas de compost anuales. De modo similar, en Latinoamérica con 7,5 millones de habitantes en Bogotá (Colombia), un sistema mixto público privado con recicladores informales y programas de "Basura Cero" desvía 1.200 toneladas diarias de desechos del vertedero y da empleo a 8.250 personas mediante programas de reciclaje de materia inorgánica (UNEP, 2012).

En el Distrito Metropolitano de Quito, tanto la Secretaría de Ambiente como EMASEO EP, están realizando los esfuerzos por dar un salto cualitativo en la gestión integral de residuos sólidos en el DMQ, para lo cual están emprendiendo una serie de acciones, que tienen como objetivo último, mejorar la GIRS (Gestión Integral de Residuos Sólidos), que permita alcanzar un

manejo eficiente, eficaz, ambientalmente sustentable y financieramente sostenible, todo bajo un marco de aceptación y colaboración ciudadana (Pazmiño, 2012).

1.2 Objetivo General

- Comparar la eficiencia de sistemas de compostaje en el Relleno Sanitario del Inga

1.3 Objetivos específicos

- Construir lechos de compostaje a escala piloto en el Relleno Sanitario del Inga
- Evaluar las condiciones de operación de los lechos de compostaje
- Determinar las diferencias ente tratamientos propuestos mediante análisis físicos, químicos y biológicos

1.4 Hipótesis

La metodología utilizada para producción de abono orgánico influye en la eficiencia y calidad del humus producido.

1.5 Alcance

Mediante este estudio se busca evaluar la eficiencia de sistemas de compostaje para la producción de abono con los residuos sólidos orgánicos que llegan al Relleno Sanitario del Inga; mediante un diseño que involucra la experimentación de las siguientes variables: material estructurante y lombrices. Se determinará la eficiencia de los tratamientos propuestos, a través del análisis físico-químico del abono sólido producido.

1.6 Justificación

La materia orgánica merece un tratamiento diferenciado debido a su importancia relativa en peso, ya que representa un total de 1300 toneladas al día, siendo la fracción generada de 57,3% del total de residuos urbano (Secretaría de Ambiente, 2015). Además, sus propiedades físicas y químicas como su elevada humedad, la convierte en materia de fácil descomposición y generación de lixiviados y biogás; lo que genera malos olores y aumenta la posibilidad de la proliferación de vectores en el lugar de disposición.

Actualmente, en la capital no hay separación selectiva de los residuos, y los “puntos limpios” del programa “Quito a Reciclar” solo acogen residuos inorgánicos, tales como: PETS, tetra pack, papel y cartón. Sin embargo, la práctica de separación no es muy atractiva para la población quiteña por lo que la mezcla de la materia orgánica con estos residuos inorgánicos, genera pérdida del material a reciclar y multas de los gestores, ya que el proceso de reciclaje se vuelve más arduo.

Razones por la cual el proyecto de compostaje en el DMQ, es una iniciativa que busca generar alternativas para la gestión de la materia orgánica basándose en la eficiencia de producción de abono orgánico y tomando en cuenta las características fisicoquímicas del abono en relación al tiempo del compostaje. A futuro, se pretende poner en práctica planes adecuados para la separación de Residuos Sólidos Urbanos debido a que, con este proyecto como guía, se puede implementar un sistema de compostaje a escala industrial, para así poder reducir los pasivos ambientales y duplicar la vida útil del Relleno Sanitario. Asimismo, como lo indica la Ordenanza Municipal 0332 en la Sección V. *Reducción, aprovechamiento y tratamiento de Residuos sólidos*, Sub Sección II. *Del Compostaje*, Art. 55. “Centros de compostaje.- el abono producido se podrá utilizar en las instalaciones del Relleno Sanitario, parques, jardines, áreas verdes, áreas de valor ambiental, y otras zonas que requieran ser regeneradas dentro del Distrito” (2010).

2. Marco Referencial

2.1 Residuos Sólidos

Un residuo sólido es cualquier material sobrante de los procesos de producción, utilización y consumo, cuyas características no permiten que estos elementos sean nuevamente utilizados, dado que han perdido valor para quien lo generó. El tema de residuos sólidos es de gran interés y preocupación para las instituciones y comunidad ya que estos, al no ser manejados de la manera adecuada constituyen una amenaza para la salud humana (Contreras, 2006).

La incorrecta disposición y manejo de los residuos provoca un deterioro del paisaje natural y la proliferación de vectores transmisores de enfermedades, es por esto que los residuos sólidos representan un problema inminente para el medio ambiente, debido a que, al ocurrir el proceso de descomposición se generan pasivos ambientales como:

- Biogás: gas combustible producto de la biodegradación de la materia orgánica, los principales componentes del biogás con metano CH_4 y dióxido de carbono CO_2 (IDAE, 2007).
- Lixiviados: líquido (agua lluvia infiltrada o líquido procedente de la degradación) que percola a través de los residuos sólidos, generalmente posee una alta concentración de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y hasta metales pesados (EMGIRS, 2010).

2.1.1 Clasificación de Residuos Sólidos

En términos generales, la expresión desecho o basura es utilizada para aquellos materiales cuyo único destino es su dispersión en rellenos sanitarios debido a su nula utilización posterior; mientras que, se habla de residuo al material que puede tener valor posterior a su utilización (Gómez, 1995).

Existe un sin número de maneras de clasificar a los residuos sólidos, a continuación se presenta una compilación de la clasificación según Contreras, 2006; Liconla, 2006; y MINAM, 2016.

Según su origen:

- Residuos domiciliarios: residuos provenientes de las actividades del hogar, entre ellos se destacan los residuos de alimentos, papel y vidrio.
- Residuos municipales: residuos provenientes del barrido de calles, lugares de ferias y mantenimiento de parques y jardines.
- Residuos industriales: residuos compuestos por materiales descartados dentro de los procesos de producción, no se incluyen los residuos de las áreas administrativas o comedor.
- Residuos hospitalarios: residuos provenientes de actividades desarrolladas en centros de atención a la salud (fármacos, gases con líquidos infecciosos, material médico quirúrgico, entre otros) debido a su alta peligrosidad estos residuos deben ser tratados de manera especial.
- Residuos de construcción: también llamados escombros, no representan un problema sanitario debido a que no se descomponen ni causan mal olor, sin embargo, debido a su alto volumen de generación, la disposición final se vuelve complicada.

Según su manejo:

- Residuo peligroso: residuos que se deben manejar y disponer de manera especial con el fin de evitar problemas para la salud y/o el medio ambiente.
- Residuo inerte: residuo estable en el tiempo, debido a sus características no interactuará con el medio ambiente y por ende no provocará efectos apreciables.
- Residuo no peligroso: Ninguno de los anteriores.

Según su biodegradabilidad:

- Residuos orgánicos: residuos que provienen de vegetales, animales, alimentos en general debido que poseen la capacidad de descomponerse y ser absorbidos por la tierra, pero al existir una mala disposición de estos, causan potenciales problemas al medio ambiente.
- Residuos inorgánicos: residuos que no están compuestos por materiales orgánicos, tardan en descomponerse miles de años (plásticos, vidrios, metales) y, de acuerdo al tratamiento que se los sometan, pueden ser aprovechados.

Según su composición:

- Papel y cartón: entre ellos están los periódicos, revistas, carpetas, folletos, manuales. Si se tiene una correcta separación de este material puede ser reutilizado.
- Vidrios: se presenta en forma de botellas, vasos, focos, lentes. Si el vidrio se maneja de manera adecuada puede ser reutilizado eternamente debido a su alta capacidad de reciclaje.
- Metales: tales como tuberías, alambres, y equipos electrodomésticos. Los metales, debido a que en general vienen mezclados con otro tipo de material, poseen un tratamiento complejo.
- Pinturas y aceites: debido a su composición química resultan peligrosas, por lo que no son reutilizables.
- Plástico: este es uno de los residuos más abundantes en el mundo, existe alrededor de 100 tipos de plásticos como PET, HDPE, bolsas plásticas, botellas, entre otras. Para su post aprovechamiento, su separación debe ser realizada de acuerdo a su densidad.
- Pilas y baterías: Compuestos de cobre y litio, este tipo de residuos se encuentran en todos los aparatos electrónicos. La separación de estos residuos es muy importante debido que con el tiempo segregan sustancias altamente tóxicas para el suelo y el agua.

Sin embargo, la Ordenanza Metropolitana N° 0332 de Gestión Integral de Residuos Sólidos del DMQ, en la Sección II: De la clasificación de los residuos sólidos, en el Art 12.- clasifica los residuos en dos grupos, por su separación y por su origen:

Por su separación:

- Orgánicos o compostables: residuos que pueden ser metabolizados por medio biológicos.
- Inorgánicos: los cuales pueden ser
 - Reciclables: Material con uso potencial posterior como vidrio, papel, plástico, entre otros.
 - No aprovechables: Material sin uso potencial posterior como pañales, toallas higiénicas, gasas, entre otros.

Por su origen:

- Residuos domésticos no peligrosos, residuos domésticos peligrosos, residuos viales, residuos industriales no peligrosos, residuos comerciales, residuos hospitalarios, residuos institucionales, escombros y otros, residuos peligrosos, residuos orgánicos de actividades de faenamiento de tipo artesanal; y, residuos infecciosos de animales.

2.1.2 Generación de Residuos Sólidos

En Ecuador, considerando una población de 15'520.973 habitantes se genera una cantidad estimada de residuos sólidos de 4'139.512 Tm/año, lo que representa una producción per cápita (PPC) de 0.73 kg/hab*día. De los cuales, el 61% de los residuos corresponde a residuos orgánicos; 11% plástico; 9,4% papel y cartón; 2,6% vidrio; 2,2% chatarra; y el restante 13,3% representan otros residuos (Ministerio del Ambiente, 2016). Según los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's), en promedio, cada habitante del sector urbano del Ecuador produce 0.57 kg/día de residuos sólidos; de los 221 GAD's

municipales en el Ecuador, el 20% (44) disponen sus residuos en rellenos sanitarios y el restante 80% (177) dispone en botaderos (INEC, 2014).

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es el segundo cantón más poblado del Ecuador (3 millones de habitantes), la producción per cápita (PPC) global de esta zona es de 0,850 kg/hab*día, es decir aproximadamente 2500 ton/día; variando la generación en la zona urbana 0,879 kg/hab*día y con 0,779 kg/hab*día a nivel rural (Pazmiño, 2012).

De manera general los residuos sólidos orgánicos son los predominantes en el DMQ con un 56,59%, seguido de materiales aptos de reciclar (papel, cartón, plásticos, metales, vidrio) con un 24%; asimismo un 19% de rechazos o materiales sin uso posterior y un 0,41% de desechos de tipo peligrosos (medicamentos, pilas, envases, electrónicos, etc.) (Secretaria de Ambiente, 2015).



Figura 1. Caracterización de Residuos Sólidos en el DMQ.

Adaptado de: Secretaria de Ambiente, 2015.

2.1.3 Aprovechamiento de Residuos Sólidos

El aprovechamiento de los residuos sólidos es el proceso mediante el cual a través de un manejo integral de los residuos, los materiales recuperados tienen la capacidad de ser incorporados temporalmente al ciclo económico y productivo por medio de actividades como la reutilización, el reciclaje, la incineración, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos (Marmolejo, 2009).

Para un mejor aprovechamiento de los residuos, y debido a la variable complejidad en el tratamiento de cada tipo de material, es conveniente la previa clasificación de los mismos. La separación de estos puede ser:

- En la fuente: separación en el lugar de generación del residuo.
- Estaciones de separación: infraestructura y maquinaria especializada para la separación de residuos sólidos a gran escala (Poletto y Silva, 2009).

En Quito, el 81% de la materia que consideramos como desecho puede ser reutilizada, es por esto que en el 2016 se implementó una Planta de Separación de Residuos Sólidos Urbanos sobre la Av. Simón Bolívar al sur de la capital; aquí los residuos sólidos urbanos son depositados en dos tolvas receptoras, las cuales conducen al material hasta los abridores de bolsas que desmembrarán el contenido de las mismas y mediante una máquina denominada Trommel, por diferencias de pesos separa los materiales orgánicos de los inorgánicos; estos últimos son llevados a una banda de separación, donde son clasificados de manera manual; y finalmente, son compactados según su composición para ser comercializados. Esta infraestructura permite el aprovechamiento de un promedio de 4,5 toneladas semanales de materiales reciclados y con esto se ha incrementado la vida útil del relleno sanitario y se han reducido los costos operativos de la EMGIRS-EP en los procesos de: transferencia, transporte, disposición final y tratamiento de pasivos ambientales (EMGIRS, 2016).

Ahora bien, luego de este procedimiento los desechos (material no separado) y los residuos orgánicos son llevados al Relleno Sanitario, en El Inga, para su disposición final. Sabiendo que en el DMQ el 56,59% de esta fracción corresponde a la materia orgánica (Pazmiño, 2012), se ha visto viable el aprovechamiento de la materia orgánica, la cual, a través de un proceso de compostaje producirá abono orgánico, el cual, a diferencia de los abonos químicos, posee un menor costo en su producción y no genera contaminación a niveles freáticos, ni a los ríos por procesos de escorrentía y evita problemas de salud (como malformaciones por uso de pesticidas) en las personas que lo utilizan (Rojas, Ojeda y Berraza, 2000). La implementación de abono orgánico en un suelo es la manera más económica y práctica para la mejora de sus características; debido a la alta cantidad de nutrientes, en suelos agrícolas, genera la cosecha de productos de alta calidad; debido a su excelente estructura, incrementa la porosidad en el suelo y por ende permite una mejor aireación y la adecuada absorción y retención de agua, lo que permite un sinnúmero de beneficios ecológicos (Estrada et al., 2001).

2.2 Abonos Orgánicos

La producción y uso de los abonos orgánicos se plantea como una alternativa económica para los pequeños y medianos productores. Las ventajas de los abonos orgánicos van más allá de la parte económica, permiten el aporte de nutrientes, incrementan la retención de humedad y mejoran la actividad biológica del suelo, con lo cual se incrementa la fertilidad del mismo y por ende su productividad (López, 2001).

Existen varios tipos de abonos orgánicos y se los puede encontrar de forma líquida como el té de estiércol, té de compost, humus líquido de lombriz; y, también de forma sólidas como el compost, bocashi y vermicompost. Debido a la materia prima requerida (materia orgánica, lombrices, estiércol de animales, levadura) y características indispensables (tiempo, espacio) necesarias para la producción de cada tipo de abono.

2.2.1 Compostaje

El compostaje es una técnica económica y sencilla para el aprovechamiento de todo tipo de materia biodegradable, actúa mediante un proceso biooxidativo produciendo la descomposición de la materia orgánica hasta su humificación (transformación de la materia hasta convertirse en humus) con la intervención de diversos microorganismos en un medio aerobio (Casco y Herrero, 2008). Aunque el compostaje se lo puede realizar casi en cualquier parte, es necesario tomar en cuenta que el lugar en donde se composte debe tener una área proporcional a la cantidad de residuos orgánicos a compostar, ya que generalmente el proceso de compostaje se lo realiza en pilas (dispersión de los residuos sobre el suelo de forma lineal con una dimensión aproximada de 1,5m de ancho y 1,5 m de alto y el largo que se requiera) (FAO, 1991). Además se debe tomar en cuenta las condiciones climáticas de la zona, si el lugar es muy soleado es mejor cubrir las pilas de compostaje para evitar deshidratación de las mismas, si en la zona existe abundante presencia de lluvia es necesario la creación de cunetas para evitar la dispersión del percolado por el terreno, el sitio debe tener accesibilidad al agua y encontrarse en un lugar cercano de la generación de los desechos orgánicos, porque mientras más lejos se encuentre los costos de transporte se van a incrementar. Al principio del proceso se van a generar malos olores y vectores (mosquitos pequeños), estos permanecerán hasta alcanzar las temperaturas adecuadas para la descomposición, por lo que es importante que la zona posea una adecuada ventilación (Laich, 2011).

La técnica del compostaje posee un sin número de ventajas económicas y sobretodo ecológicas; debido a que puede ser implementado desde una escala micro, como un jardín, hasta una escala macro, como un municipio; esta última aplicación ayudaría a la extensión de la vida útil de un Relleno Sanitario y a la reducción significativa de lixiviados y olores (Röben, 2002). Además, de que el humus (producto del compostaje) puede ser comercializado y la adición de este al suelo introduce microorganismos y nutrientes, los cuales ayudan a tener un control biológico de los fitopatógenos sin añadir una carga química al mismo, también ayuda a retener la humedad en el suelo ya que mejora la infiltración y

con ello reduce los procesos de erosión y escorrentía (Epstein, 2011). Adicionalmente, el compost agrega carbono, nitrógeno y potasio al suelo, es decir, secuestra carbono y con esto ayuda a la reducción del efecto invernadero. Entre los problemas que se pueden encontrar en el proceso de compostaje se encuentran las emisiones de bio aerosol (partículas o micro fragmentos de microorganismos de origen animal o vegetal que se encuentran en el aire), estas pueden ser controladas con el correcto diseño de las instalaciones de compostaje, manteniendo el suelo húmedo y en un lugar con elevada ventilación (Alcolea, 2000).

2.2.1.1 Factores que intervienen en el Compostaje

- **Microorganismos**

La pila de residuos a compostar genera un micro hábitat con características muy diferentes a las del entorno, lo que favorece la aparición de organismos especialmente adaptados a esas condiciones, es por esto que la descripción de los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje es compleja, debido a que las poblaciones y las comunidades cambian continuamente en función de la evolución de la temperatura, concentración de oxígeno, contenido de agua, disponibilidad de nutrientes, su nivel de acidez o alcalinidad (pH), entre otros (Cariello, 2007).

Entre la gran variedad de microorganismos existentes en el proceso de compostaje se destacan los psicrófilos, mesófilos y termófilos, los cuales constituyen las poblaciones que degradan la materia orgánica a través del tiempo, cada tipo de microorganismo se activa en distintas fases del compostaje teniendo en cuenta a la temperatura como variable fundamental para ello (Thompson, 1994).

Los psicrófilos son los primeros organismos en aparecer, ellos trabajan de manera óptima en temperaturas de entre 10 y 15°C; producto de su alta actividad incrementa la temperatura dando paso a la actuación de los

organismos mesófilos los cuales trabajan de manera adecuada en temperaturas que van desde los 20 a los 40°C, una de las principales bacterias son las *Pseudomonas fluorescentes*, debido a que son las más numerosas, constituyen entre el 80% y el 90% de los microorganismos existente en el compost, este tipo de bacterias están asociadas a procesos de biocontrol de patógenos de plantas y al desarrollo de estimulación del desarrollo radicular (Laich, 2011).

Los *Actinomycetes* son organismos termófilos, lo que hace referencia a su alta tolerancia a las temperaturas que alcanza el compost durante el proceso de degradación aeróbica, por lo que su trabajo inicia cuando la temperatura llega a los 40°C hasta los 60°C (Ramirez y Cocha, 2003) y su participación es muy importante dentro del ciclo del compostaje debido a la capacidad enzimática que estos microorganismos poseen para degradar compuestos orgánicos complejos tales como celulosa y lignina; además de, eliminar la mayoría de patógenos dentro de las pilas de compostaje. Por encima de esta temperatura la actividad microbiana cesa. Por último, pero no menos importante se encuentra la participación de los hongos filamentosos los cuales también participan en la degradación aeróbica de la materia orgánica debido a su alta capacidad ligno celulítica (Ramírez, 2006).

Las bacterias, los actinomicetos y los hongos son microorganismos que descomponen la materia directamente, por ello son conocidos como compostadores de primer nivel y estos son ayudados por organismos de segundo nivel (organismos con características morfológicas superiores a los de primer nivel) tales como: escarabajos, moscas, gusanos, entre otros; a su vez los organismos de segundo nivel sirven como alimento por los de tercer nivel como los ciempiés y los ácaros (Otiniano, 2006).

- **Temperatura**

La temperatura es uno de los factores más importantes dentro de un sistema de compostaje ya que cada grado de temperatura más, incrementa la actividad

microbiana y por ende la velocidad de descomposición se acelera (UNAM, 2003). La temperatura adecuada dentro del proceso de descomposición oscila entre los 45 y 60°C, ya que por debajo de estos valores el crecimiento microbiano se frena y valores más elevados provocan la muerte de estos. Se ha logrado determinar un comportamiento característico en todos los procesos de compostaje, el cual sigue el siguiente patrón (Campos y Brenes, 2016):

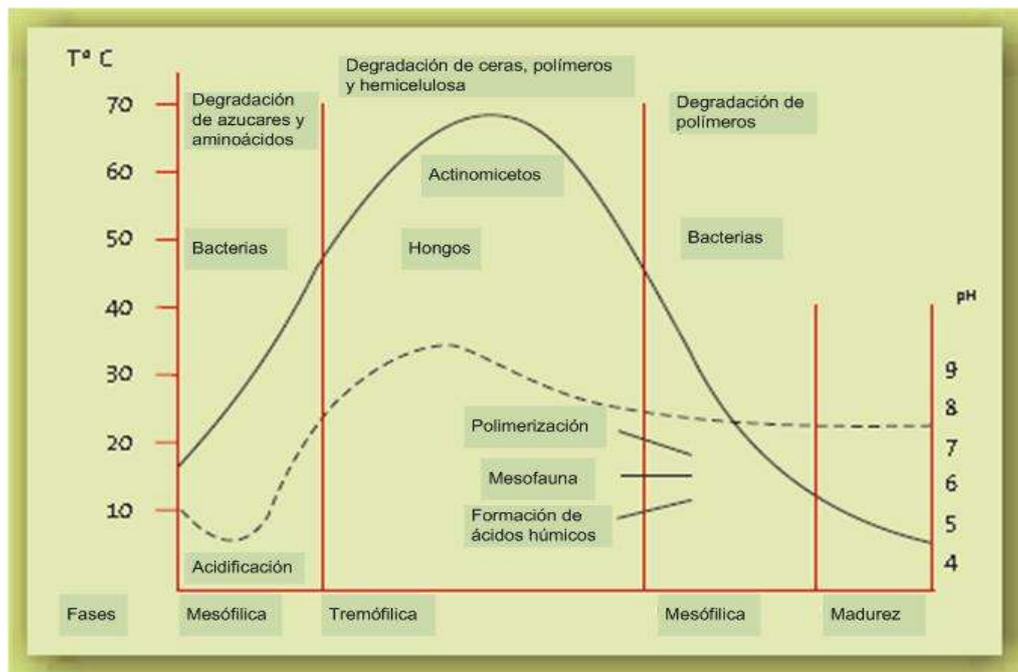


Figura 2. Curva de temperatura, pH y microorganismos.

Tomado de: Laos, 2003.

La Figura 2 muestra la curva del comportamiento de la temperatura y el pH a través del tiempo en la descomposición de la materia orgánica. Se pueden identificar 4 fases dentro de este proceso:

- Fase mesófila, durante la cual la temperatura se incrementa de los 15° hasta los 45°C dejando como resultado la formación de ácidos orgánicos mediante la alta actividad bacteriana (Laich, 2011).
- Fase termófila, esta fase es muy importante ya que ayuda a la reducción de microorganismos patógenos presentes en la materia orgánica, la temperatura inicia en los 45°C y puede llegar a alcanzar los 65°C; en esta fase las ceras, proteínas y hemicelulosas se degradan rápidamente y a

medida que esta materia se elimina los actinomicetos empiezan a dejar de tener con qué alimentarse por lo que empiezan a morir, consecuencia de esto, la reacción se ralentiza y el calor que se genera es menor al que se pierde, comenzando un proceso de enfriamiento (Simoes, 2016).

- Fase mesofílica II o fase de enfriamiento, la temperatura desciende debido a la detención de la actividad microbiana realizada por los actinomicetos por lo que empiezan a aparecer hongos visibles. Esta fase lleva este nombre debido a que en el proceso los microorganismos mesófilos reinician su actividad de degradación (Simoes, 2016).
- La última fase del compostaje es la de maduración, en donde se producen reacciones de condensación y polimerización de los compuestos carbonados y la formación de los ácidos húmicos y fúlvicos, en esta fase la temperatura llega a ser similar a la del ambiente (FAO, 2013).

- **Humedad**

La materia orgánica biodegradable se caracteriza por poseer un alto contenido de humedad, esto quiere decir que gran parte de la composición de esta materia es agua (Campos y Sevilla, 2006). Sin embargo, la cantidad de agua contenida en uno u otro material va a depender de su origen, por ejemplo; la materia marrón (ramas, hojas secas) posee un contenido bajo de humedad; mientras que la materia verde (residuos de cocina y jardín) posee un contenido elevado de humedad, mayor al 50% (Alcolea y Gonzalez, 2000). Para un adecuado sistema de compostaje es indispensable el equilibrio de estas dos materiales.

Aunque se realice un equilibrio de humedad al inicio del compostaje solo con las materias primas, la adicción de agua es primordial ya que los microorganismos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica disminuyen su actividad si disminuye la humedad (Alvarez, 2010).

Con el fin de asegurar una degradación óptima en las pilas de compostaje, se debe mantener un contenido de humedad entre 40 y 60 % (García, Torres y

Rebellón, 2016). Si la cantidad de agua es menor a este porcentaje, el proceso de degradación se ralentiza y en un punto puede llegar a verse estancado; mientras que por el contrario, cuando el contenido de humedad sobrepasa el 60% se produce una putrefacción anaeróbica incontrolada debido a que el agua tiende a ocupar los poros de la materia desplazando el aire, sin dar oportunidad a la supervivencia de los microorganismos (Bueno y Diaz, 2008).

- **Aireación**

La aireación se la realiza mediante el volteo del material en periodos de tiempos determinados. Es preferible realizar los volteos cuando la temperatura baja de los 30°C, para que de esta manera se pueda volver a conseguir temperaturas con valores cercanos a los 50-60°C (Casco, 2008). Esto ocurre ya que la materia orgánica del centro de la pila está acabando su proceso de descomposición; mientras que, la materia que queda por fuera ha tenido un proceso de descomposición más lento, de esta manera al realizar el volteo, además de incrementar la cantidad de oxígeno dentro de la pila se permite acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica; sin embargo, un volteo cada 15 o 30 días puede ser suficiente para un proceso de compostaje que se lo realice entre cuatro o seis meses (Manual del Compostador, 2014).

- **pH**

El pH en el proceso de compostaje puede evidenciarse un poco bajo al inicio del proceso debido a la formación de ácidos orgánicos durante la degradación de las fracciones de materia orgánica más lábiles. Poco a poco el pH aumenta debido a la degradación de compuestos de naturaleza ácida y a la mineralización de compuestos nitrogenados hasta la forma de amoníaco, actuando también el proceso de amonificación como un importante sumidero de protones y, por tanto, favoreciendo al aumento del pH (Röben, 2002). Debido a esta conducta y a su variación durante el proceso de compostaje, el pH debe ser un parámetro indicativo de la buena evolución del proceso.

Cabe señalar que altas temperaturas y los valores de pH básicos favorecen la pérdida de amoníaco en forma gaseosa, repercutiendo estas pérdidas en el valor fertilizante final del compost. Además, este amoníaco libre puede resultar tóxico para los microorganismos y para las plantas siendo, además, muy reactivo con un gran número de compuestos orgánicos (Bueno, 2008).

2.2.2 Lombricultura

La lombricultura es una biotecnología que utiliza una especie de lombriz, como herramienta, para convertir los residuos orgánicos en humus de alta calidad (mejor calidad que la obtenida por medio del compostaje, debido a la acción de las lombrices) y con variedad de nutrientes beneficiosos para el suelo y las plantas (Vermican, 2008). La lombricultura se ve como un negocio en expansión, debido a que es simple, conveniente, rápida y eficiente para la transformación de los desechos en un compost y las ventajas desde un punto de vista ambiental son grandes, a causa de que ahorra energía en su producción, genera una alta recuperación de suelos ya que ayuda a mejorar la aireación, la estructura y la textura del mismo; y, con esto el suelo retiene de mejor manera la humedad y los nutrientes ayudando a que las plantas se fortalezcan, tengan sistemas de raíces mucho más profundos y sean más tolerantes a las sequías, además de reducir la cantidad de residuos que son dispuestos en los rellenos y botaderos (Fundesyram, 2012).

}El vermicompostador es el sitio en donde se produce el proceso de descomposición de la materia orgánica por medio de la acción de microorganismos y lombrices, este debe tener características específicas para la producción de el humus de lombriz; por ejemplo: debido a la alta cantidad de agua que se riega en la materia a compostar, el vermicompostador debe tener un sistema de recolección de percolado (agua resultante del lavado de la tierra presente dentro del vermicompostador). Además, el vermicompostador debe ser ubicado en un sitio sin presencia directa del sol debido a que el calor produce deshidratación del suelo y las lombrices trabajan de mejor manera en la oscuridad por lo que huyen de la luz (Santos y Urquiaga, 2013).

Dentro del proceso de vermicompostaje se utiliza lombrices para generar el compost por lo que es muy importante tener en cuenta las características en las que estos seres se desarrollan por ejemplo: la materia orgánica debe ser triturada en partes más pequeñas para aumentar la superficie en la que actuarán los microorganismos y las lombrices. Esta debe ser colocada constantemente en el sistema para el adecuado proceso de producción de humus de lombriz, aunque se debe tener en cuenta que si se añade una gran cantidad de materia fresca puede provocar que esta se empiece a compostar causando altas temperaturas y olores debido a la falta de oxígeno y esto podría afectar a las lombrices. En un vermicompostador se debe colocar una gran cantidad de materia orgánica fresca como restos de frutas, estiércol de animales y hojas frescas; en pequeñas cantidades se puede añadir la poda triturada (es muy complicada de descomponer por las lombrices), los cítricos como cascara de limón y naranja (altera el pH y en grandes cantidades es perjudicial para la piel de las lombrices), servilletas y papel de cocina (ayuda a la generación de calor y al control de humedad) y se debe evitar colocar restos vegetales que han tenido alto contacto con los pesticidas, papel con tinta, huesos (proceso de descomposición muy lento), pinturas y productos químicos y tejidos sintéticos (Díaz, 2002).

Además se debe realizar el seguimiento de los parámetros como temperatura, humedad y pH presentes para el correcto desarrollo de las lombrices. La lombricultura o vermicompostaje es un complemento ideal al proceso de compostaje debido a que en este proceso de descomposición se obtiene un mejor producto final, altamente rico en nutrientes y con riqueza microbiana superior a otros tipos de compost en un menor tiempo (Fernández, 2011).

2.3.2.1 Factores que intervienen en la Lombricultura

- **Lombrices**

La actividad de las lombrices contribuye a los procesos de descomposición de la materia orgánica ya que estos seres se alimentan de materiales orgánicos,

transformándolos en sustancias más sencillas y a su vez genera un ambiente óptimo para la presencia de microorganismos descomponedores (Garrido, 2011). Existen varios tipos de lombrices, la más usada para los procesos de compostaje es la lombriz roja californiana específicamente la *Eisenia foetida* debido a que poseen un gran apetito pudiendo llegar a comer hasta el 90 % de su propio peso por día, su tasa de reproducción es muy elevada (pone un huevo cada 10 días) y poseen una alta resistencia y adaptación a diversos climas. *Eisenia foetida* adulta mide entre 7 a 10 cm, es hermafrodita imperfecta y puede llegar a vivir hasta 15 años, a través de un proceso de mineralización enzimática que ocurre en el tracto digestivo de la lombriz, cuando digiere los residuos orgánicos los transforma en materia con alta carga bacteriana y altamente nutritiva la cual será fácilmente absorbida por las plantas (Miao, 2017). Es perfecta para procesos de compostaje ya que mediante sus movimientos por el sustrato generan poros los cuales permiten una mejor aireación e infiltración del agua.

- **Humedad**

Dentro de un sistema de lombricultura debe existir el 70% de humedad y llegar al 40% de esta en el momento de la cosecha. La humedad es un factor muy importante que ayuda a la digestión de las lombrices y a su desplazamiento por el sustrato (SAGARPA, 2007). Esta debe ser homogénea, si existe agua estancada al fondo puede causar fermentación anaerobia y la putrefacción del material. Para tener un adecuado manejo de la humedad es importante que el material a compostar sea poroso, no debe contener grumos ni estar compactado ya que esto impedirá el correcto drenaje del agua. La escases de agua puede detener los ciclos digestivos y reproductivos de las lombrices. La exposición al sol directo además de elevar la temperatura produce deshidratación, por lo que es recomendable mantener sombra o hidratar de manera más constante, de tal manera que permanezca un 70% hidratado (Somarriba y Guzmán, 2004).

- **Temperatura**

Según varios estudios encontrados se pudo obtener que el rango óptimo que asegure el bienestar de las lombrices, su correcta reproducción y una mejor producción de humus es de 15-24°C debido a que este rango es cercano a la temperatura corporal de las lombrices es de 19°C (Somarriba y Guzmán, 2004). Temperaturas por debajo de los 0°C provocan inactivación de las lombrices y pueden provocar su muerte; por otro lado, temperaturas más altas de 25°C son resistidas por las lombrices a costa de su disminución en la reproducción y una producción mucho menor de humus. La temperatura es uno de los factores más sencillos de controlar y mantener, con controles periódicos, aireación, materia orgánica fresca y la humedad adecuada se puede mantener una temperatura estable durante todo el proceso de descomposición (Martínez, 2002).

- **Aireación**

Aunque la *Eisenia foetida* puede vivir en condiciones con un nivel de oxígeno bajo es importante tomar en cuenta la fácil aparición de microorganismos tóxicos que implica el tener un ambiente anaerobio en los procesos de compostaje; por lo que, para mantener un adecuado proceso de descomposición en el vermicompostaje es importante realizar volteos frecuentes y con esto asegurar un desarrollo adecuado de las lombrices ya que la compactación del material genera una reducción en apareamiento y reproducción además de retrasar el ciclo de producción de vermicompostaje (Nogales, Romero y Fernandez, 2014).

- **pH**

Para obtener un excelente humus se debe controlar la acidez de la materia orgánica. Las lombrices pueden vivir en un rango de pH de 4 hasta 8; sin

embargo, según Somarriba y Guzmán (2004), los valores adecuados para su digestión y reproducción son entre 6.5 y 7.5 es decir, un pH neutro; un pH básico o ácido puede desencadenar serios problemas en la lombriz, su movimiento y apareamiento y en condiciones extremas puede llegar a provocar su muerte.

2.3 Material Estructurante

El material estructurante es también conocido como el material seco o material marrón (ramas, hojas secas) que se incorpora en un sistema de compostaje con el fin de mantener un sistema adecuado de aire, temperatura y humedad (COGERSA, 2009). Como su nombre lo indica, el material estructurante, al ser implementado dentro de los residuos orgánicos a descomponerse ayudan a generar un soporte, una estructura para toda esta materia, impidiendo la compactación la misma ya que ayuda a genera poros por las que el oxígeno puede circular, así mismo, el material estructurante actúa como una esponja en el momento en la que le agua es excesiva y elimina el agua gradualmente con el fin de mantener en equilibrio los materiales del compostaje (Cataluña, 2016).

La cascarilla de arroz es la cobertura que posee el grano de arroz antes de su procesamiento y este desecho de la industria arrocera que se genera luego de que el arroz pasa por el proceso de molienda, es uno de los grandes inconvenientes que están presentando los arroceros de todo el mundo (Rodríguez y Grant, 2012). Muchas veces se ha utilizado a la cascarilla de arroz como biocombustible debido a su alto poder calorífico; sin embargo, un estudio realizado en por Tomas (2012), demuestra que las características físicas y la composición orgánicas de la cascarilla de arroz pueden mejorar las propiedades físicas del suelo y de los abonos orgánicos, ya que debido a su bajo contenido de humedad actúan como material estructurante facilitando la aireación, absorción de humedad y el filtraje de nutrientes además de ser un excelente alimento para la lombriz roja californiana.

3. Metodología

3.1 Área de estudio

El presente trabajo experimental se realizó en las instalaciones del Relleno Sanitario del Distrito Metropolitano de Quito, ubicado en el sector del Inga bajo, a 45km de la ciudad de Quito; a este sitio llega un aproximado de 2500 ton/día de residuos sólidos. El Relleno Sanitario “El Inga” está ubicado en la parroquia de Pifo, cantón Quito, provincia de Pichincha, posee alrededor de 48 hectáreas en las cuales se realiza el tratamiento de residuos especiales (planta de residuos hospitalarios), la disposición tecnificada de la basura (cubetos), el tratamiento de los lixiviados (planta VSEP y MBR) y posee una planta de generación eléctrica a partir del biogás (producto de la descomposición de la basura) (EMGIRS, 2018). Aledaño al Relleno Sanitario se encuentra la estación de envasado de gas licuado de petróleo “Oyambaro” y el cruce del oleoducto transecuatoriano (Greenleaf Ambiental Company, 2011).

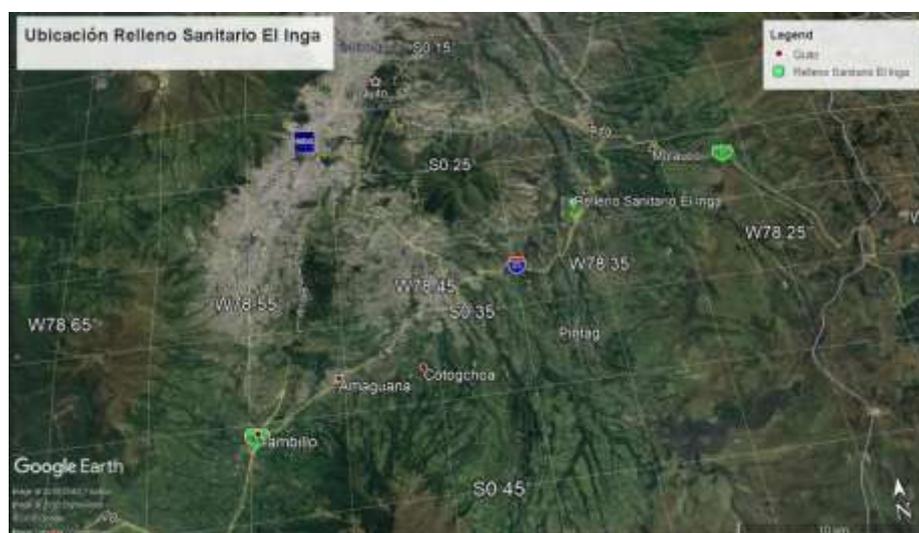


Figura 3. Ubicación del Relleno Sanitario El Inga.

Tomado de: Google Earth 2018.

Respecto a las características hidrológicas y climáticas de la zona se puede decir que según la Estación Meteorológica del INAMHI “La Tola” indica que en sector existe un clima seco. Además datos anuales de esta estación poseen un registro con máximas precipitaciones durante los meses de marzo, abril y octubre hasta diciembre, siendo 118,3 mm el valor máximo alcanzado en el mes de noviembre (INAMHI, 2017).

La temperatura máxima alcanzada según los registros de esta estación, corresponde a los meses de julio y agosto; y, con una mínima de temperatura entre noviembre a enero, los cuales coinciden con el período lluvioso anual de la zona. Según el mapa de isotermas del Ecuador, a la zona de estudio le corresponde una temperatura media de 16°C. (Dinaren y Clirsen, 2000).

El sector del Inga posee una humedad equivalente al 80,4 % en los meses de marzo y abril y con un mínimo de 68,1% en el mes de agosto. En promedio, durante el año 2016, la zona mantuvo un promedio del 76,7% de saturación de agua en el aire (INAMHI, 2017). Además el viento alcanzó una velocidad promedio anual de 2.2 km/h; y, en el mes de agosto, existen registros de velocidades de 5,6 Km/h.

Al Relleno Sanitario El Inga, ingresa diariamente un aproximado de 2300 ton de basura, la cual es dispuesta en una excavación en el suelo, la cual se encuentra configurada técnicamente y es llamada cubeto, el sitio es diseñado para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, se encuentra recubierto con geomembrana (plástico de alta resistencia e impermeable para proteger el suelo natural de la filtración de los líquidos lixiviados). Adicionalmente, dentro del cubeto se adapta un sistema de drenaje de lixiviado en forma de espina de pescado y un sistema para la captación del biogás. El Relleno Sanitario se encuentra en operación desde el año 2003 en convenio con la fundación natura; y, actualmente (2018), se encuentra operando su noveno cubeto. Cada uno de los cubetos anteriores (8) han sido cerrados de manera técnica con el fin de evitar cualquier futuro problema ambiental;

además se realiza un monitoreo continuo de la presión, temperatura y asentamientos en cada uno de los cubetos con el fin de precautelar la salud de los moradores y la estabilidad de los taludes del Relleno Sanitario El Inga.

3.2 Diseño experimental

En el presente trabajo se manejó un diseño en bloques completos al azar (DBCA) debido a que, a pesar de mantener condiciones iguales en los 4 tratamientos, la distribución de estos y las condiciones ambientales que influyen en cada uno de ellos genera variabilidad en sus propiedades físicas, químicas y biológicas; por lo que se busca evaluar el factor de la composición inicial de cada uno de ellos.

Tabla 1.

Diseño experimental

Variables Dependientes	Variables Independientes	Tratamientos	Observaciones
Materia Orgánica Material Estructurante Lombrices	Parámetros Químicos: O, CaO, MgO, Na, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, materia orgánica, carbono orgánico, humedad, conductividad eléctrica, C/N Parámetros Biológicos: Unidades Formadoras de Colonias	Se evaluaron 4 tratamientos: 1. Materia Orgánica 2. Materia Orgánica + Material Estructurante 3. Materia Orgánica + Lombrices 4. Materia Orgánica + Material Estructurante + Lombrices	Se realizaron 3 repeticiones de cada tratamiento Los parámetros físicos (pH, humedad, temperatura y luz solar) fueron evaluados durante todo el tiempo de experimentación

3.3 Construcción de las unidades de tratamiento

Los lechos de compostaje, fueron ubicados sobre el cubeto 5, el espacio fue proporcionado por las autoridades de la EMGIRS-EP para la realización del presente trabajo. Este sitio fue seleccionado debido a que posee un amplio espacio para la colocación de la infraestructura indispensable para el proyecto, además al ser un lugar abierto y con alta presencia de viento se obtiene una aireación adecuada para el proceso de compostaje.



Figura 4. Ubicación de las unidades experimentales dentro del Relleno Sanitario El Inga.

Tomado de: Google Earth 2018.

Sobre este cubeto, ya cerrado en diciembre de 2012, se colocó la infraestructura para la producción de compost. Para la construcción de los lechos de compostaje se utilizaron tabla de monte y pingos para los soportes a manera de columnas. Se contó con el apoyo del personal de la EMGIRS para el proceso de construcción de cada uno de los 12 lechos, el proceso de construcción de estos tomó alrededor de tres días.



Figura 5. Construcción de los lechos de compostaje.

Los lechos fueron ubicados a 50 cm del suelo y con una pendiente del 5%, para el drenaje de los lixiviados. Cada lecho fue diseñado con un largo de 4 m subdividido en 4 para cada uno de los tratamientos, la estructura total posee un alto aproximado de 1 m desde el suelo, las dimensiones los lechos fueron de 0,8 m de ancho, 0,5 m de alto y 4m de largo; dando como resultado un volumen interno de $0,4 m^3$.

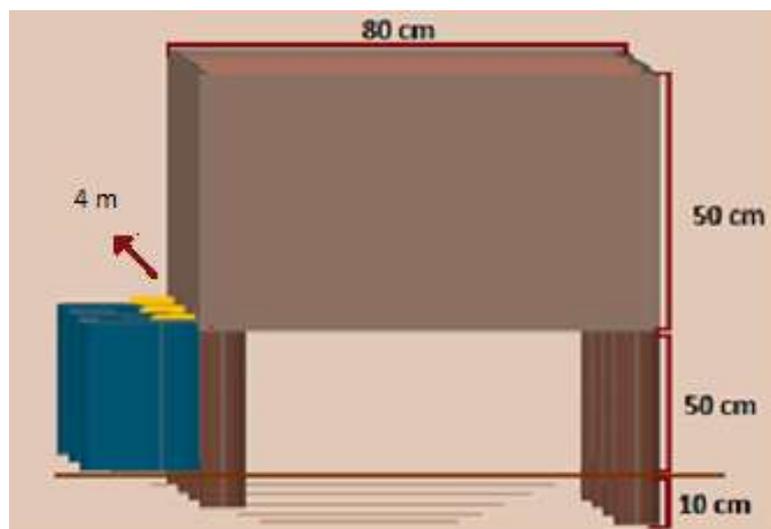


Figura 6. Vista lateral del lecho de compostaje.

Con el fin de evitar la fuga de material de los cajones y, para poder colocar un sistema de recolección de lixiviados, las unidades de tratamiento fueron impermeabilizadas de manera individual con geomembrana, mismo elemento utilizado para la impermeabilización de los cubetos en el Relleno Sanitario, debido a su alta rigidez se utilizó equipo adecuado para su corte y armado, cada una de las esquinas de cada unidad de tratamiento fue termo soldada, esta suelda especial llega a 500°C y permite que la geomembrana permanezca unida permanentemente.



Figura 7. Impermeabilización de los lechos de compostaje con geomembrana.

Adicional a esto, se colocó un techo para proteger los lechos del sol y la lluvia, se colocaron pingos de madera insertados 50 cm dentro del suelo y elevados 2 m con el fin de obtener una estructura sólida que resista los fuertes vientos de la zona. La estructura general del proyecto fue de 6 m de largo y 5 m de ancho.

Para el techo se utilizó geomembrana, pues para la época de lluvia es muy resistente y su color negro impide el paso directo de la luz solar evitándose una evaporación exagerada del agua de los lechos, lo que permitió realizar hidratación más espaciada sin riesgo de deshidratación.



Figura 8. Construcción de la infraestructura para el soporte del techo y colocación del techo.

Luego de su impermeabilización individual, a cada unidad de tratamiento se le colocó un sistema de drenaje y recolección de lixiviado, esto se realizó mediante un corte en la parte inferior de la tabla y un corte en la geomembrana que impermeabiliza cada lecho, se insertó una manguera para que el lixiviado drene de manera ordenada y un balde con funda para el adecuado manejo del lixiviado obtenido.



Figura 9. Sistema de drenaje individual y recolección de lixiviado.

3.4 Siembra, control de parámetros físicos y mantenimiento de los lechos de compostaje



Figura 10. Esquema del lecho de compostaje.

Cada cama se encontraba dividida en 4 lechos, cada uno de estos fue llenado de manera diferente de acuerdo a la metodología de compostaje que se va a evaluar tendiendo 4 tratamientos distribuidos de la siguiente manera:

Tratamiento 1: Materia Orgánica

Tratamiento 2: Materia Orgánica + Material Estructurante (cascarilla de arroz)

Tratamiento 3: Materia Orgánica + Lombrices

Tratamiento 4: Materia Orgánica + Material Estructurante + Lombrices

De acuerdo al volumen individual de cada lecho se colocó 46 kg de materia orgánica, 2,5 kg de material estructurante (según corresponda) y 3 kg de lombrices (según corresponda). La cantidad de cada material fue acorde a la densidad de la materia orgánica inicial, el volumen aproximado de carga fue de 0,2 m³, el material estructurante (casca de arroz) fue pesado, colocado y mezclado hasta obtener homogeneidad en cada tratamiento. Las lombrices (*Eisenia foetida*) fueron pesadas junto con una mínima cantidad de humus ya que si son retiradas completamente de su hábitat natural podrían morir.



Figura 11. Proceso de pesaje de materia prima para el llenado inicial y único de cada tratamiento.

3.4.1 Control de parámetros físicos durante la experimentación

Para el control de los parámetros físicos se utilizaron 3 instrumentos:



Figura 12. Instrumentos utilizados en la medición de peso, pH, luz, temperatura y humedad.

- Balanza de mano: la cual sirvió en la etapa inicial del proceso, con este equipo se realizó el pesaje inicial de cada material a colocar en los lechos de compostaje y con esto se aseguró una homogeneidad en los tratamientos. Para el procedimiento de pesaje se colocó la materia en baldes y se pesaron los baldes llenos, se restó el peso del balde vacío y el peso neto fue el total de materia prima colocada en cada lecho.
- Medidor multiparamétrico de suelo: el cual fue utilizado durante la etapa inicial del proyecto (1,5 meses) el cual sirvió para hacer un seguimiento diario de los parámetros de luz, humedad, pH y temperatura de cada uno de los tratamientos. Para realizar las mediciones se debía introducir el equipo en el suelo y con la pantalla prendida se esperaba de 2 a 3 minutos hasta lograr la estabilización de los datos, se tomaban los datos proporcionados por el equipo y se proseguía a la siguiente medición.
- Medidor de pH en el suelo marca HANNA modelo HI 99121: el cual fue proporcionado por el laboratorio de suelos de la Universidad de las Américas Sede Querí, y se utilizó la segunda mitad del proyecto (1,5 meses), el equipo sirve para realizar mediciones de pH y temperatura en

suelo de manera más exacta. Para la medición de los parámetros se debía hacer una pequeña abertura con un puntero plástico firme en el medio del suelo a medir, esto con el fin de que el medidor de pH (en su parte de cristal) no se rompa, posterior a esto se colocaba el instrumento y se esperaba a que el dato de temperatura y pH se encuentre estabilizado, se tomaba el dato y se procedía a limpiar con agua destilada, antes de proceder a la medición del siguiente lecho, esto con el fin de evitar errores de mediciones entre tratamientos.



Figura 13. Medición de los parámetros físicos.

3.4.2 Mantenimiento de los lechos

Luego de la medición diaria de los parámetros se realizó el riego y volteo de los lechos de compostaje, con el fin de mantener siempre homogeneidad en el proceso de compostaje. El riego se lo realizó 3 veces a la semana con 5 litros diarios, durante un mes. A partir del segundo mes se realizaron riegos semanales de 5-6 litros. Cabe resaltar que independientemente de las características de los lechos siempre se colocaba la misma cantidad de agua a todos los lechos con el fin de evaluar los resultados en calidad de abono bajo las mismas condiciones; sin embargo el tercer mes de experimentación se regó semanalmente con 5 litros de agua en los tratamientos 2, 3 y 4 mientras que el tratamiento 1 (materia orgánica) fue hidratado solo con 4 litros debido a su humedad continua.



Figura 14. Hidratación y volteo de los lechos de compostaje.

Además, se realizó una revisión continua de manera manual sobre la presencia de lombrices existentes en los lechos correspondientes.



Figura 15. Revisión manual de lombrices.

3.5 Análisis de parámetros químicos

Para la medición de parámetros químicos, se enviaron muestras de cada repetición de los 4 tratamientos al laboratorio AGROBIOLAB en el cual se realizaron análisis de nitrógeno total, nitrógeno nítrico P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO , Na , S , Zn , Cu , Fe , Mn , B , materia orgánica, carbono orgánico, humedad,

conductividad eléctrica, C/N, pH una vez obtenidos los resultados del laboratorio se procedió a su análisis.

3.6 Análisis de parámetros biológicos

Para la medición de los parámetros micro biológicos, una vez culminados los 3 meses de experimentación, se realizó un cultivo de cada uno de los 12 abonos producidos, se disolvió 1gr de suelo en 30 ml de agua destilada y con la micropipeta se colocó una micro gota de cada muestra en cajas Petri se esparció con el asa para poder obtener homogeneidad y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 3 días, posterior a esto se realizó el conteo de las colonias y la determinación de actinomycetes en cada muestra.



Figura 16. Preparación del cultivo

4. Resultados, Análisis y Discusión

La evaluación real de la calidad y eficiencia del abono producido no solo se debe determinar por lo parámetros físicos, químicos y biológicos a continuación analizados sino en función de la mejora que produce en el suelo de un cultivo o un área verde y la calidad del crecimiento de la especie vegetal, tomando en cuenta que hay plantas mas tolerantes a ciertos rangos de pH y otras especies que requieren especificaicones diferentes de nutimentos.

El uso de abonos orgánicos es una forma de producción agrícola sostenible, debido a la reducción del uso de fertilizantes y plaguicidas en los cultivos, es por esto que promover el uso de este tipo de fertilizantes naturales es primordial para evitar la continua degradación ambiental. Es necesaria la implementación de tecnologías que faciliten la producción e incentiven la aplicación de estos en el sitio donde se cultiva y así incrementar la demanda del mismo.

4.1 Parámetros físicos

A continuación se presentan las gráficas de los resultados obtenidos en la medición de los parámetros físicos como el pH, la temperatura y la relación entre estos dos parámetros; además, se realiza el análisis de la humedad y la luz presentes en cada uno de los tratamientos. Es importante mencionar que los datos con los que se generaron las gráficas son resultado del promedio de las 3 repeticiones realizadas para cada tratamiento, con el fin de obtener valores más cercanos a la realidad.

4.1.1 pH

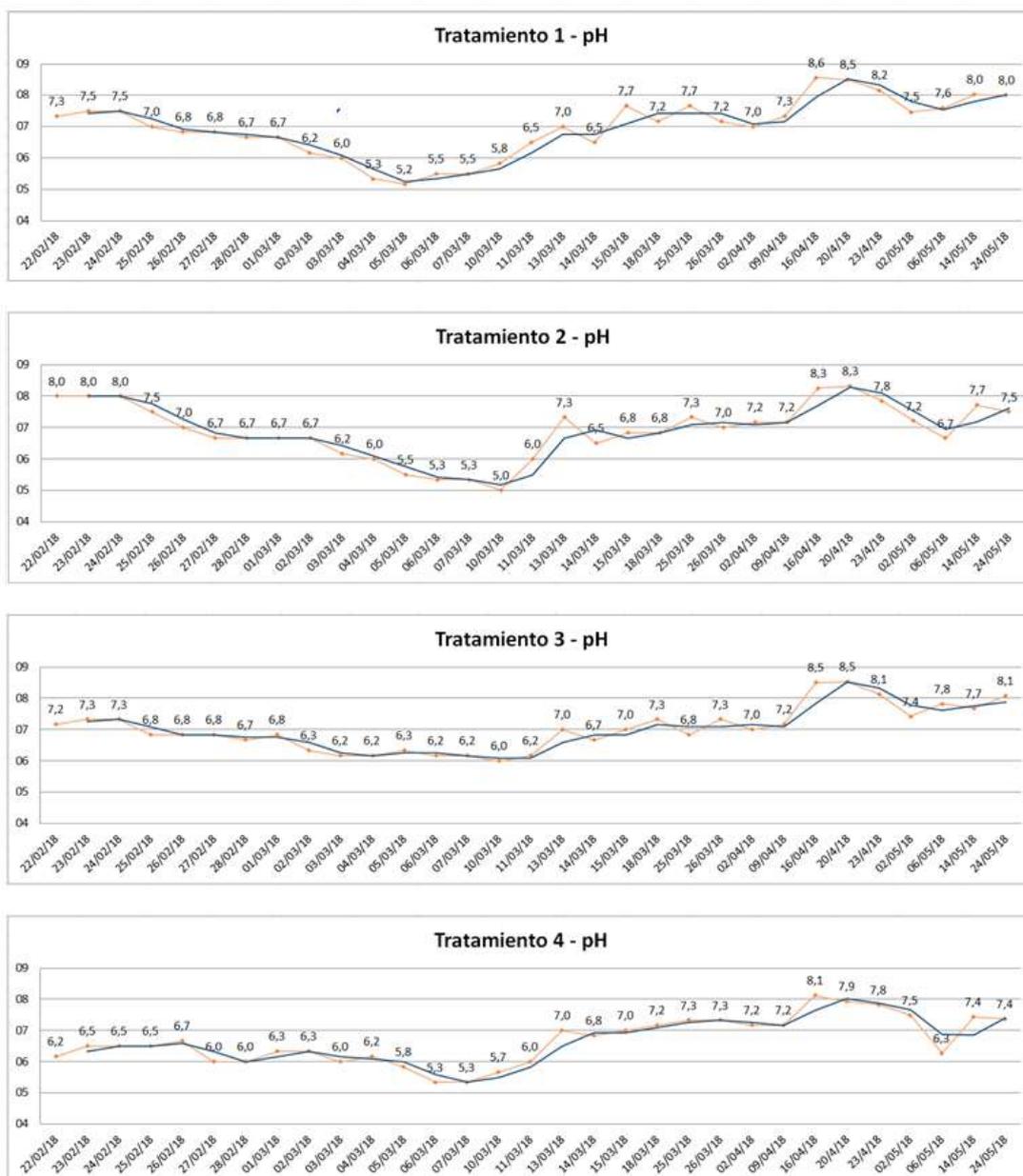


Figura 17. Evolución del pH por tratamiento

Se realizó el seguimiento del pH desde el inicio del proceso de compostaje (22 febrero), y durante los 3 meses de evaluación; durante este periodo de tiempo, se obtuvo que el pH más elevado fue de 8,6 que corresponde al tratamiento 1 (adición de Materia Orgánica); mientras que, el pH menor fue reportado con un

valor de 5 y correspondiente al tratamiento 2 (adición de Materia Orgánica + Material Estructurante).



Figura 18. Tendencia de pH

Al evaluar la variación del pH a través del tiempo de experimentación, se puede observar una tendencia similar en los cuatro tratamientos; es decir, no se observan diferencias significativas en ningún tratamiento y esto se debe a que, la materia orgánica utilizada es la misma en los 4 sistemas, por lo que los procesos de degradación sucedieron de manera similar. Al principio, la elevación del pH se debe a la mineralización de los productos nitrogenados y mientras avanza el tiempo, la formación de ácidos orgánicos genera un decaimiento en los valores de pH (Röben, 2002).

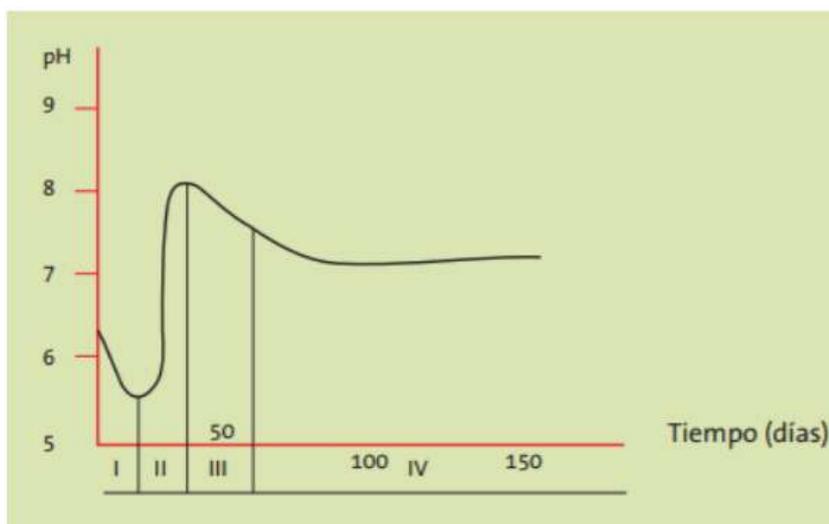


Figura 19. Evolución del pH durante el proceso de maduración. Tomado de: Álvarez (2010)

En la última fase de experimentación se obtuvieron valores de pH por sobre 8, que según Álvarez (2010) representa a la fase final de la curva del pH transcurridos los 60 días (Figura 19), pudiendo inferir que el proceso de compostaje está cerca a finalizar. Con pH elevado la actividad microbiana se ve entorpecida, por lo que se produce la disminución de la liberación de amonio como su oxidación a nitrato, por lo que también se reduce la concentración de las formas asimilables de este elemento (International Plant Nutrition Institute, 1999), pudiendo reflejar así una deficiente relación C:N, la posible solución a este caso es la adición de material seco con alto contenido de carbono (restos de poda, hojas secas).

4.1.2 Temperatura



Figura 20. Evolución de la temperatura por tratamiento

Se realizó el seguimiento de la temperatura desde el inicio del proceso de compostaje (22 febrero), y durante los 3 meses de evaluación; es importante mencionar que debido al tiempo que transcurre desde que la materia orgánica es desechada, recolectada, separada y transportada al relleno sanitario (12 días aproximadamente) y al tiempo que se tuvo la materia orgánica en pilas mientras se construían las unidades experimentales (8 días aproximadamente),

ocurrieron procesos de elevación de temperatura (40 – 50°C) como es conocido en el compostaje (Campos y Brenes, 2016), por lo que los datos reflejados en el seguimiento diario no representa la curva normal de la temperatura dentro de un proceso de degradación. Sin embargo, al principio del estudio se puede observar valores elevados de temperatura que van decayendo durante la primera semana, esto proporciona un indicio de que el proceso de metabolismo de las bacterias termófilas estaba cesando y empezaba la fase de enfriamiento (Campos y Brenes, 2016). Durante la última semana del segundo mes de experimentación, se pudo observar picos de temperatura en todos los tratamientos, eso ocurrió debido a que los fuertes vientos en la zona provocaron que el techo se cayera y por ende la luz solar llegaba directamente a los lechos, una vez solucionado este inconveniente los valores de temperatura se restablecieron siguiendo la tendencia.

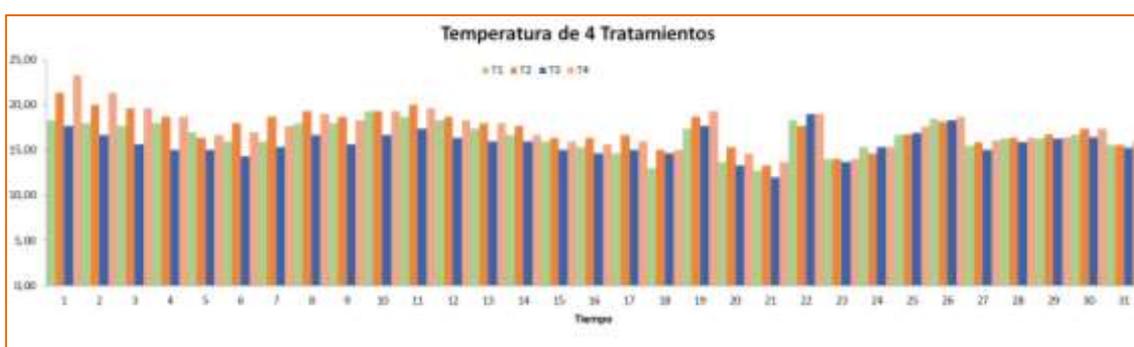


Figura 21. Tendencia de temperatura

En esta curva tendencial se puede observar que el tratamiento 2 (Materia Orgánica + Material estructurante) y el tratamiento 4 (Materia Orgánica + Material estructurante + Lombrices), presentan las más elevadas temperaturas, de esto se puede inferir que el material estructurante ayuda a mantener una temperatura elevada durante el compostaje/lombricultura, lo que aporta a la velocidad de degradación microbiana (De Carlo et al., 2001). Adicional a esto se observa que durante la primera mitad del experimento, el tratamiento que solo está compuesto por materia orgánica supera en valores de temperatura al tratamiento 3 (Materia Orgánica + Lombrices) infiriendo que el movimiento de

las lombrices dentro del medio generan una aireación mayor lo que permite la liberación de temperatura del interior de los lechos.

Al hacer un análisis de las variables pH y temperatura de los 4 tratamientos se puede observar que no son directamente proporcionales, es decir cuando el pH se vuelve un poco más ácido la temperatura sube, mientras que al volverse más alcalino la temperatura baja. Los rangos en los que la temperatura y el pH se elevan o disminuyen no son significativos; sin embargo este comportamiento se puede deber a que al descender el pH el crecimiento de los hongos se activa y estos generan un alza en la temperatura, y al momento de la subida del pH las bacterias retoman su actividad degradadora, según Robles (2015), este ciclo pH - temperatura se mantiene hasta el agotamiento de nutrientes disminuyendo los microorganismos y la temperatura hasta el final del proceso.

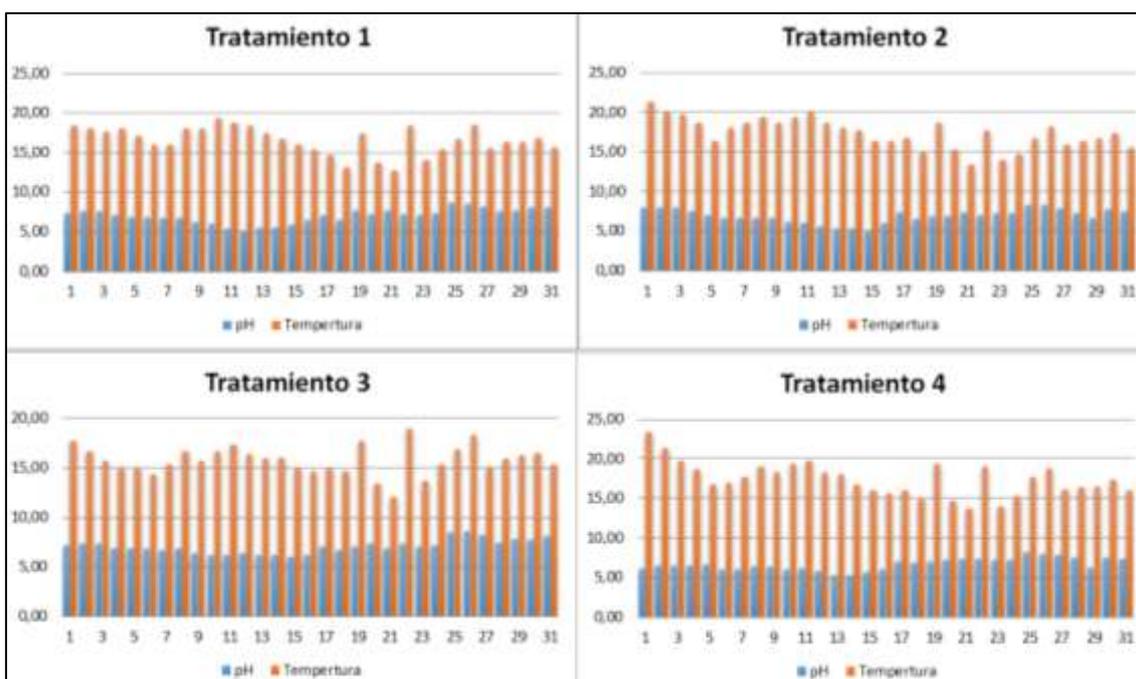


Figura 22. Evaluación pH Vs. temperatura

4.1.3 Humedad

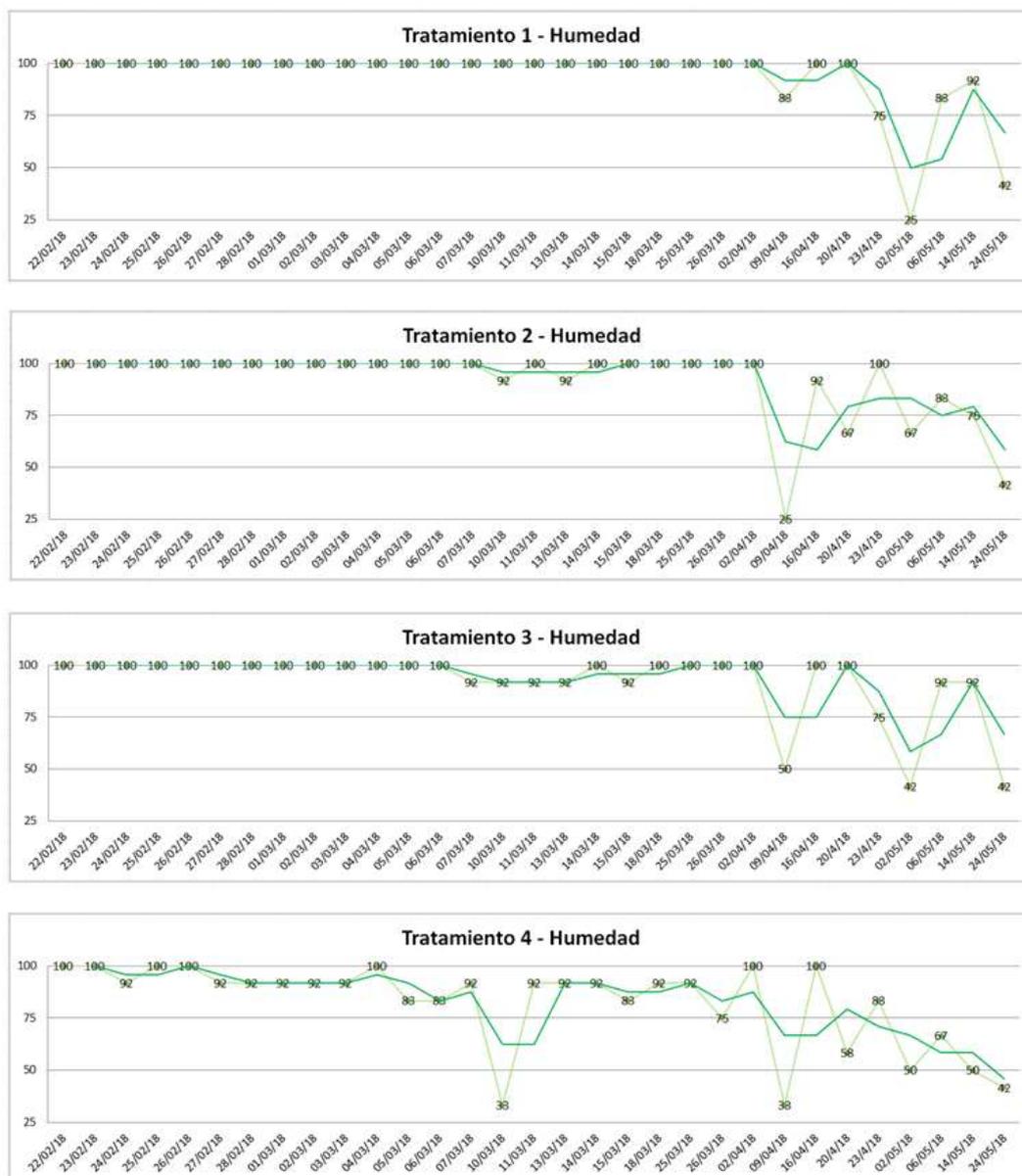


Figura 23. Evolución de la humedad por tratamiento

El equipo de medición de humedad que se utilizó durante el proyecto generaba datos cualitativos de humedad en 5 rangos (WET+, WET, NOR, DRY, DRY+), por lo que para realizar un análisis cuantitativo se transformaron estos valores a porcentajes, tomado así WET+ como 100% y DRY+ como 0% de humedad, cabe resaltar que los valores reflejados en las gráficas no representa la humedad real durante el proceso (ya que si un suelo estuviera saturado con

100% de humedad impediría el paso del aire y por ende la materia se tendría a podrir); sin embargo, estas mediciones sirven como referencia para observar cambios a través del tiempo en cada uno de los tratamientos.

La evolución de la humedad sigue una tendencia constante durante el primer mes de experimentación. Tomando en cuenta que se realizaban de 2 a 3 riegos semanales de 5 y 6 litros; sin embargo, a partir del segundo mes se realizó el riego solo una vez por semana (considerando que el proceso de elevación de temperatura había terminado y el proyecto poseía una cubierta del sol, lo que impediría la rápida deshidratación de los lechos). A partir del segundo mes se decidió hidratar solo con 4 litros por semana el tratamiento 1 debido a que, según los datos obtenidos hasta el momento era el que menor requerimiento de agua necesitaba (los demás tratamientos eran hidratados con 5-6 litros), el tratamiento 4 sufrió una mayor deshidratación, esto debido a que en el último tratamiento la presencia de lombrices y material estructurante genera una demanda mayor de agua para sus procesos degradativos.

Además se puede observar que, a pesar de que todos los tratamientos habían recibido iguales cantidades de agua, los tratamientos que poseen material estructurante (2 y 4) tienden a estar menos húmedos que los tratamientos que no poseen este material. De igual manera como se observó que la temperatura se empezó a elevar en la última semana del segundo mes, por lo que la humedad decae (por falta de techo el sol empezó a evaporar el agua presente en los lechos de manera más acelerada), una vez controlado este obstáculo las condiciones de humedad continuaron con la tendencia normal para cada tratamiento.

4.1.4 Luz

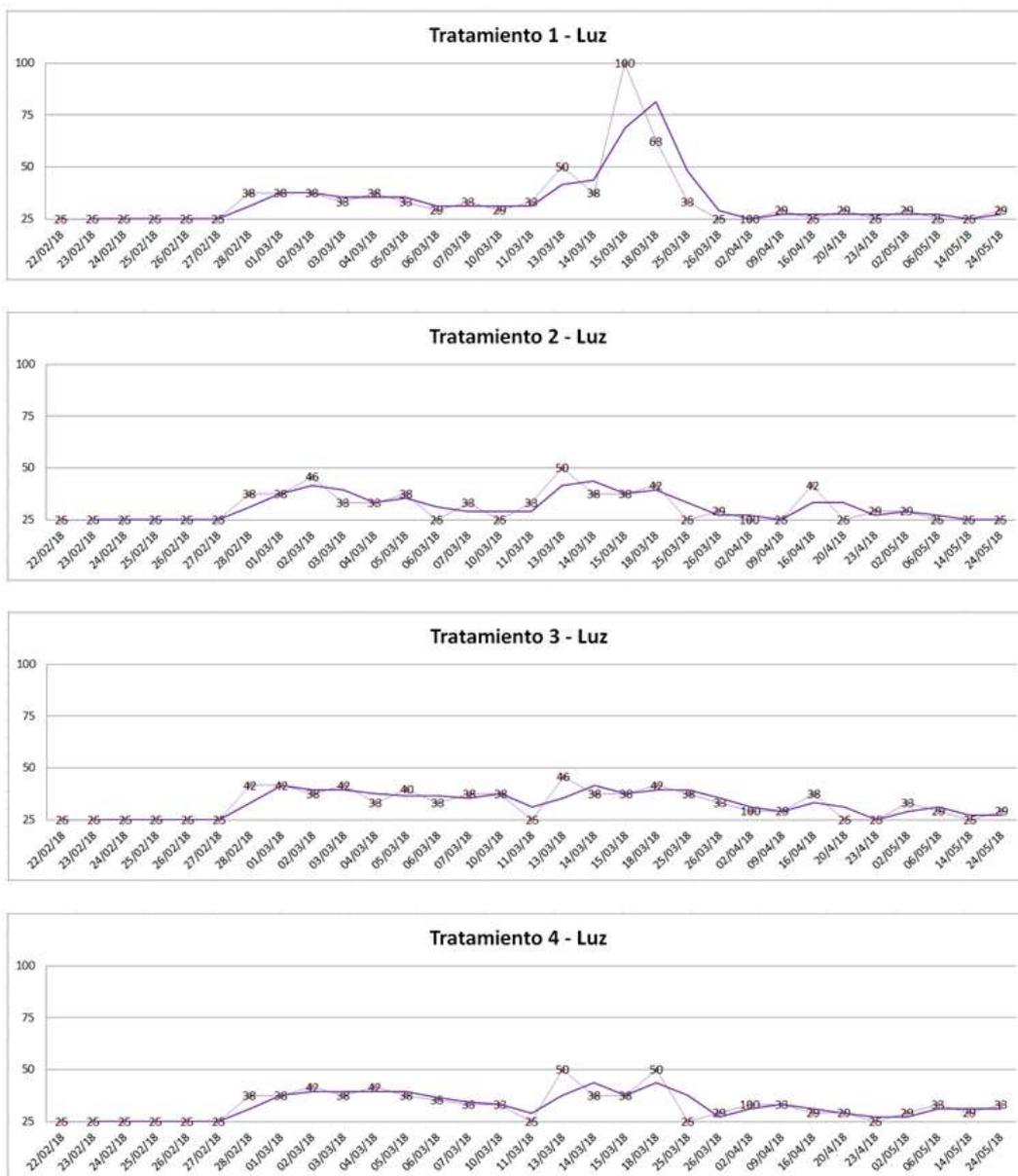


Figura 24. Evolución de la luz por tratamiento

De la misma manera que se realizó el análisis de humedad, los datos obtenidos de luz fueron cualitativos y estuvieron clasificados por 8 rangos (HIGH+, HIGH, HIGH-, NOR+, NOR, NOR-, LOW+, LOW), por lo que para realizar un análisis cuantitativo se transformaron estos valores a porcentajes, teniendo a HIGH+ 100% y LOW como 0% de luz. De igual manera estos valores sirvieron como

referencia para observar cambios de este parámetro a través del tiempo en cada uno de los tratamientos.

La tendencia de la luz fue constante durante todo el proceso ya que sin importar la hora en la que se realizaban las mediciones, el techo protegía el paso de la luz directamente, por lo que se puede evaluar de mejor manera la luz a la que estuvieron expuestos todos los tratamientos durante el proceso de compostaje (25% de luz aproximadamente, valor correspondiente a la cualificación LOW+). Al perder el techo, la luz ingresaba directamente a los lechos por lo que la luz subió durante esa semana.

4.2 Parámetros químicos

De los resultados obtenidos por el laboratorio AGROBIOLAB respecto a los parámetros de nitrógeno total, nitrógeno nítrico P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO , Na , S , Zn , Cu , Fe , Mn , B , materia orgánica, carbono orgánico, humedad, conductividad eléctrica, C/N , pH , se realizó una media de las 3 repeticiones de cada tratamiento, con el fin de evaluar los parámetros obtenidos por tratamiento para conocer el abono que posee mejores características químicas para su utilización en cultivos o regeneración de áreas verdes.

Tabla 2.

Promedio de los parámetros químicos por tratamiento.

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
Nitrógeno Total	%	0,51	0,38	0,45	0,43
Nitrógeno Nítrico	ppm	156,90	101,57	108,73	108,30
P_2O_5	%	0,46	0,46	0,46	0,54
K_2O	%	0,75	0,55	1,60	0,60
CaO	%	2,98	2,92	6,71	3,39
MgO	%	0,69	0,69	0,90	0,55
Na	%	0,03	0,02	0,03	0,02
S	ppm	266,95	219,54	237,71	128,65
Zn	ppm	88,33	69,33	85,00	74,33
Cu	ppm	17,33	16,33	19,00	17,67
Fe	ppm	14543,33	14113,33	14730,00	12493,33
Mn	ppm	214,00	247,33	218,00	230,33
B	ppm	3,16	2,37	2,67	2,66
Materia Orgánica	%	10,10	9,02	10,19	10,65
Carbono Orgánico	%	5,85	5,23	5,91	6,17
Humedad	%	50,04	48,01	48,68	53,76
Conductividad Eléctrica	mmho	7,72	5,67	5,94	4,68
C/N		11,54	13,62	13,50	14,03
pH (fuertemente alcalino 8,5-9)		9,00	8,90	9,00	8,77

Para realizar un análisis comparativo de los resultados del abono generado al cabo de los 3 meses de experimentación se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva y se determinó que no existe una relación precisa de las características químicas presentes en el abono para calificarlo como “ideal”; ya que, las variaciones que se dan en un abono orgánico dependen de gran manera de la materia prima utilizada (restos vegetales, material estructurante, materia orgánica separada de manera manual y mecánica, purín de cerdo, lodos, entre otros), además del tiempo de compostaje y los aspectos climáticos que influyeron durante todo el proceso.

Por esta razón se presenta una tabla en la cual se resumen los valores de los parámetros químicos analizados en varias fuentes; como el manual del compostaje del agricultor de *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2013); artículos científicos los cuales hablan de un sistema de compostaje de RSU con separación mecánica de la materia orgánica (de la misma manera en la que se separó la materia utilizada en el proyecto) (Soliva, 2011) y el análisis de

un compostaje y lombricompostaje generado a partir de estiércol (Olivares, Rodríguez, Contreras, Jaques y Ojeda, 2012); datos de calidad de 2 abonos comerciales como NATUARTE® (100% humus de lombriz) y sustrato profesional a base de turba de ALASKA S.A; además de los datos expresados en el nexa 2 del Texto Unificado de Legislación secundaria del Ministerio del Ambiente en el cual se determinan las normas de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación de suelos contaminados (TULSMA, LIBRO VI).

Tabla 3.

Parámetros químicos de compostaje.

PARÁMETRO	UNIDAD	Estudios Similares								TULSMA	
		SCIELO			NATUARTE	ALASKA	ABONOS ORGÁNICOS		SEPARACIÓN MECÁNICA DE RSU	CALIDAD DEL SUELO	VALORES MAX AGRICULTURA
		FAD	LOMBRI COMPOST	COMPOST	HUMUS DE LOMBRIZ	SUBSTRATO PRO-MIX	VERMI COMPOSTA	COMPOSTA	COMPOSTAJE	TABLA 2	Criterios de Remediación TABLA 3
Nitrógeno Total	%	<1	2,24	2,20	0,21		1,10	2,10	1,00		
Nitrógeno Nitrico	ppm					55-125					
P ₂ O ₅	%		0,27	0,32	0,48	0,38-0,62	0,69	2,52	0,91		
K ₂ O	%		0,95	0,27	0,32	0,63-1,48	1,33	1,93	0,72		
CaO	%		15,81	13,29	22,81	0,65-1,27	22,39	90,96	78,36		
MgO	%		2,01	1,39	0,71	0,41-0,87	0,83	0,99			
Na	%		0,12	0,26					0,80		
S	ppm									250,00	500,00
Zn	ppm		91,00	86,00		0,1-0,6	100,00	235,00	452,00	60,00	200,00
Cu	ppm		38,00	41,00		<0,3			238,00	30,00	63,00
Fa	ppm		357,00	367,00		0,85-2,25	10625,00	3000,00			
Mn	ppm		195,00	213,00		0,8	403,00	265,00			
B	ppm					<0,6				1,00	2,00
Materia Orgánica	%	20,00							50,30		
Carbono Orgánico	%		18,57	14,91							
Humedad	%	30-40							18,43		
Conductividad Eléctrica	mmho									2,00	2,00
C/N		10:1-15:1	8,13	7,50			19,00	15,00	10,00		
pH		6,5-8,5	6,00	7,42			7,80	7,70	7,82	6-8	6-8

Tomando en cuenta la importancia de los macro y microelementos desde la germinación hasta el desarrollo de las plantas, a continuación se evidencia en el análisis individual realizado a cada uno de estos elementos comparando con los estudios antes mencionados con el fin de determinar el tratamiento que posee una mayor similitud con la mayoría de los parámetros químicos estudiados.

4.2.1 Macroelementos Primarios

4.2.1.1 Nitrógeno (N)

El Nitrógeno, es el motor del crecimiento de la planta ya que está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las mismas. La presencia del nitrógeno en abonos es importante ya que ayuda a la absorción de los otros nutrientes presentes en el suelo (FAO, 2002).

Tabla 4.

Contenido de N en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
Nitrógeno Total	%	0,51	0,38	0,45	0,43

El valor más alto de N lo posee el T1, y el más bajo el T2. Sin embargo, los estudios analizados indican que la media del N en compostaje y vermicompostaje es de 1,15% por lo que los valores obtenidos son la mitad de lo que la mayoría de abonos orgánicos poseen, a pesar de esto se puede observar que los tratamientos que poseen material estructurante (2 y 4) poseen los valores más bajos de N lo que podría indicar que la cascarilla de arroz afecta directamente sobre este elemento en el proceso de compostaje.

4.2.1.2 Fósforo (P)

El Fósforo, es un elemento primordial en la transferencia de energía entre la planta y el medio, por lo que es indispensable en el proceso de fotosíntesis, aunque generalmente en el suelo natural o agrícola es deficiente, debido a que el pH del suelo limita la disponibilidad de P para las plantas (FAO, 2002).

Tabla 5.

Contenido de en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
P2O5	%	0,46	0,46	0,46	0,54

El valor más alto de P lo posee el T4, y se producen valores iguales para el T1, T2 y T3. Aunque la media de los estudios analizados dice que el fósforo debe estar presente con un 0,86%, el rango en el que se encuentra este elemento va desde 0,27 (estudio comparativo de compostaje realizado por Olivares et al., 2012) hasta 2,52 (FAO, 2013). Independientemente de la cantidad de hierro presente en el suelo, la absorción de este mineral por parte de la planta depende en gran medida del pH del medio; es decir, mientras mayor sea el pH, menor es la presencia del hierro disuelto en el suelo (Juárez, Cerdán, Sanchez, 2007); por esta razón, el tratamiento 4 posee el mejor resultado ya que además de poseer una mayor cantidad de Fe, el pH final calculado fue de 8,77 el cual es el menor pH entre los 4 tratamientos.

4.2.1.3 Potasio (K)

El Potasio, es uno de los minerales más importantes para la estructura de la planta ya que este realiza la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El K mejora el régimen hídrico de la planta y por ende aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades.

Tabla 6.

Contenido de en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
K2O	%	0,75	0,55	1,60	0,60

Con los datos obtenidos se puede evaluar que: el material estructurante reduce los niveles de potasio del suelo ya que al comparar T1 Vs. T2 y T3 Vs. T4 los cuales solo difieren la presencia de material estructurante los datos disminuyen de 0,75% a 0,55% en el caso de T1 y T2 y en el caso de T3 y T4 la disminución es de 1%, por lo que se determinó que para realizar un abono rico en K es preferible no utilizar cascarilla de arroz en el procedimiento. Ahora bien si analizamos los dos tratamientos con valor más altos de K (T1 y T2) se puede observar que el tratamiento de M.O + Lombrices posee un nivel de potasio significativamente mayor a los otros tratamientos evaluado (1,60%), esto debido a que el tracto digestivo de la lombriz genera 11 veces más potasio asimilable para la planta (AGROFLOR, 2010).

4.2.1.4 Relación N, P, K

Para realizar el análisis de N, P, K y debido a que los datos de laboratorio habían sido proporcionados en óxido de fósforo y en óxido de potasio; se realizó una transformación a valores de P (0,43) y K (0,83) multiplicando por el factor de conversión proporcionado por NUTRITERRA, obteniendo así los siguientes datos:

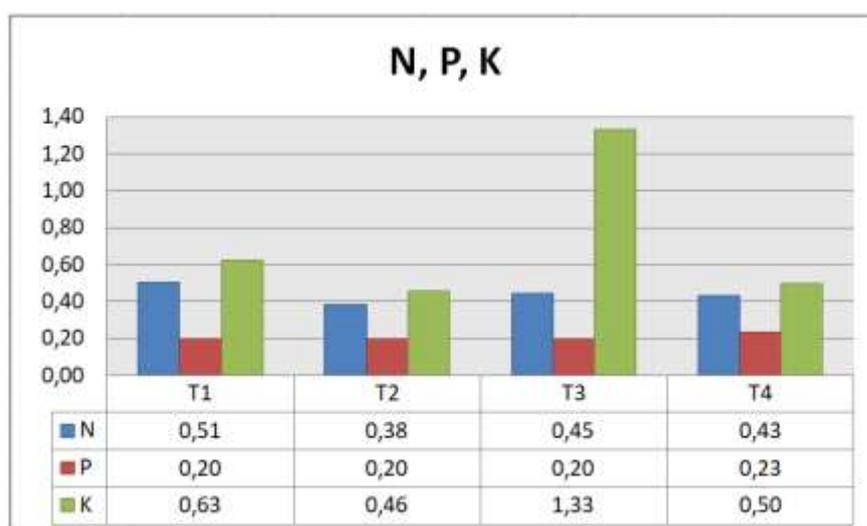


Figura 25. Balance de N, P, K

En la Figura 25 se puede observar que la relación NPK del abono producido y en los 4 tratamientos se refleja un nivel elevado de K lo que proporciona una tolerancia mayor a las plantas en relación al clima y la hidrología a la estén expuestas (heladas y sequias). En especial en el tratamiento 3 de lombrices y materia orgánica en el cual, la alta relación de K se hace muy evidente frente a los otros 3 tratamientos, y esto indica que la plantación a la que se coloque este abono tendrán una mayor tolerancia a climas extremos ya sean sequias o heladas. Al igual que todos los parámetros químicos de un abono orgánico, la relación NPK no es más que una manera de ver en que factor puede ser más productivo un abono u otro. En el mercado existe gran variedad de fertilizantes (químicos y naturales) en los cuales las relaciones NPK varían y por ende son utilizados para cultivos diferentes, en este caso es recomendable utilizar el abono en cultivos de tomate rojo, papa, piña, banano, caña de azúcar y café ya que los requerimientos de potasio para el desarrollo de estos es alto (Jara, 2006).

4.2.2 Macroelementos Secundarios

4.2.2.1 Calcio (Ca)

El calcio es esencial en el crecimiento de la planta, sus raíces, hojas y frutos, generalmente el calcio se pierde por los procesos de transpiración de una planta, por ende las partes de la planta que tienden a transpirar en mayor grado son las partes en las que se nota de manera inmediata la deficiencia de este elemento como por ejemplo en las hojas jóvenes y en los frutos (PRO-MIX, 2018). Usualmente, la cantidad de Ca en los suelos es adecuada para la mayoría de cultivos; sin embargo, la aplicación de este elemento se la realiza generalmente para disminuir la acidez de un suelo.

Tabla 7.

Contenido de CaO en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
CaO	%	2,98	2,92	6,71	3,39

En los resultados de los análisis del calcio se puede observar que los tratamientos que poseen lombrices (3 y 4) poseen mayor porcentaje de este elemento, esto debido a que la lombriz roja californiana en sus procesos digestivos elimina 2 veces más calcio del ingerido (Rodríguez, 2011). Las altas diferencias presentes entre el tratamiento 3 y los demás se puede deber a que la materia orgánica utilizada en este tratamiento poseía un nivel mayor de conchas, debido a que la materia orgánica utilizada en el proyecto fue clasificada mecánicamente además de poseer una gran cantidad de residuos inorgánicos poseía un alto nivel de conchas y huesos, para poder concluir de manera adecuada acerca del elemento calcio en los 4 tratamientos es importante realizar un estudio con el mismo tipo de materia orgánica inicial y determinar el porcentaje de este elemento en el abono final.

4.2.2.2 Magnesio (Mg)

El magnesio es muy importante en el proceso de desarrollo de la planta, en especial en el proceso de la fotosíntesis ya que este elemento ayuda a generar la clorofila para las hojas de la planta, por lo que, cuando se ausenta en el suelo las hojas tienden a perder el color y los procesos de transferencia de energía se ralentizan lo que podría ocasionar falta de desarrollo o muerte de la planta (FAO, 2013).

Tabla 8.

Contenido de MgO en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
MgO	%	0,69	0,69	0,90	0,55

El óxido de magnesio se encuentra en un rango óptimo en los 4 tratamientos ya que, según los estudios analizados este elemento varía en un rango desde 0,41% hasta 2,01%. Al igual que se ha podido observar en los otros elementos, el tratamiento 3 posee un mayor porcentaje de MgO con respecto a los otros tratamientos. Al analizar el magnesio en un abono orgánico es importante tomar la relación que existe entre el calcio y este elemento, debido a que una relación mayor a 6 podría causar un desbalance en el Mg y si esta relación es menor a 3 el elemento Ca se vería afectado (Posso, 2010). A pesar de que el T3 posee niveles elevados de magnesio al hacer la relación Ca/Mg, las mejores relaciones la obtienen el tratamiento 1 y 2, con una relación de 4.

4.2.2.3 Sodio (Na)

El sodio no es considerado como un elemento primordial para el desarrollo de un cultivo; sin embargo, el exceso de este elemento puede causar problemas en el desarrollo, crecimiento y eficiencia de producción de la planta, y produce cambios en la estructura del suelo especialmente cuando el pH es mayor a 8 (PRO-MIX, 2018).

Tabla 9.

Contenido de Na en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
Na	%	0,03	0,02	0,03	0,02

Los valores de sodio son muy bajos en relación a la bibliografía estudiada, se puede notar que los tratamientos que no poseen material estructurante poseen un nivel más elevado de Na; a pesar de ello, no son diferencias significativas. Al no ser un elemento primordial en suelos agrícolas y debido a su similitud en todos los tratamientos, el sodio, no puede ser un factor que ayude a determinar el proceso de compostaje más eficiente.

4.2.3 Microelementos

4.2.3.1 Zinc (Zn)

El zinc es un elemento con poco movimiento dentro de la planta, sin embargo cumple una serie de funciones críticas dentro de la misma, la estructura y la síntesis de proteínas por ejemplo, el Zn tiene un rendimiento mayor en la eficiencia de germinación del grano que en el desarrollo vegetativo; su deficiencia en el suelo puede deberse a altos niveles de pH y a una alta cantidad de P y Cu (INTAGRI, 2015).

Tabla 10.

Contenido de Zn en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
Zn	ppm	88,33	69,33	85,00	74,33

El rango en el que se encuentra el zinc en el suelo, según la bibliografía consultada, son menores para el vermicompostaje (91-100 ppm) que para el compostaje (86-452 ppm); de la misma manera en la que se presentan en los tratamientos evaluados, es decir si se utilizara cualquier abono para germinar una semilla se obtendrían buenos resultados en todas. La presencia de la cascarilla de arroz en el proceso de compostaje reduce los niveles de zinc presente en el abono producido, y sucede lo contrario con la presencia de lombrices en el mismo.

4.2.3.2 Cobre (Cu)

El cobre es uno de los microelementos necesarios para la fotosíntesis de las plantas ya que activan la síntesis de enzimas y los procesos de respiración y metabolismo de las mismas, el exceso de P y Fe en el suelo disminuye la capacidad de absorción de cobre de la planta y su deficiencia puede ser

observada en las hojas nuevas ya que generan una coloración y tamaño diferentes a las demás (PRO-MIX, 2018).

Tabla 11.

Contenido de Cu en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
Cu	ppm	17,33	16,33	19,00	17,67

Todos los valores de cobre se encuentran por debajo del rango consultado en bibliografía, especialmente de los valores expresados por el TULSMA en donde especifica un máximo de 30 ppm de cobre para calificar a un suelo como de buena calidad. Lo que se puede observar es que el tratamiento 3 presenta un valor más elevado de cobre que los demás tratamientos y los tratamientos con cascarilla de arroz presentan un nivel menor de este elemento, a pesar de que en general, los tratamientos con el material estructurante posean valores bajos, no hace referencia a una baja calidad por parte del abono, sino que poseen un equilibrio diferente a los demás tratamientos.

4.3.2.3 Hierro (Fe)

El hierro es uno de los microelementos más esenciales en el suelo debido a su capacidad para reducir los nitratos y los sulfatos y la formación de la clorofila, la cual ayuda a pigmentar las hojas y generar energía para la planta. En general, la presencia de este microelementos es continua en todo tipo de suelo, pero hay que tener en cuenta que este elemento a pH más elevado (6,5 o más) se vuelve insoluble y por ende se pierde la disponibilidad de absorción por parte de la planta (PRO-MIX, 2018).

Tabla 12.

Contenido de Fe en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
Fe	ppm	14543,33	14113,33	14730,00	12493,33

En los estudios analizados se han reportado valores de hierro de hasta 10000 ppm en un tratamiento de lombricompostaje. Los niveles de hierro presentes en los 4 tratamientos son muy elevados, debido a la deficiente información a cerca de la materia orgánica con la que se realizó en proceso de compostaje no se puede determinar si los niveles de hierro se dieron antes o durante el proceso. Sin embargo, no se puede afirmar que constituyen un problema de contaminación debido a que no se encontraron datos que expresen toxicidad del suelo ligadas a compuestos ferricos. Es importante mencionar que el tratamiento que posee M.O + Lombrices + M.E ha digerido de mejor manera el Fe y por ende presenta el valor más bajo de este elemento (Martínez, 2008).

4.3.2.4 Manganeso (Mn)

Este elemento participa en la fotosíntesis, sistemas de óxido-reducción, procesos enzimáticos y de respiración de la planta. Un buen contenido de Mn contribuye al crecimiento de la raíz y protección contra patógenos de la misma. La deficiencia de este microelemento en el suelo provoca la quemadura de las hojas de la planta y las tiende a enrojecer o se tornan de un color marrón (PRO-MIX, 2018).

Tabla 13.

Contenido de Mn en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
Mn	ppm	214,00	247,33	218,00	230,33

Los valores de manganeso se encuentran en el rango óptimo de acuerdo a los estudios de compostaje y vermicompostaje; en este caso los tratamientos con material estructurante poseen valores más altos de este elemento, especialmente el tratamiento que no posee lombrices. El manganeso junto con el Zinc provee una adecuada germinación de las semillas, por lo que al utilizar

el tratamiento 2 en un proceso de germinación de semillas se esperan mejores resultados que con el resto de tratamientos.

4.3.2.5 Boro (B)

El boro es un microelemento que permite el desarrollo de las plantas, especialmente de las leguminosas ya que aporta en los procesos de división celular. El boro en las florícolas es utilizado para generar una mejor estructura en el tallo de las rosas. El déficit de este elemento en el abono orgánico se produce cuando en pH es mayor a 6,5, y su disminución puede provocar daños observables en las hojas o en la raíz ya que las hojas tienden a marchitarse (sobre todo las nuevas hojas) y la raíz no puede crecer de manera normal debido a la alta compactación que suele presentarse en suelos con déficit de este elemento (SMART, 2018).

Tabla 14.

Contenido de B en los tratamientos

Parámetro	Unidad	Promedio T1	Promedio T2	Promedio T3	Promedio T4
B	ppm	3,16	2,37	2,67	2,66

Los valores de boro hallados en los 4 tratamientos son mayores a los presentes en el sustrato comercial PRO-MIX, el cual especifica niveles de boro menores al 0,6 ppm. Además según los valores proporcionado por el TULSMA (valores máximos para agricultura en suelos remediados) el boro está sobrepasando el rango de 2 ppm en todos sus tratamientos. Ahora bien se determina entonces que el mejor tratamiento en lo que respecta al elemento boro es el 2, a pesar de estar con 0.37 ppm más elevado que la normativa. Los valores elevados de boro en el suelo, al igual que con el resto de micronutrientes, provoca daños en la estructura de las hojas, causando quemaduras en las puntas de las mismas y si el problema persiste puede causar la defoliación de la planta. Para ayudar a reducir el nivel de boro del suelo se puede lixiviar un poco el mismo, además

al aplicar fertilizantes con altos niveles de calcio se inhibe la disponibilidad de este elemento (PRO-MIX, 2017).

4.2.4 Materia orgánica y carbono orgánico

La presencia de materia orgánica (M.O) en el suelo es muy importante ya que ayuda a mejorar la estructura del suelo, y con esto provee una mejor aireación e infiltración del agua por lo que reduce la erosión del mismo, además, tiene un efecto regulador en la temperatura del suelo y una mejor captación y retención de nutrientes por lo que mejora significativamente la fertilidad de este (Agrimatica, 2014). La materia orgánica junto con el carbono orgánico del suelo (COS) generan condiciones adecuadas para los procesos microbianos y de actividad biológica del suelo, fortaleciendo y estabilizando sus parámetros químicos permitiendo la mejora de su estructura y capacidad de almacenamiento (Aguilera, 2000).

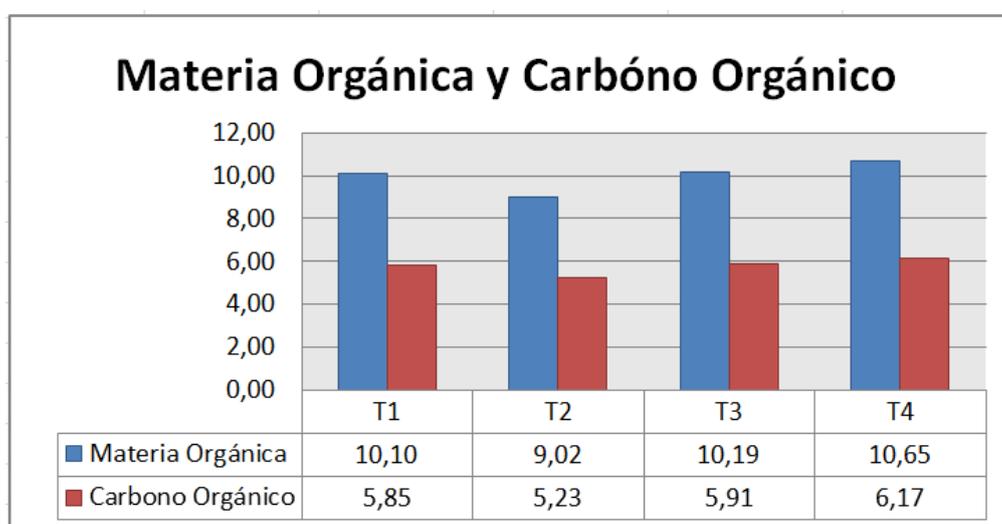


Figura 26. Relación de M.O y C.O

En el análisis de los valores de M.O y COS obtenidos en los 4 tratamientos reflejan estabilidad y muy poca varianza entre ellos; sin embargo, según los datos estudiados, la materia orgánica debería ser alrededor del 20% del abono y el COS rodea los valores del 15%, por lo que se puede observar deficiencia de estos elementos en los 4 tratamientos, esto se puede deber a la falta de

selección y separación adecuada de la materia de origen, una importante clasificación y recolección de los residuos orgánicos generados en la zona urbana del DMQ es indispensable si se desea realizar procesos de compostaje, con el fin de obtener mejores resultados en el abono final. A pesar de la mínima diferencia de estos elementos entre los tratamientos estudiados se puede determinar que el T4 (materia orgánica + lombrices + material estructurante) posee un mejor equilibrio de estos dos elementos. Comúnmente, en el manejo agrícola por el intensivo arado al suelo el C tiende a ser liberado hacia la atmosfera, dejando con una menor disponibilidad en el suelo para el proceso biológico de los microorganismos; mientras que, el uso conservacionista del suelo, como jardinería ornamental o uso de abono para recuperación de suelo favorece la acumulación de C especialmente en formas orgánicas mejorando así la estructura, el drenaje y la vida microbiana del mismo (Martínez, Fuentes y Acevedo, 2009).

4.2.5 Conductividad eléctrica

La CE expresa la concentración de sales solubles que se encuentran presentes en el suelo, y es medida en una solución realizada a una muestra de suelo. La salinidad generalmente es confundida con sodicidad del suelo, pero son dos características diferentes; por ejemplo, en un suelo salino se acumulan cationes como sodio (Na^+), calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y potasio (K^+), mientras que en los suelos sódicos solo se encuentran altos contenidos de Na, y no de otras sales (INTAGRI S.C, 2014). Por las características presentes en el estudio de los 4 tratamientos, la FAO clasifica al abono producido como un suelo sódico salino, ya que este tipo de suelo se caracteriza por tener una conductividad eléctrica mayor a los 4 mmhos/cm y los valores de pH mayores a 8,5; tal como en los 4 tratamientos estudiados (FAO, 2013).

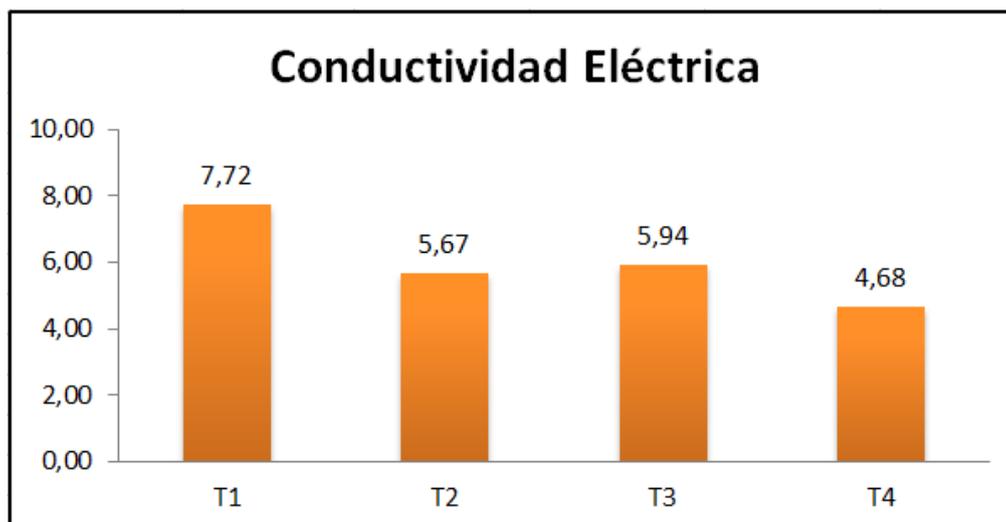


Figura 27. Conductividad eléctrica del abono

De los análisis realizados, se puede observar que los valores de salinidad van de 4,68 mmhos/cm hasta los 7,72 mmhos/cm, lo que refleja un muy alta conductividad eléctrica, la mayoría de cultivos soportan conductividades de entre 1 a 2,5 mmhos/cm por lo que, para utilizar el compostaje producido en este proyecto se debe realizar una dilución del abono de 3 a 4 veces debido a que la salinidad disminuye la germinación y el desarrollo de los cultivos debido a que generan una disminución en la disponibilidad de agua, llegando a simular suelos en condiciones de sequias, aun cuando se provean niveles suficientes de agua (Soliva, 2011).

4.2.6 Relación C/N

El análisis de relación entre el carbono y el nitrógeno indica el estado de humificación en la que se encuentra la materia orgánica en el suelo, este valor se obtiene al dividir el contenido de C (%C total) para el contenido de N total (%N total), este análisis se lo puede realizar antes de empezar un proceso de compostaje para conocer el estado inicial de la materia orgánica a tratar. En el compostaje, el C es la fuente de energía utilizada por los microorganismos para la activación de sus procesos metabólicos y el nitrógeno, es el elemento principal para la síntesis de material celular, por esta razón la relación C/N es

uno de los aspectos más importantes en el balance nutricional del compost (Ormeño, 2007).

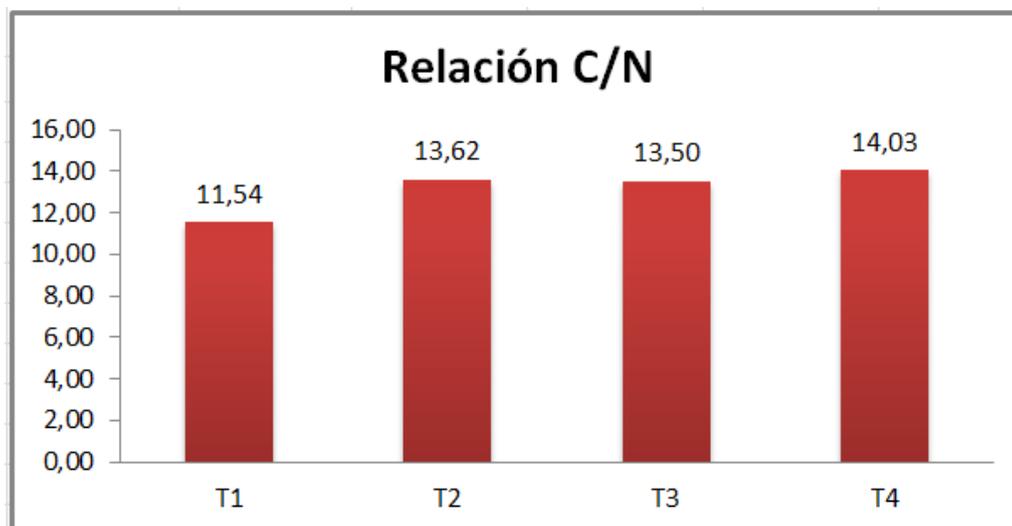


Figura 28. Relación C/N por tratamientos

Los resultados obtenidos en la relación C/N en promedio son de cada tratamiento son de 5,78/0,44 es decir una relación del 13,13 obteniendo un rango óptimo para promover la mineralización de N, por lo que el abono producido en los proceso de compostaje y lombricompostaje se clasifica dentro de los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación (Urquiaga, 2013). La relación entre los tratamientos es tan variable que no se puede determinar el factor que ha genera uno u otro valor; sin embargo, el tratamiento que solo posee materia orgánica posee una relación deficiente en comparación con el que posee además lombrices y material estructurante, por lo que se puede determinar que la adicción de esos componentes al compostaje aportan de manera positiva al resultado final.

4.3 Parámetros Biológicos

Los procesos de descomposición de los residuos están directamente relacionados por la actividad de los microorganismos y generalmente los procesos de fertilidad dependen de la presencia de estos, ya que, si existen los microelementos pero no quien los transporte y metabolice la planta no podrá

absorberlos (Posso, 2010). Es por esto que conocer la composición e interacción de las poblaciones microbianas en el suelo es trascendente. La siembra realizada a partir de las alícuotas de las unidades experimentales en medio de agar nutritivo durante 3 días a temperatura ambiente, revelan un alto crecimiento micro biológico en todas las muestras; con una variedad de colonias en cada una de las cajas Petri con sus repeticiones.

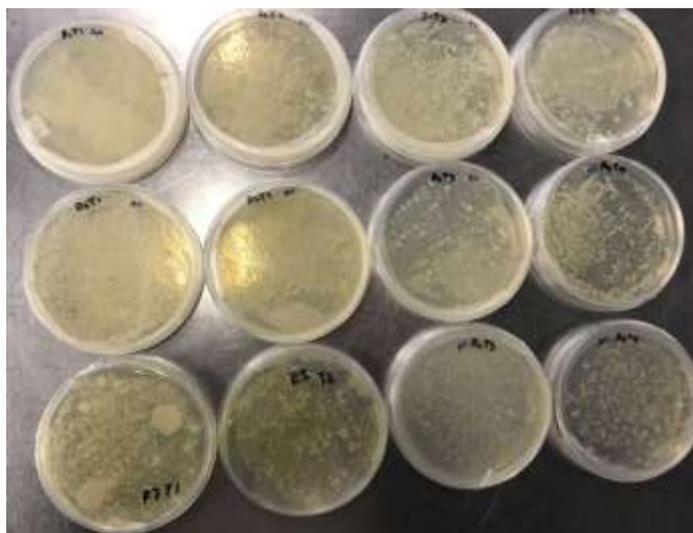


Figura 29. Crecimiento microbio en todos los tratamientos

El conteo de UFCs en cada muestra, generó los siguientes resultados:

Tabla 15.

Conteo de UFC en los 4 tratamientos

REPETICIÓN	TRATAMIENTO			
	1	2	3	4
1	92	164	152	200
2	420	180	432	280
3	360	384	140	232
Promedio	291	243	241	237

En analogía con todos los parámetros antes estudiados, se calculó una media en cada tratamiento con el fin de observar eficiencias en cada uno de ellos. Y con esto se pudo determinar que el tratamiento compuesto solo por materia

orgánica posee una mayor presencia de microorganismos (291), y el menor valor de microorganismos se encuentra en el tratamiento 4 (237). Aunque la diferencia en los valores entre tratamientos no son altamente significativos (especialmente entre los tratamientos 2, 3 y 4), se puede concluir que el proceso de degradación del tratamiento 1 se encuentra menos avanzado que el tratamiento 4, ya que al finalizar un proceso de compostaje y obtener un compost maduro las poblaciones de bacteria y hongos tienden a decaer, debido a que los actinomicetos empiezan a dominar el medio ya que estos son los microorganismos capaces de concluir con el proceso de la transformación de la materia orgánica (Silva, López y Valecia, s.f). Esto se debe a que en el tratamiento 4 además de la presencia de los microorganismos descomponedores, existen lombrices, las cuales mediante procesos digestivos procesan la materia orgánica de manera más eficiente y junto con el material estructurante ayuda a generar condiciones favorables para la reducción del tiempo en el proceso de obtención del abono.

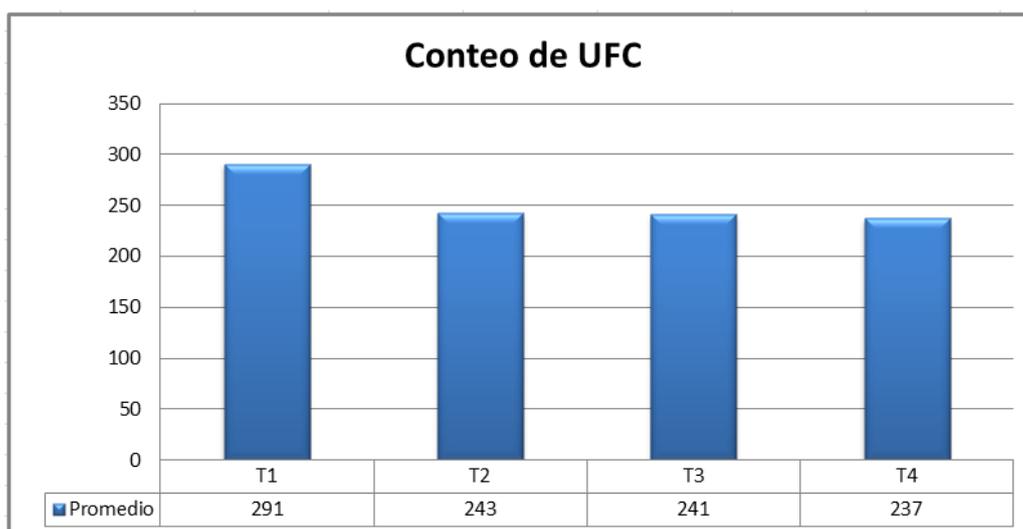


Figura 30. Crecimiento microbiano por tratamientos

Una vez realizado el conteo, se determinó la presencia de actinomicetes (microorganismos dominantes en la fase termófila y en la fase de maduración del compostaje) ya que la presencia de estos microorganismos permite

polimerizar los residuos orgánicos de celulosa y lignina en compuestos de alto peso molecular como ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, los cuales son principales componentes del humus. Se encontró un aproximado de 25,5% de actinomicetes en el tratamiento 4, 16,5% en el tratamiento 3, y 8,5% en el tratamiento 1, lo que indica que estos tratamientos han empezado la fase de maduración.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los lechos de compostaje construidos en el Relleno Sanitario El Inga permitieron desarrollar de manera adecuada el proceso de evaluación del compostaje ya que, el sistema de drenaje de lixiviados permitió que el agua que no era absorbida por la materia orgánica, el material estructurante o las lombrices sea liberada de manera adecuada y con esto impedir posible putrefacción de la materia a evaluar. El techo ubicado en la parte superior del proyecto proporcionó una adecuada aireación de todos los lechos a la vez que protegía el paso directo de la luz solar y las lluvias, lo que permitió llevar un adecuado control de las calidades de humedad en cada uno de los tratamientos.

La evaluación del pH, temperatura, humedad y luz solar que se realizó constantemente desde el inicio del proyecto hasta el fin del mismo, permitió conocer el estado en el que cada tratamiento se iba comportando a través del tiempo, y mediante este seguimiento se modificó la dosis de riego de los tratamientos ya que se determinó que los tratamientos que poseían material estructurante requerían mayor cantidad de agua que los otros, lo que proporciona información valiosa en el momento de industrializar el proceso de compostaje a partir de los residuos orgánicos del DMQ.

Los datos encontrados en bibliografía para cada parámetro varían en rangos muy amplios, ya que la composición química de cada compost difiere según la materia prima utilizada para su producción, por lo que no se puede determinar si los resultados obtenidos hasta este punto son los óptimos; además se debe considerar que el tiempo en el que se evaluó el compostaje (3 meses) es la mitad del tiempo necesario para obtener un abono maduro. Sin embargo, existe un balance entre los macro y micro nutrientes, las propiedades físicas.

encontrados en bibliografía para cada parámetro varían en rangos muy amplios, ya que la composición química de cada compost difiere según la materia prima utilizada para su producción, por lo que no se puede determinar si los resultados obtenidos hasta este punto son los óptimos; además se debe considerar que el tiempo en el que se evaluó el compostaje (3 meses) es la mitad del tiempo necesario para obtener un abono maduro. Sin embargo, existe un balance entre los macro y micro nutrientes, las propiedades físicas y la determinación de crecimiento microbiano por lo que se puede deducir que el tratamiento 3 (materia orgánica + lombrices) es el mejor tratamiento para compostar los residuos orgánicos que llegan al Relleno Sanitario El Inga.

Las relaciones de materia orgánica, conductividad eléctrica y C/N señalan que el abono generado por el T3 actuaría mejor en una planta que se encuentre en un ambiente húmedo y fresco ya que además de activar de mejor manera los microorganismos que descomponen los residuos y aceleran los procesos de mineralización y humificación, los cultivos que se desarrollan en la costa (región con las condiciones climáticas antes mencionadas) poseen una mayor tolerancia hacia la salinidad que una planta que ha sido cultivada en un ambiente cálido y con una baja humedad relativa

5.2 Recomendaciones

Es importante realizar una separación diferenciada de los residuos, especialmente de los residuos húmedos (desechos vegetales y animales), ya que, además de contaminar los productos reciclables; la mezcla de estos residuos junto con otros tóxicos o inorgánicos impiden conocer a exactitud las características de la materia prima utilizada en el compostaje y por ende la determinación del tratamiento de compostaje más eficiente. Si las composiciones de la materia orgánica varían significativamente entre un tratamiento y otro, la calidad del abono producido tampoco va a poder ser estable a través del tiempo.

Debido a la alta concentración de micronutrientes es recomendable añadir zeolita en todos de los tratamientos evaluados ya que, este elemento actúa como dosificador de los microelementos presentes en el abono. Es decir, al colocar el abono en un cultivo, los microelementos serán entregados según la necesidad de la planta. La zeolita solubiliza el Fe, Cu, Zn y Mn y mediante una gradiente de concentración entre el suelo y las raíces entrega las cantidades adecuadas de nutrientes a la planta, precipitando los metales pesados y agentes nocivos para el desarrollo de esta. Se recomienda colocar 400mg de zeolita por m^3 de suelo, esto con el fin de formar quelatos complejos que ayudan a los procesos microbiológicos del mismo.

Durante el procedimiento se pudo obtener una gran cantidad de lixiviados, los cuales fueron desechado con el fin de no alterar el proceso individual de cada tratamiento; sin embargo, y según bibliografía, la alta cantidad de nutrientes presentes en el lixiviado, producto de descomposición debería ser recirculado a los lechos para así aumentar la eficiencia y calidad del producto final.

Realizar estudios a una escala mayor que a la de laboratorio permitió observar el comportamiento de uno o varios elementos según la variabilidad de las condiciones ambientales presentes en el medio, aunque se trataba llevar un control minucioso de riego, aireación, temperatura, entre otros, al trabajar en campo, el factor ambiente juega un papel importante en fluctuación de los parámetros analizados como se pudo observar en este estudio.

REFERENCIAS

- Agriculturers. (2014). La importancia de la materia orgánica en el suelo. Recuperado el 26 de Febrero del 2018 de <http://agriculturers.com/la-importancia-de-la-materia-organica-en-el-suelo/>
- AGROFLOR. (2010). Manual de Lombricultura. Recuperado el 19 de Febrero del 2018 de <http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf>
- Aguilera. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Chile: Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14.
- Alejandra Rojas. (2000). Malformaciones congénitas y exposición a pesticidas. Recuperado el 27 de Junio del 2018 de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872000000400006
- ANAGROCEL (2010). Manual de compostaje para agricultura ecológica. Andalucía, Colombia. Recuperado el 14 de Febrero del 2018 de https://www.anagrocel.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/EIA/resumen_ejecutivo_se_el_inga.pdf
- ATLAS AMBIENTAL DEL DMQ. (2008). Manejo De Residuos Sólidos En El Distrito Metropolitano De Quito. Recuperado el 18 de Abril del 2018 de http://www.ambiente-quito-atlas.edu.ec/quitoambiente/temas_ambientales/gestion_ambiental/Documents/atlas_ambiental_dmq_manejo_de_residuos_solidos.pdf
- Banco Mundial. (2018). Población mundial. Recuperado el 16 de Mayo del 2018 de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.GROW>
- Bermúdez. (1999). Manejo de Residuos Sólidos. Revista de la Facultad de Ingeniería. Recuperado el 29 de Marzo del 2018 de https://books.google.com.ec/books?id=WgZ47ud_bpoC&pg=PA46&dq=pilas+de+compostaje&hl=es&sa

- Brian Nowak-Thompson. (1994). Production of diacetylphloroglucinol by the biocontrol agent *Pseudomonas Zuorescens*. Recuperado el 28 de Marzo del 2018 de <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/m94168#.WuM8SljwZPZ>
- Carlos Enrique, Carlos Marcano, Manuel Riera, Lerimar Del Valle. (2015). Producción y composición química de lombriz californiana (*Eisenia foetida*). Recuperado el 17 de Junio del 2018 de Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Moreno26/publication/286903169_Produccion_y_composicion_quimica_de_lombriz_californiana_Eisenia_foetida/links/566f03a408ae52dd6c12e37f.pdf
- Cataluña. (2016). Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje. Cataluña: Agencia de Residuos de Cataluña (ARC). Recuperado el 27 de Febrero del 2018 de http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/residus_municipals/GuiaPC_web_ES.pdf
- COGERSA. (2009). Guía de Compostaje Doméstico. Recuperado el 17 de Enero del 2018 de <https://www.asturias.es/medioambiente/articulos/ficheros/Guia%20de%20compostaje%20domestico.pdf>
- Coha, Prieto. (2003). Enzymatic degradation of cellulose for thermophilic actinomycete: isolation, characterization and cellulolytic activity determination. Recuperado el 13 de Marzo del 2018 de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727332003000100008&script=sci_arttext
- CELEC Corp. (2011). Estudio De Impacto Ambiental Para La Construcción Y Operación De La Subestación El Inga. Recuperado el 1 de Marzo del 2018 de https://www.celec.gob.ec/transelctric/images/stories/baners_home/EIA/resumen_ejecutivo_se_el_inga.pdf

- Contreras, C. (2006). Manejo Integral de Aspectos Ambientales- Residuos Sólidos. Recuperado el 13 de Febrero del 2018 de http://www.javeriana.edu.co/ier/recursos_user/IER/documentos/OTROS/Pres_GIRS_etb.pdf
- Denny Rodriguez. (2012). La cascara de arroz, un problema medioambiental. Recuperado el 25 de Enero del 2018 de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/Ecosolar54/HTML/articulo05N.htm>
- Diaz, E. (2002). Guía de Lombricultura. Recuperado el 23 de Mayo del 2018 de <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>
- Distrito Metropolitano de Quito. (2010). Situación económica y productiva del DMQ. Recuperado el 15 de Mayo del 2018 de <http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wpcontent/uploads/documentos/pdf/diagnosticoeconomico.pdf>
- Eduardo Martínez, J. P. (2009). Soil organic carbon and soil properties. Recuperado el 25 de Abril del 2018 de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120129/Martinez_Eduardo.pdf
- EMGIRS. (2010). Procesos del Relleno sanitario el Inga. Recuperado el 15 de Junio del 2018 de <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zentools/zentoolsslideshow/zentools-carousel>
- EMGIRS. (2016). Planta de Separación de Residuos Sólidos Urbanos. Recuperado el 23 de Febrero del 2018 de <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zentools/zentools-accordion/visitas-al-relleno-sanitario-3>
- EMGIRS. (2018). Procesos dentro del relleno sanitario. Recuperado el 18 de Abril del 2018 de <https://www.emgirs.gob.ec/>
- Enrique, C. (2015). Producción y composición química de lombriz californiana (*Eisenia foetida*). Recuperado el 2 de Junio del 2018 de Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Moreno26/publication/

- 286903169_Produccion_y_composicion_quimica_de_lombriz_calif
orniana_Eisenia_foetida/links/566f03a408ae52dd6c12e37f.pdf
- Epstein, E. (2011). Industrial Composting, Environmental Engineering and Facilities Management. Recuperado el 10 de Enero del 2018 de <https://hera.ugr.es/tesisugr/20373934.pdf>
- Estela de Carlo, Angela Rosa, Silvia Benintende, María Cariello, Liliana Castañeda, Elsa Figoni, Norma Graso, Ariel Ruiz, Fabian Mascheroni. (2001). Estudio De La Población Microbiana En Las Etapas Iniciales Del Compostaje. Recuperado el 13 de Febrero del 2018 de <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/2774>
- FAO. (1991). Boletín de Suelos de la FAO. Recuperado el 13 de Mayo del 2018 de https://books.google.com.ec/books?id=WgZ47ud_bpoC&pg=PA46&dq=pilas+de+compostaje&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiQy62X5_zAaAhXCtlkKHYsKDI4Q6AEIJTAA#v=onepage&q=pilas%20de%20compostaje&f=false
- FAO. (2002). Los Fertilizantes y su uso. Recuperado el 15 de Enero del 2018 de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- FAO. (2013). Manual de compostaje del Agricultor. Recuperado el 25 de Mayo del 2018 de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Fernández, M. (2011). Aplicación de la técnica de Vermicompostaje para la valorización agronómica de residuos. Recuperado el 7 de Marzo del 2018 de <https://hera.ugr.es/tesisugr/20373934.pdf>
- Fundesyram. (2012). Compostaje en lechos. Recuperado el 27 de Mayo del 2018 de <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3719>
- Garrido, V. (2011). Lombrices y Cadenas Alimentarias. Recuperado el 24 de Junio del 2018 de <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/lombriz/LOMBRICES%20Y%20CADENAS%20ALIMENTARIAS.pdf>

- Gómez, M. (1995). El estudio de los Residuos. Definiciones, Tipologías y Gestión de Tratamiento. Recuperado el 27 de Junio del 2018 de <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/1037/EI%Estudio%20de%20los%20Residuos.%20Definiciones,%20Tipolog%C3%ADas,%20Gesti%C3%B3n/20y%20Tratamiento.pdf?sequence=1>
- Gustavo Castro García. (2016). Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) del Municipio de Versalles, Valle del Cauca. Colombia. Recuperado el 12 de Mayo del 2018 de <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-076420090002000>
- IDAE. (2007). Biomasa: Digestores anaerobios en España. Recuperado el 10 de Mayo del 2018 de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf
- INEC. (2014). Estadística De Información Ambiental Económica En Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. Recuperado el 10 de Abril del 2018 de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_ConsProvinciales_2014/Municipios014/201412_GADS%20MunicipalesDocumentoTecnicoDeResultados.pdf
- INTAGRI. (2015). La Importancia del Zinc en las Plantas y su Dinámica en el Suelo. Recuperado el 13 de Junio del 2018 de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo>
- International Plant Nutrition Institute. (1999). Nivelación de micronutrientes en plantas. Recuperado el 6 de Enero del 2018 de <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20%20J%20Espinoza%20y%20E%20Molina.pdf>

- International Solid Waste Association. (2012). RSU en Latinoamérica. Recuperado el 11 de Febrero del 2018 de <http://www.iswa.org/>
- Jara, W. (2006). Cultivos con la demanda de Potasio (K). Recuperado el 12 de Marzo del 2018 de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/potasio-en-cultivos-t26713.htm>
- Joaquin Moreno Casco. (2008). Compostaje. Recuperado el 7 de Abril del 2018 de https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Moreno
- José A. Poletto. (2009). Influence of the Separation of Municipal Solid Wastes to Recycling in the Incineration Process with Energy Generation. Recuperado el 22 de Junio del 2018 de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642009000200013&script=sci_arttext
- José Dimas López-Mtz. (2001). Abonos Orgánicos Y Su Efecto En Propiedades Físicas Y Químicas Del Suelo Y Rendimiento En Maíz. Recuperado el 8 de Marzo del 2018 de <http://www.redalyc.org/html/573/57319401/>
- Juan Miranda. (2017). Bioaccumulation, distribution and elimination of lindane in *Eisenia foetida*: The aging effect. Recuperado el 6 de Marzo del 2018 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517315126>; <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.138>
- JUÁREZ. (2007). Hierro en el sistema suelo-planta. Recuperado el 8 de Marzo del 2018 de https://www.researchgate.net/publication/39436232_Hierro_en_el_sistema_suelo-planta
- Julca-Otiniano, Meneses-Florián, Blas-Sevillano, Bello-Amez. (2006). Organic matter, importance, experiences and it role in agriculture. Recuperado el 14 de Marzo del 2018 de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Laich, F. (2011). El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. Recuperado el 28 de Abril del 2018 de

<http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file>

Liconla Estefanía. (2006). Residuos sólidos y Clasificación. Recuperado el 5 de Mayo del 2018 de <https://aiu.edu/applications/.../upload/EDILFREDO%20CERRATO%20LICONA.doc>

López Juan. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Recuperado el 10 de Mayo del 2018 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319401>

Lorena Barbaro. (2014) Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Recuperado el 15 de Mayo del 2018 de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf

Manejo de residuos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito. (2008). Atlas ambiental del distrito metropolitano de Quito. Recuperado el 19 de Marzo del 2018 de http://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/gestion_ambiental/Documents/atlas_ambiental_dmq_manejo_de_residuos_solidos.pdf

Manual del Compostador. (2014). Compostaje y lombricompostaje. Recuperado el 17 de Junio del 2018 de <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/compostar-hacer-compost/147-el-compost-temperatura-y-humedad.html>

María Ester Cariello. (2007). Endogenous microorganisms inoculant to speed up the composting process of urban swage sludge. Recuperado el 10 de Junio del 2018 de http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0718-27912007000300003&script=sci_arttext&tlng=es

Marmolejo Laura. (2009). Flujo de residuos: Elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos sólidos

municipales. Recuperado el 11 de Junio del 2018 de Ingeniería y Competitividad:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323541009>

Martínez Orlando. (2008). Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada. Recuperado el 25 de Junio del 2018 de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10692/4de8.OPMcap.4.pdf?sequence=5>

MINAM. (2016). Ministerio del Ambiente. Recuperado el 7 de Abril del 2018 de <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2016). Subsecretaría de Calidad Ambiental. Obtenido de Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos. Recuperado el 9 de Junio del 2018 de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/PNGIDS.pdf>

Miriam Alcolea. (2000). Manual de Compostaje. Recuperado el 6 de Abril del 2018 de <http://www.resol.com.br/cartilhas/manual-compostaje-en-casa-barcelona.pdf>

MultiHuerto. (2006). Guía básica para el vermicompostaje/lombricompostaje doméstico. Recuperado el 16 de Abril del 2018 de http://www.multihuerto.es/recursos/multiHuerto_guia_basica_vermicompostaje.pdf

Norzagaray Campos. (2006). Materia orgánica y su relación con la humedad del suelo. Recuperado el 17 de Mayo del 2018 de <http://www.inageq.org.mx/Actas-Inageq-2006/Ponencias/Mariano-33.pdf>

NUTRITERRA. (2016). Nutrimientos en el suelo. Recuperado el 11 de Junio del 2018 de https://www.nutriterra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/factores_conversion_fert.pdf

- Olivares Campos. (2012). Lombricompostaje y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. Recuperado el 19 de Mayo del 2018 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000100003
- Ormeño Myriam. (2007). Preparación y aplicación de abonos orgánicos. Recuperado el 10 de Junio del 2018 de Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/273321490_Preparacion_y_aplicacion_de_abonos_organicos
- Pablo Bueno. (2008). Factores que afectan al proceso compostaje. Recuperado el 7 de Marzo del 2018 de <http://www.redalyc.org/html/579/57937307/>
- Pazmiño Marco. (2012). Consultoría para la realización de un estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos domésticos y asimilables a domésticos para el DMQ. . Recuperado el 2 de Abril del 2018 de http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/Caracterizacion_residuos.pdf
- Posso Joss. (2010). Evaluación de diferentes dosis de compost y lombricompost aplicado al suelo de vivero de palma aceitera (*Elaeis guinensis*). Recuperado el 17 de Junio del 2018 de <http://bdigital.unal.edu.co/2728/1/juliocesarpossoagudelo.2010.pdf>
- PRO-MIX. (2017). Rol del boro en el cultivo de plantas. . Recuperado el 17 de Marzo del 2018 de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-boro-en-el-cultivo-de-plantas/>
- PRO-MIX. (2018). La función del cobre en el cultivo de plantas. . Recuperado el 18 de Marzo del 2018 de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-cobre-en-el-cultivo-de-plantas/>
- PRO-MIX. (2018). La función del manganeso en el cultivo de plantas. . Recuperado el 16 de Marzo del 2018 de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-manganeso-en-el-cultivo-de-plantas/>

- PRO-MIX. (2018). La función del sodio y del cloruro en el cultivo de plantas. . Recuperado el 25 de Marzo del 2018 de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-sodio-y-del-cloruro-en-el-cultivo-de-plantas/>
- PRO-MIX. (2018). Rol del Calcio en cultivo de Plantas. . Recuperado el 23 de Marzo del 2018 de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-calcio-en-el-cultivo-de-plantas/>
- PRO-MIX. (2018). Rol del hierro en el cultivo de plantas. . Recuperado el 29 de Marzo del 2018 de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-hierro-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Ramírez Narvaez. (2006). Extremophile microorganisms.Halophile actinomycetes in Mexico. . Recuperado el 14 de Marzo del 2018 de <http://www.redalyc.org/html/579/57937307/>
- Röben Estephan. (2002). Manual de Compostaje Para Municipios. . Recuperado el 7 de Abril del 2018 de <http://www.web-resol.org/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>
- Robles Miriam. (2015). Evaluación de parámetros de temperatura, ph y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos. . Recuperado el 18 de Abril del 2018 de https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/EVALUACI%C3%93N%20DE%20PAR%C3%81METROS%20DE%20TEMPERATURA,%20PH%20Y%20HUMEDAD%20PARA%20EL%20PROCESO%20DE%20COMPOSTAJE%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20RESIDUOS
- Rodríguez Ármil. (2011). Producción y Calidad de Abono Orgánico por Medio de la Lombriz Roja Californiana (Eisenia Foetida) y su Capacidad Reproductiva. Recuperado el 16 de Junio del 2018 de <http://www.fao.org/docs/eims/upload/agrotech/936/Producci%C3%B3n%20y%20Calidad%20de%20Abono.pdf>

- S.C, I. (2014). La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos. Recuperado el 17 de Abril del 2018 de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>
- SAGARPA. (2007). Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación. . Recuperado el 27 de Abril del 2018 de Lombricultura: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Lombricultura.pdf>
- Sana Alvear. (2011). Microorganismos del suelo y biofertilización. Recuperado el 26 de Abril del 2018 de http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=CROPS-FOR-BETTER-SOIL_formation-5.pdf
- Secretaria de Ambiente. (2015). Quito y el ambiente. . Recuperado el 4 de Junio del 2018 de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/residuos-solidos/generacion>
- Silva Loor. (2005). Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. . Recuperado el 7 de Marzo del 2018 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compostaje.pdf>
- SMART. (2018). El Boro en las plantas. . Recuperado el 16 de Abril del 2018 de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/boron>
- Soliva Marcelo. (2011). Materia orgánica y compostaje control de la calidad y del proceso. . Recuperado el 14 de Abril del 2018 de <http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/70-materia-organica-y-compostaje-control-de-la-calidad-y-del-proceso/file>
- Tulsma LIBRO VI. (2014). Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. . Recuperado el 2 de Mayo del 2018 de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/39/LI>

BRO%20VI%20Anexo%202%20Remediacion%20de%20suelos.pdf

- UNAM. (2003). Efecto de la temperatura en la actividad enzimática. .Recuperado el 4 de Junio del 2018 de <http://laguna.fmedic.unam.mx/~evazquez/0403/velocidad%20reaccion%20enzimatica3.html>
- UNEP. (2012). Perspectiva mundial para la gestión de residuos. . Recuperado el 14 de Mayo del 2018 de http://web.unep.org/ietc/sites/unep.org.ietc/files/GWMO_summary_Spanish_1.pdf
- Urquinaza. (2013). Compostaje y vermicompostaje doméstico. Recuperado el 10 de Marzo del 2018 de http://www.mapama.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2013-04-santos-urquiaga_tcm30-163607.pdf
- Vermican. (2008). Manual del Vermicompostaje. Recuperado el 18 de Abril del 2018 de <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/campus/doc/htmls/sostenibilidad/ManualVermicompostaje.pdf>
- Wild Andrew. (1992). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Recuperado el 18 de Abril del 2018 de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/39/>

ANEXOS

Hoja de resultados de análisis químico de los 12 ensayos, del laboratorio AGROBIOLAB.



AGROBIOLAB - GRUPO CLINICA AGRICOLA

Informe de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y E.C.P.

Gonzalo Zaldumbide N49-204 y César Frank Urb. Dammer 2 (El Inca)
 Telf: (593-2) 241-2383 / 241-2385 Fax: (593-2) 241-3312 Quito - Ecuador
 Página Web: www.grupoclinicagrícola.com E-mail: info@grupoclinicagrícola.com

COMPOST

Datos del Cliente						Referencia					
Cliente : NOQUERA GABRIELA Propiedad:UDLA Cultivo : COMPOST Ingreso : 24/05/2018 Ensayo: 28/05/2018 No. Lab : Desde: 2813 Hasta : 2817						No. Doc: 51443 Emisión: 31/05/2018 Impreso: 31/05/2018 Página: 1 de 3					

Nombre: R1 / T1
No. Lab.: 2.813

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.51	141.00	0.46	0.90	2.98	0.83	0.03	917.20	83.00	24.000	16590.00	203.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
3.19	11.08	6.42	47.54	9.81	12.60	9.10					

Nombre: R1 / T2
No. Lab.: 2.814

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.33	135.90	0.46	0.75	2.98	0.83	0.02	211.90	78.00	21.000	17080.00	284.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
2.83	7.07	4.10	45.12	4.61	12.42	8.70					

Nombre: R1 / T3
No. Lab.: 2.815

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.56	143.50	0.46	3.30	14.35	1.45	0.05	296.50	100.00	20.000	13790.00	216.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
2.97	9.77	5.66	45.45	5.95	10.12	8.00					

Nombre: R1 / T4
No. Lab.: 2.816

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.40	129.60	0.46	0.60	4.20	0.62	0.02	189.10	78.00	23.000	13060.00	236.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
2.21	9.21	5.34	52.29	4.67	13.35	8.80					

Nombre: R2 / T1
No. Lab.: 2.817

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.50	83.20	0.46	0.60	2.98	0.62	0.02	161.10	107.00	18.000	13650.00	224.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
2.15	8.26	4.79	54.89	4.76	9.58	8.80					

Simbólo decimal = (.)

Métodos: Absorción Atómica, Colorimétrica y Kjeldahl.
 P (PEE/ABL/05), K (PEE/ABL/06)
 Resultados corresponden a muestras analizadas, si se va a fotocopiar hacer del documento total
¡SU EXITO ES NUESTRO!


Dr. Washington A. Padilla G. Ph.D.
 Director del Laboratorio

AGROBIOLAB - GRUPO CLINICA AGRICOLA
Informe de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y E.C.P.

Gonzalo Zaldumbide N49-204 y César Frank Urb. Dammer 2 (El Inca)
 Telfs: (593-2) 241-2383 / 241-2385 Fax: (593-2) 241-3312 Quito - Ecuador
 Página Web: www.grupoclinicagricola.com E-mail: info@grupoclinicagricola.com

COMPOST

Datos del Cliente				Referencia			
Cliente	: NOGUERA GABRIELA			No. Doc:	51443		
Propiedad	: UDIA			Emisión:	31/05/2018		
Cultivo	: COMPOST			Impreso:	31/05/2018		
Ingreso	: 24/05/2018	Ensayo:	28/05/2018	Página:	2 de 3		
No. Lab	: Desde: 2818	Hasta	: 2822				

Nombre: R2 / T2

No. Lab.: 2.818

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.36	49.20	0.46	0.45	2.63	0.62	0.02	224.20	59.00	12.000	12870.00	230.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
1.59	9.22	5.34	46.85	6.68	14.85	9.10					

Nombre: R2 / T3

No. Lab.: 2.819

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.30	27.90	0.46	0.45	2.63	0.62	0.02	180.40	77.00	21.000	15480.00	205.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
1.64	7.25	4.20	45.46	5.47	14.01	9.00					

Nombre: R2 / T4

No. Lab.: 2.820

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.35	51.60	0.46	0.60	2.28	0.42	0.02	176.90	70.00	18.000	13330.00	237.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
2.03	7.41	4.29	50.92	4.94	12.28	8.90					

Nombre: R3 / T1

No. Lab.: 2.821

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.51	246.50	0.46	0.75	2.96	0.62	0.03	322.55	75.00	12.000	13390.00	215.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
4.15	10.95	6.35	47.69	6.60	12.45	9.10					

Nombre: R3 / T2

No. Lab.: 2.822

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.48	119.60	0.46	0.45	3.15	0.62	0.02	222.52	71.00	16.000	12390.00	226.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
2.90	10.77	6.24	52.07	5.72	13.58	8.90					

Simbolo decimal = (.)

Métodos: Absorción Atómica, Colorimétrica y Kjeldhal.

P (PEE/ABL/35), K (PEE/ABL/36)

Resultados corresponden a muestras analizadas, si se va a fotocopiar hacer del documento total.

¡SU EXITO ES NUESTRO!



AGROBIOLAB - GRUPO CLINICA AGRICOLA

Informe de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y E.C.P.

Gonzalo Zaldumbide N49-204 y César Frank Urb. Dammer 2 (El Inca)
 Telfs: (593-2) 241-2383 / 241-2385 Fax: (593-2) 241-3312 Quito - Ecuador
 Página Web: www.grupoclinicagrícola.com E-mail: info@grupoclinicagrícola.com

COMPOST

Datos del Cliente				Referencia	
Cliente	:NOGUERA GABRIELA			No. Doc:	51443
Propiedad:	UDLA			Emisión:	31/05/2018
Cultivo	:COMPOST			Impreso:	31/05/2018
Ingreso	:24/05/2018	Ensayo:	28/05/2018	Página:	3 de 3
No. Lab	: Desde: 2823	Hasta	: 2824		

Nombre: R3 / T3
 No. Lab.: 2.823

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.48	154.80	0.46	1.05	3.15	0.62	0.03	296.23	78.00	16.000	14920.00	233.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
3.40	13.56	7.86	55.13	6.39	16.38	9.00					

Nombre: R3 / T4
 No. Lab.: 2.824

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.54	143.50	0.69	0.60	3.68	0.62	0.02	197.95	75.00	12.000	11090.00	218.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
3.74	15.34	8.89	58.07	5.02	16.47	8.60					

Símbolo decimal = (.)

Métodos: Absorción Atómica, Colorimétrica y Kjeldhal.

P (PEE/ABL/35), K (PEE/ABL/36)

Resultados corresponden a muestras analizadas, si se va a fotocopiar hacer del documento total.

¡SU ÉXITO ES NUESTRO!

