

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS TÉCNICAS DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL RESTAURANTE-CAFETERÍA DEL CAMPUS JOSÉ RUBEN ORELLANA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
TECNÓLOGA EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**XIMENA MICHELLE BONILLA CHANGO**

[ximena.bonilla@epn.edu.ec](mailto:ximena.bonilla@epn.edu.ec)

**JENNIFER SELENA URBINA MALDONADO**

[jennifer.urbina@epn.edu.ec](mailto:jennifer.urbina@epn.edu.ec)

**Director: Ing. Gallardo Lastra Lorena Fernanda MSc.**

[lorena.gallaro@epn.edu.ec](mailto:lorena.gallaro@epn.edu.ec)

**Codirector: Ing. Pérez Guamanzara Jady Paulina MSc.**

[jady.perez@epn.edu.ec](mailto:jady.perez@epn.edu.ec)

**Quito, mayo 2020**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Ximena Michelle Bonilla Chango y Jennifer Selena Urbina Maldonado, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

XIMENA MICHELLE  
BONILLA CHANGO

---

JENNIFER SELENA  
URBINA MALDONADO

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Ximena Michelle Bonilla Chango y Jennifer Selena Urbina Maldonado bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Gallardo Lastra Lorena  
Fernanda MSc.

**Director del proyecto**

---

Ing. Pérez Guamanzara Jady  
Paulina MSc.

**Codirector del proyecto**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por guiarme durante toda mi carrera universitaria ya que gracias a él he logrado culminarla.

A toda mi familia, por el apoyo incondicional y la confianza que depositaron en mí durante toda mi vida estudiantil.

A Ángel Jara por brindarme su apoyo incondicional, sus consejos, su amor y confianza.

A mis amigas Adriana Chamba, Eugenia Rivera, María Augusta Urquizo y Jennifer Urbina quienes con su apoyo e inteligencia me ayudaron a culminar esta etapa de mi vida.

A mi pequeño Scotty mi amigo fiel, él que siempre ha estado en todo momento de mi vida listo para darme su amor.

A mi directora y codirectora por su guía y paciencia en la realización de este trabajo de titulación.

A todas las personas que en algún momento y de alguna manera me ayudaron. Gracias por todo.

Ximena Bonilla

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por guiarme y poder cumplir una meta más en mi camino en compañía de mis padres e hija.

A mi madre Marilu y mi Padre Flavio por apoyarme, acompañarme y tenerme paciencia durante mi vida como estudiante.

A mi hija Leila quien es el motor de mi vida para seguir adelante, no rendirme y poder culminar mis metas.

A mi familia quienes me apoyaron en el proceso y transcurso del proyecto para que no me rinda y siga adelante.

A David Lascano quien me acompañó y apoyo incondicionalmente.

A mis amigas Adriana Chamba, Ximena Bonilla y María Augusta Urquizo quienes con su paciencia y apoyo me ayudaron a cumplir esta meta.

Jennifer Urbina

## **DEDICATORIA**

A mi madre Viviana por ser ejemplo de esfuerzo y dedicación, ella es la persona más valiosa que tengo en mi vida, ya que ha sido la única que me ha cuidado y me ha enseñado a enfrentarme ante cualquier adversidad. Gracias a los consejos de mi madre he aprendido que todo trabajo realizado con amor tiene su recompensa.

Ximena Bonilla

Le dedico a mis padres Marilu y Flavio y a mi hija Leila, quienes me llenaron de amor, paciencia para poder culminar una meta más en vida. Mis padres me enseñaron que todo se puede lograr con dedicación y perseverancia. Gracias a todo el apoyo que mis padres e hija me brindaron llegue a cumplir una meta más en mi vida.

Jennifer Urbina

## **Índice de acrónimos**

**ASA:** Tecnología en Agua y Saneamiento Ambiental

**CICAM:** Centro de Investigación y Control Ambiental

**COS:** carbono orgánico en el suelo

**DMQ:** Distrito Metropolitano de Quito

**EPN:** Escuela Politécnica Nacional

**ESFOT:** Escuela de Formación de Tecnólogos

**GEI:** Gases de Efecto Invernadero

**IS:** Índice de selección de cada método de compostaje

**IST:** Índice de selección total

**LDIA:** Laboratorio docente de la Facultad de Ingeniería Civil U ambiental de la EPN

**MOS:** materia orgánica en el suelo

**PT1 Y PV1:** Pilas iniciales de Takakura y vermicompost

**PT2 Y PV2:** Pilas finales de Takakura y vermicompost

**RSU:** Residuos Sólidos Urbanos

## Índice de contenido

1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Objetivos... ..	2
1.2.1 Objetivo General .....	2
1.2.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Justificación .....	2
1.4 Antecedentes .....	3
1.5 Marco teórico .....	4
1.5.1 Residuos y desechos .....	4
1.5.2 Clasificación de residuos orgánicos .....	5
1.5.3 Alternativas de aprovechamiento de residuos orgánicos .....	6
1.5.4 Fases del compostaje .....	8
1.5.5 Parámetros de seguimiento .....	10
1.5.5.1 Aireación .....	10
1.5.5.2 Temperatura.....	10
1.5.5.3 Humedad .....	11
1.5.5.4 pH.....	11
1.5.5.5 Nutrientes .....	11
2.    METODOLOGÍA .....	12
2.1 Diagnóstico de la generación de residuos orgánicos del restaurante-cafetería y los restos de césped del campus Universitario. ....	12
2.1.2 Caracterización de los residuos orgánicos del restaurante-cafetería.....	13
2.1.3 Estimación de restos de césped. ....	14
2.1.4 Área de estudio.....	15
2.2 Evaluación de los resultados obtenidos mediante la selección de la mejor técnica de compostaje, degradación de la materia orgánica y la variación de los parámetros a través del tiempo.....	15
2.2.1 Selección de los mejores métodos de compostaje.....	16
2.2.2 Monitoreo de parámetros físicos y químicos .....	17
2.3 Identificación del método más efectivo de compostaje que tome en cuenta factores técnicos y económicos que permitan dar un tratamiento a los residuos orgánicos universitarios.....	21
2.3.1 Índice para la selección de la mejor técnica de compostaje (IS).....	22
2.3.2 Criterios de evaluación para los métodos de compostaje.....	23
3. RESULTADOS .....	26



3.1 Resultados del diagnóstico de la generación de residuos orgánicos del restaurante-cafetería y los restos de césped del campus universitario.....	26
3.1.2 Caracterización de residuos sólidos orgánicos del restaurante-cafetería. ....	27
3.1.3 Estimación de la generación de césped .....	28
3.1.4 Implementación de las pilas de compostaje .....	29
3.2 Evaluación de los resultados obtenidos mediante la selección de la mejor técnica de compostaje, degradación de la materia orgánica y la variación de los parámetros a través del tiempo.....	31
3.2.1 Condiciones iniciales de las pilas de compostaje.....	31
3.2.2 Evaluación de la variación de parámetros de la PT1 y PV1. ....	33
3.2.3 Evaluación de la variación de parámetros de la PT2 y PV2. ....	37
3.2.4 Características nutricionales del compost. ....	43
3.3 Identificación del método más efectivo de compostaje que tome en cuenta factores técnicos y económicos que permitan dar un tratamiento a los residuos orgánicos universitarios.....	44
3.3.1 Criterios para la selección del mejor método de compostaje en relación a factores técnicos y económicos.....	45
3.3.1.1 Calificación del criterio del costo y utilidad del compost .....	45
3.3.1.2 Calificación del criterio de la superficie requerida .....	46
3.3.1.3 Calificación del criterio de tiempo de maduración .....	46
3.3.1.4 Calificación del criterio de la frecuencia de control.....	46
3.3.1.5 Calificación del criterio de la eficiencia de compostaje.....	46
3.3.2 Elección del mejor método de compostaje en relación a los criterios seleccionados.....	47
4. Conclusiones y recomendaciones .....	48
4.1 Conclusiones.....	48
4.2 Recomendaciones .....	49
4.3 Bibliografía .....	49
ANEXOS.....	57

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de residuos orgánicos.....	13
<b>Tabla 2.</b> Estimación del factor para el cálculo del césped .....	14
<b>Tabla 3.</b> Relación C/N de subproductos agrícolas .....	21
<b>Tabla 4.</b> Datos de la estimación de césped de la EPN .....	28
<b>Tabla 5.</b> Registro de parámetros iniciales de las 4 pilas de compostaje .....	32
<b>Tabla 6.</b> Relación C/N de las cuatro pilas de compostaje.....	40
<b>Tabla 7.</b> Resultados del nutriente fósforo. ....	42
<b>Tabla 8.</b> Nutrientes de un compost maduro .....	44
<b>Tabla 9.</b> Criterios de selección del mejor método.....	45
<b>Tabla 10.</b> Calificación de criterios del método vermicompost .....	47

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Fases del compostaje, pH, temperatura y oxígeno. ....	9
<b>Figura 2.</b> Ubicación de la compostera dentro de la ESFOT. ....	15
<b>Figura 3.</b> Composición de los residuos orgánicos del restaurante- cafetería de la EPN desde el 23 de abril hasta el 2 de mayo del año 2019. ....	28
<b>Figura 4.</b> Estimación de los restos de césped en el área del CICAM .....	29
<b>Figura 5.</b> Dimensiones de las pilas compostaje en la ESFOT. ....	30
<b>Figura 6.</b> Composición del lecho de la semilla Takakura. ....	30
<b>Figura 7.</b> Lecho para lombrices californianas. ....	31
<b>Figura 8.</b> PT1 con la semilla de Takakura .....	33
<b>Figura 9.</b> Pila tradicional de compostaje para armar la PV1. ....	33
<b>Figura 10.</b> Variación de la temperatura en función del tiempo de PT1 y PV1. ....	35
<b>Figura 11.</b> Variación de la humedad en función del tiempo de PT1 y PV1. ....	36
<b>Figura 12.</b> Variación del pH en función del tiempo de PT1 y PV1. ....	37
<b>Figura 13.</b> Variación de la temperatura del vermicompost en función del tiempo. ....	38
<b>Figura 14.</b> Variación de la humedad del vermicompost en función del tiempo. ....	39
<b>Figura 15.</b> Variación del pH en función del tiempo. ....	40
<b>Figura 17.</b> PT1 (2 meses). ....	41
<b>Figura 16.</b> PV1 (2 meses). ....	41
<b>Figura 18.</b> PV2 (5 meses). ....	41
<b>Figura 19.</b> PT2 (5 meses). ....	42

## **Índice de Anexos**

<b>ANEXO I.</b> Instrumento de encuesta a actores clave. ....	57
<b>ANEXO II.</b> Caracterización de los residuos orgánicos del restaurante-cafetería de la EPN. .....	58
<b>ANEXO III.</b> Capacitación a los colaboradores del restaurante-cafetería de la EPN. ....	59
<b>ANEXO IV.</b> Informes de los análisis de los parámetros carbono, nitrógeno y fósforo...	60

## RESUMEN

El presente estudio está orientado al aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en el restaurante-cafetería de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) como sustrato del compost. El cual se llevó a cabo mediante tres etapas, el diagnóstico de la generación de residuos orgánicos, elaboración de pilas de compostaje y la identificación del método más efectivo cada técnica aplicada.

En la etapa de diagnóstico se realizó una caracterización de la cantidad de residuos orgánicos generados en el restaurante-cafetería, lo que permitió obtener una idea del tipo de residuos que se generan y su cantidad para posteriormente elaborar las pilas de compostaje.

En la siguiente etapa, para la implementación de las pilas se utilizaron los datos obtenidos para calcular las dimensiones de las mismas, con respecto a la cantidad de residuos, además de la relación de C/N adecuada en la pila. Durante el proceso de degradación de la materia orgánica se llevó a cabo un monitoreo constante de los parámetros con mayor influencia como temperatura, humedad y pH.

Posteriormente se determinó el método que presentó mayor efectividad, de acuerdo a la realidad que se vive en el campus, para que sea aplicado de forma continua y de esa manera reducir la cantidad de residuos orgánicos que tienen como destino final el relleno sanitario.

Además, se estableció un índice de selección del mejor método de compostaje en relación a la metodología de la selección de criterios. Los mismos que permitieron deducir el mejor método de compostaje. El método Takakura demostró tener mayor rapidez en el tiempo de maduración del compost, mientras que el vermicompost fue destacado en la frecuencia de control.

De acuerdo a la evaluación de los parámetros, la relación C/N fue el de mayor relevancia. Los dos métodos obtuvieron el mismo valor inicial que fue de 37/1 y final de 16/1 después de 5 meses. Por lo tanto, se concluye que la implementación de cualquiera de los dos métodos puede ser utilizados como un proceso de tratamiento de residuos que genera la EPN.

# **1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES**

## **1.1 Introducción**

Según INEC (2018), la generación de residuos sólidos diarios en Ecuador tiene un promedio de 12 897,98 toneladas de las cuales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se generan alrededor de 2 100 ton/día de residuos sólidos. Un diagnóstico sobre la composición de residuos realizado por EMASEO, muestra que en su mayoría son residuos orgánicos, 61% (EMASEO, 2018).

Durante el año 2017, se recolectaron un total de 701 995 toneladas de Residuos Sólidos en el DMQ de las cuales 691 653 toneladas de Residuos Sólidos (RS) domiciliarios y asimilables a domiciliarios, 8 903 toneladas de residuos industriales no peligrosos y 1 439 toneladas de residuos voluminosos (tereques).

De acuerdo a Rodríguez & Simbaña (2010), el campus Politécnico “J. Rubén Orellana R.”, tiene un área de 15,2 hectáreas de las cuales 4,5 hectáreas son áreas verdes que generan residuos de poda y jardinería en donde se desarrollan diferentes actividades educativas , que para entonces tuvo una población aproximada de 11 439 personas, la tasa de generación de residuos sólidos fue de 4,5 toneladas por semana, por lo que los residuos sólidos de mayor generación fueron materia orgánica con el 37,9 %.

Desde entonces a la fecha, las entregas de los residuos sólidos son mediante el servicio de recolección pública y recicladores de base que ingresan a la Escuela Politécnica Nacional (EPN) (Campoverde 2018). Entre los residuos que pueden ser aprovechados se encuentra la poda y del restaurante-cafetería de la EPN.

Dentro del contexto, el presente proyecto Estudio Comparativo de dos Técnicas de Descomposición de los residuos orgánicos del restaurante-cafetería del campus José Rubén Orellana. Tiene como objetivo proporcionar un tratamiento a los residuos orgánicos generados por el restaurante-cafetería y áreas verdes del campus.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Implementar un estudio comparativo de dos técnicas de descomposición de los residuos orgánicos del restaurante-cafetería del campus José Rubén Orellana.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar la generación de residuos orgánicos del restaurante-cafetería y los restos de césped del campus universitario.
- Evaluar los resultados obtenidos mediante la degradación del compost y la variación de los parámetros a través del tiempo.
- Identificar el método más efectivo de compostaje que tome en cuenta factores técnicos y económicos que permitan dar un tratamiento a los residuos orgánicos universitarios.

## **1.3 Justificación**

Según los investigadores del Banco Mundial, Hoornweg y Bhada-Tata (2012), para el año 2025 se espera que la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) tienda a duplicarse, aumentará la producción per cápita de 1,2 a 1,42 kg/habitante en los próximos años, es así como la generación actual de 1 300 millones Tn/año será de 2 200 millones Tn/año.

De acuerdo a Avendaño (2015), en un futuro la cantidad de materia orgánica en países subdesarrollados (países que dependen de la producción agrícola, cuentan con desarrollo industrial inferior) será entre el 40 -85 % y países desarrollados (países con un amplio desarrollo industrial y socioeconómico) se encontrará entre el 20 -85%.

Con el desarrollo del presente proyecto de titulación la EPN podría gestionar la cantidad de residuos provenientes de la poda y los residuos orgánicos generados por la cafetería del campus gracias al compostaje. Se propone la aplicación del compostaje ya que el

compost tiene efectos positivos en el suelo, tales como: incremento en la actividad de la fauna del suelo, reducción de microorganismos patógenos (Bulluck et al., 2002).

Ante esta explicación se pretende que el ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS TÉCNICAS DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL RESTAURANTE-CAFETERÍA DEL CAMPUS JOSÉ RUBEN ORELLANA sea parte de la solución de la gestión de residuos orgánicos de la institución, ya que se plantean alternativas factibles, técnicas y económicas para el campus.

#### **1.4 Antecedentes**

En la Escuela Politécnica Nacional se creó el Comité de Sustentabilidad Ambiental del campus en el año 2016, el cual tiene el objetivo de mejorar las situaciones sociales y ambientales del campus, además de diseñar políticas en temas estratégicos como agua, energía, desechos, calidad y eficiencia de las edificaciones, tratamiento de espacios exteriores y áreas deportivas, movilidad, seguridad y convivencia. El comité planifica y coordina todas las acciones que orienten al cumplimiento de las políticas e indicadores de sustentabilidad expresado por la Escuela Politécnica Nacional (Resolución administrativa N° 015-2016, 2016).

Entre las políticas y estrategias de la EPN se encuentra el eje 3 que abarca los desechos sólidos y líquidos y la implantación de sistemas de gestión para reducir la producción de desechos.

Con la finalidad de ejecutar lo que menciona la Escuela Politécnica Nacional (2015), en su política y estrategia para un campus ambientalmente sustentable. La EPN propone programas relacionados con desechos que son realizados periódicamente por los estudiantes al interior de la institución, que van desde alternativas biodegradables, manejo de residuos orgánicos, entre otros.

Por otro lado, en la Escuela Formación de Tecnólogos (ESFOT) los estudiantes de la carrera de Agua y Saneamiento Ambiental han desarrollado proyectos relacionados al manejo de residuos orgánicos como es el compostaje desde el año 2018, a cargo de las materias de Disposición de Residuos Sólidos y Materiales Residuales. Los proyectos de



compostaje se llevaron a cabo desde la construcción de la infraestructura hasta la implementación de las pilas de compostaje.

## **1.5 Marco teórico**

El marco conceptual realizado para esta investigación requiere primero una diferencia entre desechos y residuos. Adicionalmente la clasificación de los residuos orgánicos y las alternativas de disposición de los mismos. Por último, la importancia de cada uno de los parámetros a evaluar.

### **1.5.1 Residuos y desechos**

Los residuos son sustancias sólidas, semisólidas, líquidas o gaseosas, o materiales compuestos que provienen de procesos industriales y consumo en general, su disposición final se realiza conforme al reglamento de la legislación ambiental nacional o internacional aplicable y en algunas ocasiones se le da un valor agregado (COA, 2017).

En cambio, los desechos se conocen como sustancias sólidas, semisólidas, líquidas, gaseosas o materiales compuestos que resultan de unos varios procesos como la extracción, transformación, reciclaje o consumo. Su eliminación es acorde a la legislación ambiental nacional e internacional aplicable y no tiene ningún valor ni se lo puede aprovechar (COA, 2017).

Además, Cando (2014), menciona que los residuos están compuestos por sustancias sólidas, semisólidas, líquidas, gaseosas, o materiales resultantes de un proceso de producción, extracción, transformación, reciclaje, utilización o consumo, a cuya eliminación o disposición final se procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional o internacional aplicable y es susceptible de aprovechamiento o valorización.

Los residuos sólidos urbanos (RSU) tienen una composición variada y se clasifican en residuos orgánicos e inorgánicos (Jaramillo y Zapata, 2008).

Conforme a Mantra (2014), los residuos orgánicos son aquellos que se descomponen por su naturaleza, poseen la propiedad de reducirse muy rápido, modificándose en distinta materia orgánica.

La descomposición de la materia orgánica se da de forma controlada como el compostaje que es aerobio. Por lo general se da por medio de técnicas de compostaje aerobias ya que la proporción, textura y particularidad de los residuos depende de algunos factores como la procedencia, modo de recolección, educación social y cultural (Jördenin y Winter, 2005).

### 1.5.2 Clasificación de residuos orgánicos

A continuación, se presenta una lista de la clasificación de residuos orgánicos según su fuente de generación.

**Residuos sólidos orgánicos provenientes del barrido de las calles:** se consideran dentro de este origen los residuos almacenados en basureros públicos. Su composición es variada debido a que se encuentran restos de frutas hasta papeles y plásticos. Por la cual se limita su aprovechamiento, ya que debe existir una separación previa (Jaramillo & Zapata, 2008).

**Residuos sólidos orgánicos institucionales:** Estos residuos son resultado de actividades de instituciones públicas y privadas, se determina por estar compuesta por papeles, cartones y residuos de alimentos procedentes de comedores (Jaramillo & Zapata, 2008).

**Residuos sólidos de mercados:** Son residuos procedentes de mercados de provisión y sitios de venta de productos nutritivos (Jaramillo & Zapata, 2008).

**Residuos sólidos orgánicos de origen comercial:** Son residuos provenientes de establecimientos comerciales, en el cual incluye almacenes y comedores. Son de mayor fuente de generación de residuos orgánicos debido al comercio de alimentos (Jaramillo & Zapata, 2008).

**Residuos sólidos orgánicos domiciliarios:** Son residuos procedentes de viviendas de características variadas, de mayor composición de restos de verduras, frutas, residuos de alimentos preparados, podas, jardín y papeles (Jaramillo & Zapata, 2008).

### **1.5.3 Alternativas de aprovechamiento de residuos orgánicos**

Hoy en día existen diferentes alternativas de tratamiento de residuos orgánicos como son: a través de una biometanización y compostaje.

#### **Biometanización**

Es una transformación biológica anaeróbica de descomposición de la materia orgánica mediante la cual se obtiene la formación de metano y dióxido de carbono. La biometanización es un proceso biológico controlado por microorganismos, al que se someten los RSU para generar biogás y compost (Blanc, 2006).

La biometanización utiliza biodigestores cerrados, en donde se controlan los parámetros temperatura y presión principalmente para optimizar el desarrollo de fermentación anaeróbica, un proceso que también se da de forma natural y espontáneo (Hernández, 2017).

#### **Compostaje**

Este proceso es muy utilizado para la elaboración de abonos a partir del uso de residuos orgánicos. El fin es obtener un compost, que es un proceso biológico en el cual la materia orgánica se transforma en humus bajo la actividad de microorganismos (Soto, 2003). El compost es de gran utilidad en la agricultura, también contribuye con la condición y nutrición del suelo sobre todo en la fertilidad (López, 2001).

Durante el proceso de compostaje se identifican dos tipos de compost el semimaduro y el maduro. El compost semimaduro son los residuos orgánicos que han pasado por las fases mesofílica y termofílica del proceso de compostaje, el cual ha sufrido una descomposición inicial pero no han alcanzado las fases de enfriamiento y maduración (Norma Calidad de Compost, 2000). Sin embargo, podría utilizarse como sustrato cuando se coloca directamente en las raíces de las plantas (Madrid,1999).

Mientras que el compost maduro es el resultado final de la etapa de maduración del compost. Además, cumple con parámetros de estabilización, por lo cual podría usarse en el suelo en el momento que inician los cultivos (Madrid, 1999).

Un beneficio importante de esta técnica es la minimización de las emisiones de gases de efecto invernadero como son el dióxido de carbono y metano (Himanen y Hänninen, 2011).

Según Cronje et, al (2003), durante el proceso de compostaje se deben controlar ciertos factores que permitan la proliferación microbiana y por ende una correcta mineralización de los residuos orgánicos.

Existen dos métodos empleados en la composta de la fracción orgánica, una fase de digestión aerobia (con oxígeno) y una digestión anaerobia (sin oxígeno). En la primera faceta se emanan al ambiente gases ácidos como son el metano y el dióxido de carbono. Sin embargo, en la segunda fase los gases de efecto invernadero (GEI) pueden ser controlados y usados en beneficio económico (Graziani, 2018).

Las emisiones de GEI contribuyen al calentamiento global principalmente el metano porque este gas no se degrada por vías anaerobias en un relleno sanitario. El proyecto en ejecución busca no solo disminuir las mismas, sino optimizar el flujo de materiales a través de la economía circular ya que según Graziani (2018), “esto permitirá considerar y valorizar el residuo como un recurso”.

Además del compostaje tradicional que según Negro et, al. (2000), es la acumulación de materia orgánica al aire libre, se pueden aplicar varias técnicas de compostaje como el bocashi, el método Takakura y vermicompost.

- **Bocashi**

Ramos et al. (2014), menciona que bocashi proviene del vocablo japonés que significa abono orgánico fermentado. El abono orgánico bocashi incorpora al suelo abundantes nutrientes como fósforo, potasio, calcio, nitrógeno, hierro, manganeso, cobre, boro, entre otros.

El método bocashi se obtiene a partir de la fermentación de materiales de origen animal y vegetal, debido a eso mejora las condiciones físicas y químicas del terreno, la actividad microbiana de la tierra y la nutrición de las plantas (Bertolí, 2015).

- **Takakura**

Este procedimiento fue creado por un japonés de apellido Takakura, quién fue coordinador del Instituto del Medio Ambiente Wakamatsu y estableció este método con

el fin de reducir y reciclar los residuos generados en la ciudad de Kitakyushu, Japón (JPEC, 2005).

Para este sistema los elementos orgánicos son expuestos al compostaje, con microorganismos presentes en la semilla que en mención a Bustos (2019), es elaborada a partir de un lecho fermentativo en el que se inocula microorganismos los cuales acondicionan al terreno y se encuentran en la superficie del ambiente. Las principales ventajas son la economía y seguridad del método sobre todo porque los microorganismos fermentativos contribuyen a la alta obtención de compost en un área delimitada y con rapidez según IGES (2009).

- **Vermicompostaje**

Este método implica la degradación y consolidación de residuos orgánicos con un costo mínimo, gracias a la actividad de microorganismos y lombrices de tierra como la *Eisenia foetida* que se encargan de digerir la materia orgánica puesto que ejercen una operación física y bioquímica. Lo primordial de este método es el aporte nutricional que ofrece al humus y al suelo (Villegas & Laines, 2017).

Domínguez (2004), definió al vermicompostaje como “un proceso biooxidativo en el que las lombrices interaccionan con los microorganismos y otra fauna descomponedora, para acelerar la degradación y estabilización de la materia orgánica”.

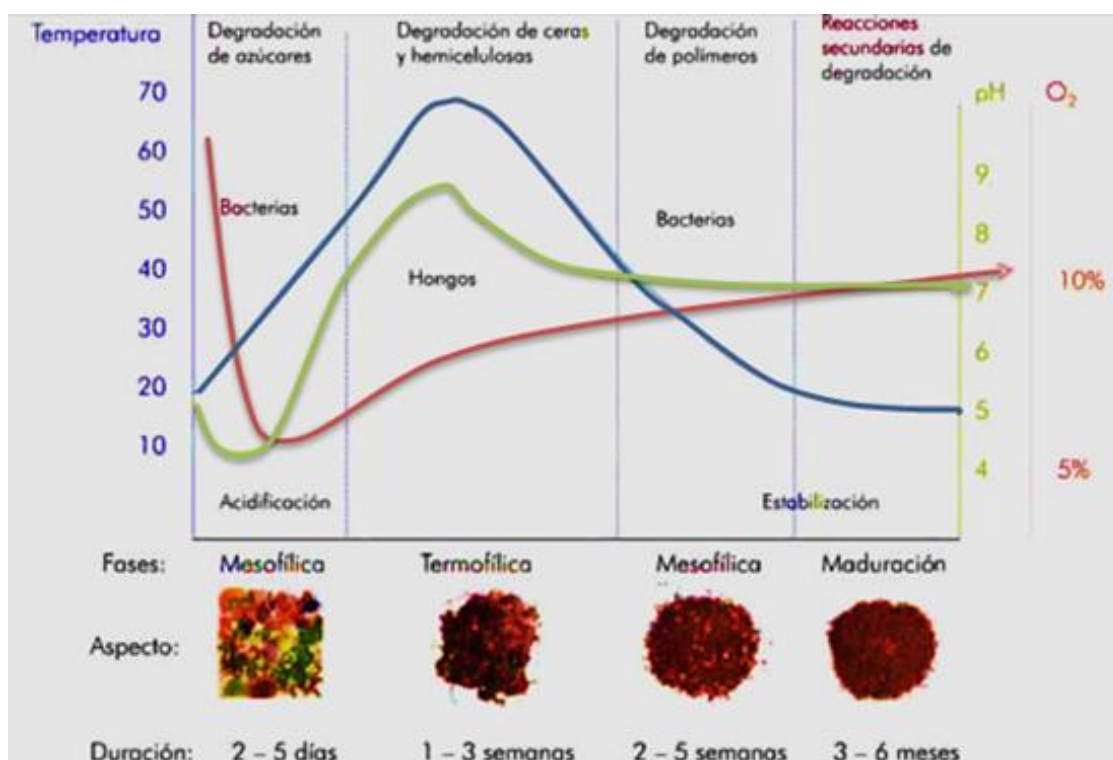
#### **1.5.4 Fases del compostaje**

Mientras se da la descomposición y modificación de los residuos orgánicos en el método de compostaje clásico, se desarrollan cuatro fases que se relacionan con el medio para normalizar la materia orgánica con ayuda de microorganismos (Mendoza, 2012).

La primera fase es conocida como latencia ya que es el inicio de la biodegradación que se da desde la fabricación de la pila a temperatura ambiente hasta el aumento de calor. Es necesario la verificación del factor de la relación Carbono/Nitrógeno, pH y la humedad entre los parámetros más relevantes que se describirán en la sección 1.5.5. Esta fase tiene una duración aproximada de 72 horas desde su elaboración (Coolemar, Gallardo, 2012).

Además, los microorganismos presentes en el material se multiplican rápidamente y la temperatura se eleva hasta valores promedio de 45 °C (Defrieri, 2005).

Durante la segunda fase llamada termófila la temperatura se eleva hasta 70°C, puesto que es necesario la reducción de fuentes de carbonos más complejos, su duración es de semanas hasta meses (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).



**Figura 1.** Fases del compostaje, pH, temperatura y oxígeno.

Fuente: P. Román, 2013, FAO.

En la fase de enfriamiento las fuentes de carbono y nitrógeno se consumen en el compostaje, lo que provoca que la temperatura tenga un descenso hasta los 40 °C para seguir con la descomposición de ciertos polímeros como la celulosa (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Después, el ciclo de maduración conlleva hasta 6 meses ya que la temperatura debe ser similar al ambiente (20°C) y con baja cantidad microbiana, dado que así se verifica que el material este biológicamente equilibrado y listo (Soliva,2001).

En la fase final de maduración la actividad metabólica disminuye y dura más o menos 20 días. (Gramma,2005).

### **1.5.5 Parámetros de seguimiento**

En el compostaje es fundamental llevar un registro continuo de algunos parámetros como son la aireación, humedad, temperatura, pH, ya que al ser un tratamiento biológico se encuentra en constantes variaciones como en su crecimiento y reproducción. Además, es afectado por las condiciones climáticas y los residuos empleados (Román, Martínez, & Pantoja, 2013)

#### **1.5.5.1 Aireación**

La aireación que se realizó en las pilas de compostaje fue a través del volteo manual. Para el método takakura se utilizaron palas, mientras que en el vermicompost el volteo se hizo directamente con las manos.

El parámetro en mención es muy importante en el compostaje, por ende, es necesario realizarlo dos veces por semana para el compostaje tradicional, así se permitirá la respiración de los microorganismos y se impedirá la compactación de los residuos. Es indispensable evaluar la temperatura y humedad ya que el exceso de aireación tal vez afecte al compost (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

#### **1.5.5.2 Temperatura**

El aumento de la temperatura es un indicador de la evolución del compostaje porque demuestra la presencia de actividad microbiana, por esta razón es considerada una constante fundamental en el registro del compostaje. Se ha verificado que los cambios de temperatura son los que más perjudican a los microorganismos presentes (Moreno y Moral, 2008).

Gracias a este factor se deduce la eficiencia y la estabilidad del compost, porque hay una relación directa entre la magnitud y la temperatura que muestra la degradación de los residuos orgánicos. Es indispensable monitorear la temperatura con valores similares a

los de la Figura 1 para evitar el fenómeno de suicidio microbiano que es la inhibición del crecimiento de los mismos (Márquez, 2008).

### **1.5.5.3 Humedad**

El rango óptimo de humedad está entre un 40 - 60 % lo que permite garantizar una descomposición óptima de la materia orgánica. Si los ingredientes son demasiados secos el proceso de degradación se suspende, y viceversa si los materiales son excesivamente húmedos empieza un proceso de putrefacción anaeróbica (Röben, 2002).

Al presentar circunstancias anaerobias se origina malos olores, generación de lixiviados y disminución de nutrientes (Moreno y Moral, 2008).

### **1.5.5.4 pH**

Este parámetro depende de la materia orgánica utilizada y cambia en cada fase hasta llegar a valores de 8.5. Durante la fase termófila el pH se eleva ya que el medio se vuelve alcalino y en el estado de maduración este parámetro es neutro. En sí, el rango ideal es de 5.8-7.2 (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Es importante comprender que si este factor disminuye el crecimiento de los microorganismos termófilos se inhibe, (Sundberg, 2004). Sin embargo, Navarrón (2017), dice que el pH tendrá valores entre 5,5 y 7,5 en la etapa final del proceso de compostaje.

### **1.5.5.5 Nutrientes**

Durante la evolución del compostaje se debe considerar una proporción entre los principales macronutrientes como son: nitrógeno (N), carbono (C) y fósforo (P), esto permitirá el normal desarrollo de la degradación de la materia orgánica (Soliva, 2001).

El fósforo está presente en el suelo en forma orgánica e inorgánica porque ambas se encuentran ligadas a la materia orgánica (García et, al.,2014). En el compostaje el fósforo tiene un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, mismos que son necesarios para el metabolismo microbiano (Márquez, 2008).

La relación C/N es un indicativo de calidad del sustrato orgánico del suelo, su relación indica la cantidad de nitrógeno disponible para las plantas. Los valores elevados de la



relación C/N conllevan a que los residuos orgánicos se degraden lentamente (Gamarra et, al., 2018).

La fuente de energía más importante en un proceso de compostaje es el carbono, ya que ésta es empleada por los microorganismos como material indispensable durante su desarrollo metabólico, en cambio el nitrógeno es el nutriente que permite la síntesis de material celular. Por esta razón se considera uno de los elementos más relevantes dentro de la maduración del compost. Es deseable que la relación C/N esté en el rango de 25:1 a 50:1 en la mezcla inicial Tchobanoglous (1994). Asimismo, la relación de C/N de un compost totalmente maduro es cercana a 10, semejante a la del humus, pero los valores suelen variar ya que se considera un compost estable o maduro cuando la relación C/N < 20 (Zhu, 2006).

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 Diagnóstico de la generación de residuos orgánicos del restaurante-cafetería y los restos de césped del campus Universitario.**

En el siguiente apartado se dan a conocer los instrumentos de diagnóstico seleccionados de acuerdo a la concordancia con esta investigación y sus objetivos.

#### **2.1.1 Entrevistas a actores clave y capacitación al personal del restaurante cafetería de la EPN.**

Para la realización de las entrevistas semiestructuradas se aplicó un método de estudio descriptivo cualitativo con información primaria. La muestra de participantes fue solo de 2 personas a quienes se les consideró actores clave, debido a que están involucrados en el manejo de residuos orgánicos dentro del campus. (Ver Anexo I)

Después se procedió a dar una capacitación al personal del restaurante-cafetería de la EPN acerca de la correcta separación de los residuos orgánicos (Ver Anexo III). La información era necesaria para que los colaboradores fueran partícipes de la siguiente fase de esta investigación, que fue la caracterización de los residuos.

Las entrevistas y la capacitación fueron ejecutadas durante el mes de abril del año 2019.

### 2.1.2 Caracterización de los residuos orgánicos del restaurante-cafetería.

Con el propósito de conocer el tipo de residuos orgánicos que se generan en el campus Politécnico se realizó una caracterización, para dicho proceso el administrador de el restaurante-cafetería del campus se comprometió a la entrega de los residuos que generados diariamente el en comedor. (Ver Anexo II). El proceso que se llevó a cabo desde el día 23 de abril de 2019 hasta el día 02 de mayo de 2019, sin tomar en cuenta el fin de semana ya que el restaurante-cafetería no trabaja durante esos días. Justificándose en Esquinca Cano Froilán (2001), quien menciona que la caracterización de residuos sólidos se lleva a cabo durante 7 días y a partir del segundo día se registra la cantidad de residuos generados.

Los residuos orgánicos fueron recolectados en 4 envases plásticos de 60 litros todos los días laborables a las 15:00 y se separaron de acuerdo a la Tabla 1 en mención a (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

**Tabla 1.** Clasificación de residuos orgánicos

<b>Residuos Orgánicos.</b>
Hortalizas
Frutas
Restos de Café
Restos de té e infusiones
Cáscaras de frutos secos
Cáscaras de naranja y cítricos
Arroz y pastas cocidas
Papel de cocina y servilletas
Otros (residuos de comida ej. Huesos)
<b>TOTAL</b>

Román, Martínez, & Pantoja (2013)

En la fase del pesaje y separación se utilizó una balanza romana de mano de 25 kg para los restos más voluminosos y una balanza de mano Century Portable de 5kg para los de menor densidad, esto con ayuda de fundas plásticas de basura y recipientes de 20 litros para la correcta separación.

### 2.1.3 Estimación de restos de césped.

Para conocer un aproximado de la generación de restos de césped se dialogó con el encargado del área de jardinería y se coordinó acerca de las fechas y lugares donde realizaría el corte del césped, ya que se consideraron solo ciertas áreas verdes como las localizadas en entorno a la ESFOT, el Estadio de la EPN y el Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM). Esto con el fin de llevar un registro de la frecuencia de corte y la cantidad de césped que se genera, el cual era pesado con una balanza romana de mano de 25 kg en costales y con ayuda de palas. La información se obtuvo durante 4 meses desde el mes de mayo hasta agosto de 2019 en época de verano.

En la Tabla 2 se indican los datos que fueron utilizados para la estimación del factor para el cálculo del césped de las áreas verdes mencionadas. De acuerdo a las cantidades de césped obtenidos en los diferentes lugares se realizó un promedio de los pesos de cada uno, los cuales se dividieron para sus respectivas áreas y los factores obtenidos se promediaron para obtener un valor de 0,12 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 2.** Estimación del factor para el cálculo del césped

Ubicación	Área (m <sup>2</sup> )	Peso(kg/mes)	Factor $\frac{kg}{mes}/m^2$
ESFOT	1051	128	0,12
CICAM	680	83	0,12
Estadio	5560	568	0,10
	<b>Promedio</b>		<b>0,12</b>

### 2.1.4 Área de estudio

La implementación de las pilas de composte se desarrolló dentro del campus Politécnico “José Rubén Orellana”, ubicado en el sector centro-oriental de Quito en la parroquia La Floresta, en la facultad de la ESFOT en un espacio designado anteriormente para un proyecto de compostaje de estudiantes de Agua y Saneamiento Ambiental (ASA), situado en la parte posterior de la dirección y con las siguientes coordenadas:

Latitud: 0°12'38,25"

Longitud: -78°29'18,15"



**Figura 2.** Ubicación de la compostera dentro de la ESFOT.

### **2.2 Evaluación de los resultados obtenidos mediante la selección de la mejor técnica de compostaje, degradación de la materia orgánica y la variación de los parámetros a través del tiempo.**

La siguiente sección comprende de las técnicas de compostaje que van hacer aplicadas y los parámetros que serán evaluados en el presente estudio.

### **2.2.1 Selección de los mejores métodos de compostaje**

Para el presente estudio se han elegido los métodos de Takakura y vermicompost.

Se escogió el método Takakura debido a que se realiza con residuos orgánicos en espacios reducidos y en menor tiempo en comparación con otros métodos. Para la implementación de la técnica no es necesario tener conocimientos científicos acerca de creación de abonos (Honobe, 2013). Además, no emite olores ni lixiviados, y el fertilizante que produce mejora la calidad y cantidad de los suelos (Rodríguez et, al., 2018).

El vermicompost fue considerado ya que es un proceso relativamente rápido y se obtiene un producto con mayor cantidad de nutrientes y con una riqueza microbiana superior a otros tipos de compost, esto lo convierte en una técnica de reducción urbana eficiente y natural (Castillo, 2013).

La actividad microbiana es estimulada por las lombrices californianas ya que ellas son las encargadas de fraccionar la materia orgánica. Entonces los residuos son transformados en humus el cual tiene una textura uniforme y el tamaño de las partículas son más finas (Domínguez, 2004).

#### **Método Takakura**

La elaboración del método Takakura se llevó a cabo según los pasos indicado por Honobe (2013), se procedió con la elaboración de dos soluciones una salada y una dulce.

Para la preparación de la solución de sal se procedió al picado de frutas y verduras donde se colocó 0,025kg de cáscara de manzana, 0,025 kg de cáscara de uva y 0,15 kg de cáscara de papaya, además 0,025 kg de cáscara de pepinillo, 0,1 kg de lechuga y 0,075 kg de col, esto se empleó en 1,5 L de agua en una botella plástica, donde se colocó 0,2 kg de sal (Honobe ,2013).

En la preparación de la solución dulce se utilizó en una botella plástica con 1,5 l de agua en la cual se colocó 0,010 kg de levadura, 0,375 kg de yogurt, 0,2 kg de queso, 0,5 l de vino y 0,2 kg de azúcar (Honobe ,2013).

Las soluciones se fermentaron durante 7 días, transcurrido este tiempo se procedió a la elaboración de la semilla del Takakura. Para crear la semilla se mezcló todos los ingredientes. En una tina se colocó la base del compost (aserrín) el cual se incorporó con

harina una vez mezclados se añadió las dos soluciones (salada y dulce), donde se ajustó el nivel de humedad de la semilla, si esta no se chorrea y se mantiene compacta la semilla esta lista. Se procedió a situar la semilla en un cartón y se dejó cubierta con periódico durante 7 días. Durante este período se debe mezclar diariamente en caso de que ese muy seca la semilla se debe añadir agua y si este húmeda hay que agregar aserrín (Honobe ,2013).

En el momento en que la superficie queda cubierta con moho blanco, es un indicador que se completó la fermentación. Posterior a eso se debe dejar secar para que este se estabilice y se eliminen microorganismos patógenos.

Finalmente, se elaboraron dos pilas que serán conocidas como PT1 y PT2 en las que se mezcló 12 kg de semilla con 30 kg de residuos orgánicos y 30 kg de césped y se alimentaron durante siete días consecutivos.

### **Método vermicompostaje**

El procedimiento que se ejecutó durante el método de vermicompostaje inicialmente fue la elaboración de dos pilas de compostaje tradicional, que fueron alimentadas durante 7 días consecutivos con restos de verduras y de césped estas pilas se conocerán como PV1 y PV2 en las cuales existe un mes de diferencia desde la fecha de su elaboración. Antes de colocar las lombrices californianas se dejó descomponer la materia orgánica por 7 días adicionales para que la temperatura no afecte a las lombrices.

El próximo paso fue la fabricación del contenedor destinado para las lombrices californianas, se lo fabricó de madera y posteriormente se forró con una tela de color blanco, esto para evitar que las lombrices salgan. Previo a la colocación del contenedor en la superficie destinada se limpió la vegetación existente. Una vez realizado esto, se colocó la caja de madera con una inclinación aproximada de 10° para conducir los lixiviados de manera directa al suelo (Navarro,1999).

#### **2.2.2 Monitoreo de parámetros físicos y químicos**

Esta sección comprende los detalles de la evaluación de parámetros como son la aireación, temperatura, humedad, pH, carbono, nitrógeno y fósforo.

### **a) Aireación**

La aireación que se realizó a través del volteo manual se hizo dos veces a la semana, los días lunes y jueves. Para esto se utilizó dos palas, con las cuales se procedió a voltear y homogenizar la pila, para que el proceso cuente con la cantidad necesaria de oxígeno.

### **b) Temperatura**

El control de la temperatura se lo hizo todos los días de lunes a viernes en el transcurso de la mañana aproximadamente desde las 9:00 hasta las 12:00, con ayuda de un Termohigrómetro digital HTC-1 con sonda. Para esto se hacía un pequeño orificio con la mano en la pila de compostaje y se introducía la sonda y se esperaba de dos a cinco minutos para registrar el valor del parámetro medido.

### **c) Humedad**

El control de la humedad se realizó de lunes a viernes, con ayuda de un Termohigrómetro digital HTC-1 con sonda. Para lo cual se realizaba un pequeño orificio con la mano en el cual se introducía la sonda y se esperaba de 1 a 2 minutos para registrar el resultado, en el caso de encontrarse baja la humedad se procedía a esparcir agua en las pilas para llegar a una humedad adecuada, la cual se encuentra entre el 40% al 60%.

### **d) pH**

El monitoreo del pH fue realizado una vez por semana, en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la EPN (LDIA), con ayuda de un pH-metro que fue facilitado por el mismo Laboratorio. Para el análisis se tomó 10 g de suelo para ser mezclado con 50 ml de agua desionizada, como menciona Zagal & Sadzawka (2007).

### **e) Carbono**

El carbono orgánico en el suelo (COS) es el principal componente de la materia orgánica en el suelo (MOS). Sin embargo, el COS se determina a partir de un factor empírico como el de van Benmelen equivalente 1,724 (Jackson, 1964).

Para el cálculo del carbono orgánico total de las PV1, PT1, PT2 Y PV2 se aplicó la Ecuación 2.1. En relación a los datos obtenidos de los respectivos análisis. (Ver Anexo VI)

$$\% \text{COS} = \frac{\% \text{MOS}}{1,724} \quad \Rightarrow \quad \text{COS}(\text{mg}/\text{kg}) = \frac{\text{COS}_{(\text{g})}}{100_{(\text{g})}} * 10^4$$

Donde: [2.1]

COS= carbono orgánico en el suelo

MOS= materia orgánica en el suelo

El carbono se midió con el método de calcinación, en el cual se determinó la cantidad de materia orgánica, este método implicó una destrucción climatizada. Se colocó 6 g de compost en un crisol cerámico el cual se puso en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Se dejó enfriar la muestra en un desecador y se tomó el peso. Posterior a esto se calcinó la muestra en una mufla a 430 °C y que según Davies (1974), este método es utilizado en suelos con presencia de carbonatos. Este análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de la Facultad de Química de la Universidad Central del Ecuador y en el Laboratorio docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la EPN (LDIA).

#### f) Nitrógeno

Para el análisis de nitrógeno se utilizó el Método Kjeldahl según Figueroa & otros (2017), se basa en dos pasos, primero es una digestión a una temperatura alta con ácido sulfúrico. El segundo paso se debe determinar la cantidad de amonio mediante una titulación con ácido clorhídrico. El estudio del mismo fue realizado por el Laboratorio Lasa, el cual está acreditado bajo la Norma ISO 17025, para realizar análisis microbiológicos, bromatológicos, pesticidas y ambientales. Para el cálculo de este factor se aplicó la Ecuación 2.2.

$$\% \text{N o P} = \frac{\text{mg}/\text{kg}}{10^6} * 100$$

[2.2]



### **g) Fósforo**

Para determinar el fósforo se aplicó el método de espectrofotometría UV-Vis, este se basa en la producción de un complejo de fosfomolibdato en una solución ácida el cual reducido por ácido ascórbico para formar un color azul. Es muy sensible y la intensidad del color azul varía de acuerdo a la concentración de fósforo, así lo menciona Paneque-Pérez (2010). Este parámetro también fue analizado por el Laboratorio Lasa ya que se encuentra estandarizado.

Para la toma de muestras de suelo dice Márquez (2016), que se deben escoger varias porciones del compost maduro seleccionados al azar sobre un área dentro de la pila, después se mezclan las porciones de humus, para finalmente recolectar 1 kg de muestra y llevarlas a analizar. Para el cálculo de este parámetro se aplicó la Ecuación 2.2.

### **h) Relación Carbono / Nitrógeno teórica**

Para el cálculo de un estimado de la cantidad necesaria de residuos a ser utilizados se aplicó la Ecuación 2.3 de INIAP (2011). Los valores se obtuvieron de la Tabla 3.

$$R\ C/N = \frac{(\text{Peso A} \cdot \text{relación } \frac{C}{N} \text{ A}) + (\text{Peso B} \cdot \text{relación } \frac{C}{N} \text{ B}) + (\text{Peso C} \cdot \text{relación } \frac{C}{N} \text{ C})}{\text{Peso A} + \text{Peso B} + \text{Peso C}}$$

[2.3]

Donde:

A= residuos vegetales

B= restos de jardinería urbana

C= aserrín

**Tabla 3.** Relación C/N de subproductos agrícolas

<b>Subproducto</b>	<b>Nitrógeno total (%)</b>	<b>Carbono orgánico (%)</b>	<b>Relación C/N</b>
Poda de naranjo	2,03	55,22	27
Cáscara de arroz	0,91	44,43	49
Siega de césped	3,41	48,38	14
Restos de lechugas	3,14	44,10	14
Serrín de caducifolias	0,36	57,04	158
Mezcla de hortícolas	2,74	41,91	15
Orujo de uva	2,82	54,23	19
Caña de maíz	0,96	50,23	52
Gallinaza	3,77	45,61	12
Estiércol	2,4	28,9	12
Purín de cerdo	3,07	41,42	13

Fuente: Roselló, J. (2001).

#### **i) Relación Carbono / Nitrógeno experimental**

La relación carbono orgánico total /nitrógeno total ( $C_{OT}/N_T$ ) de la mezcla de restos orgánicos a compostar es uno de los parámetros más empleados para examinar la evolución de los residuos orgánicos durante el proceso de compostaje (Moreno y Moral, 2008).

Para el cuantificar la relación C/N experimental se utilizó la ecuación 2.4.

$$R\ C/N\ E = \frac{C_{OS}(mg)}{N(kg)}$$

[2.4]

### **2.3 Identificación del método más efectivo de compostaje que tome en cuenta factores técnicos y económicos que permitan dar un tratamiento a los residuos orgánicos universitarios.**

Para la identificación del mejor método de compostaje se calculó un índice, se propuso criterios de selección, rangos de evaluación y una ponderación de acuerdo a las limitaciones de cada criterio.

### 2.3.1 Índice para la selección de la mejor técnica de compostaje (IS)

$$IS = C_1 * P_1 + C_2 * P_2 + C_3 * P_3 + C_4 * P_4 + C_5 * P_5$$

Es un valor expresado en porcentaje de 100 % que valora la mejor técnica de compostaje, índice que ayudó a evaluar los criterios de selección.

En la Ecuación 2.5 se visualiza la fórmula que se aplicó para el cálculo del valor final de cada método y así seleccionar el más efectivo.

[2.5]

Donde:

$C_1$  = Costo del compost

$C_2$  = Superficie requerida

$C_3$  = Tiempo de Maduración

$C_4$  = Frecuencia de control

$C_5$  = Eficiencia

$P_1$  = Ponderación al costo del compost

$P_2$  = Ponderación de la superficie requerida

$P_3$  = Ponderación del tiempo de maduración

$P_4$  = Ponderación de la frecuencia de control

$P_5$  = Ponderación de la eficiencia

#### **Ecuación la transformación del valor final (IS) de cada método de compostaje sobre 100**

Para la conversión del IS se aplicó la Ecuación 2.6 para la que se consideró que todos los criterios cumplen con una valoración de 3, este valor multiplicado por cada ponderación da un IST de 300.

$$\text{Calificación} = \frac{\text{IS} \cdot 100}{\text{IST}}$$

Donde:

[2.6]

IS: el índice de selección de la mejor técnica de compostaje

IST: índice de selección total

### **2.3.2 Criterios de evaluación para los métodos de compostaje**

Los siguientes criterios son elegidos de acuerdo a las características de la EPN y a la experiencia obtenida durante el desarrollo de la presente investigación.

#### **Costo directo del compost**

Se ha considerado el presente criterio ya que es un valor que representa una estimación de la cantidad monetaria que se necesita para hacer un compost. Es necesario aclarar que los costos indirectos no han sido tomados en cuenta como son los gastos de infraestructura, personal para mantenimiento de la compostera, superficie requerida y otros, ya que los materiales que se utilizaron fueron reciclados. Los costos directos son el valor de las lombrices californianas para el vermicompost y el costo de la semilla para el método Takakura.

Para obtener un valor referencial del costo directo del compost se buscó precios en el mercado y se asumió una utilidad del 30 %, mismo que se restó al precio del mercado del año 2019 que fue de \$ 1 el Kg de compost. Entonces el costo sería \$ 0,70 por Kg de compost.

Por ende, se considera que es bueno encontrar abonos orgánicos con un costo de \$ 0,70 o menos por kg. El costo varía de acuerdo a la cantidad de nutrientes del compost, por esta razón el valor entre \$ 0,70 - \$ 1,40 por kg se considera en un rango aceptable. En caso de que el costo sea mayor a \$ 1,40 el kg será considerado malo.

Para la ponderación se consideró un 10% ya que los costos son accesibles para la elaboración del compost.

La Ecuación 2.7 se utilizó para obtener los costos por kg del método de Takakura y vermicompost en función de la cantidad de residuos orgánicos utilizados.

$$\text{Costo del compost} = \frac{\text{Costo Directo (\$)}}{\text{Residuos orgánicos (kg)}}$$

[2.7]

### **Superficie requerida**

Este criterio es importante porque es necesario conocer la cantidad de superficie que se requiere para implementar pilas de compost con dimensiones mínimas.

Según Román, Martínez, & Pantoja (2013) las dimensiones mínimas de una pila son de  $1 \text{ m}^2$ , debido a esto se mantienen las condiciones óptimas para el proceso de compostaje por lo que se estima que es aceptable. De acuerdo a la experiencia se considera que una superficie de  $2 \text{ m}^2 - 3 \text{ m}^2$  es buena para la implementación de una pila de compostaje. Se considerará malo cuando las pilas tengan un área menor a  $1 \text{ m}^2$  ya que no cumplirán con la superficie mínima.

A este criterio se lo ponderó con un 15 %, debido a que ya existe un espacio para la implementación de las pilas de compostaje. Por lo tanto, el espacio no es un limitante para realizar compost en la EPN.

### **Tiempo de maduración**

Entre los criterios de mayor interés está el tiempo de maduración, es sin duda aquel que define la estabilización del compost gracias a la rapidez del metabolismo microbiano (Jiménez, 2008).

Iliquín (2015), menciona que una pila tradicional llega a estar madura aproximadamente a los 212 días, posterior a este tiempo los microorganismos pasan a una fase de muerte debido al agotamiento de los nutrientes. Por ende, se considera malo a un tiempo de maduración mayor a los 180 días. Para un rango aceptable se espera que el tiempo de maduración sea de 90 – 180 días y un rango bueno cuando llegue a la fase de maduración dentro de los 90 días o antes.

Este criterio tiene una ponderación del 30 %, ya que indica el tiempo que necesitó la materia orgánica para degradarse. También la rapidez de la maduración del compost, por

ende, más cantidad de compost se realizará en un tiempo determinado en el mismo espacio.

### **Frecuencia de control**

El presente criterio es indispensable en un proceso de compostaje ya que debe haber un control constante de toda el área de la compostera.

A mayor frecuencia se requerirá de mayor personal, lo que significa un incremento de costos del mantenimiento y operación de la compostera, entonces se define como malo.

Bajo esa concepción se determina que una vez a la semana es bueno para la revisión de las condiciones de la compostera. En caso de requerir un mantenimiento de dos a tres veces por semana se considerará aceptable.

Debido a que en la EPN no hay personal destinado para el control de una compostera la ponderación es de un 25 %.

### **La eficiencia del compostaje**

Dicho criterio define la capacidad de los microorganismos de compostar todos los residuos orgánicos que han sido dispuestos.

Según Alcolea & González (2000), es bueno cuando hay una reducción del 50% - 70 % del peso inicial de los residuos en 9 meses. Es aceptable dentro de 31% – 49 % ya que el compost podría madurarse en menos de 9 meses.

Se considera malo entre el 10% – 30 % ya que el compost aún se encuentra en proceso de descomposición.

A este criterio se lo ha ponderado con un 20 %, porque la cantidad del compost indica que tan viable fue el método aplicado.

La Ecuación 2.8 se aplicó con la finalidad de obtener un valor de reducción del compost de los métodos propuestos.

$$\text{Eficiencia del compost} = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100$$

Donde:

[2.8]

$P_o$  = Peso inicial

$P_f$  = Peso final

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Resultados del diagnóstico de la generación de residuos orgánicos del restaurante-cafetería y los restos de césped del campus universitario.**

En la siguiente sección se presenta la información obtenida de la gestión de residuos orgánicos en la EPN, la implantación de las pilas de compostaje y los métodos seleccionados.

##### **3.1.1 Entrevistas a actores clave y capacitación al personal del restaurante cafetería de la EPN.**

En la etapa inicial del diagnóstico de residuos orgánicos se consideró la información obtenida de los actores clave.

En el restaurante cafetería se venden aproximadamente 500 almuerzos y se reciben 1000 comensales al día, también los residuos que se generan en el lugar son entregados para la alimentación de los animales, así lo menciona el señor Arias administrador del lugar en el año 2019.

Según el señor Ango, quién es encargado del área jardinería de la EPN, señala que no existe una distribución específica de las áreas al momento de realizar el corte de césped. Tampoco una frecuencia, ya que el corte se lo realiza de acuerdo al crecimiento del césped y de acuerdo a la disponibilidad de insumos.

Además, menciona que los restos del césped son dispuestos en la parte posterior del estadio hasta acumular grandes cantidades, debido a que la EPN gestiona los residuos a través de la contratación de volquetas que se encargan de llevarlos a una escombrera.

### **3.1.2 Caracterización de residuos sólidos orgánicos del restaurante-cafetería.**

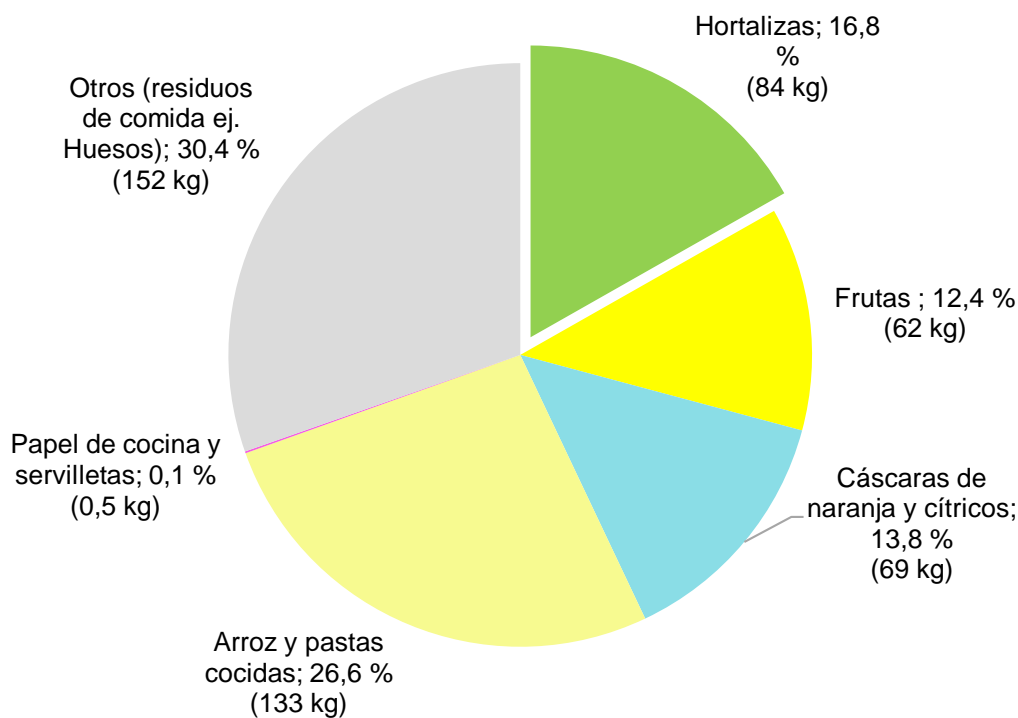
En la Figura 3 se exponen los valores obtenidos en peso y porcentaje de la caracterización realizada durante 7 días.

Las hortalizas representan el 16,8 % del total de los residuos orgánicos, las cuales fueron utilizadas para armar las pilas de compostaje. La cantidad que se dispuso para las 4 pilas de compostaje fueron 100 kg, esto es más de lo que se genera en una semana en el restaurante cafetería (84 kg).

El arroz y pastas cocidas, no se emplearon ya que estaban mezclados con líquidos como lácteos y aceites y según Navarro, (1999). “La carne, el pescado, los huesos, los productos lácteos y las grasas atraen moscas y pestes al compost”.

Los cítricos no fueron parte del proceso de compostaje ya que según Luna-Vega & otros (2015), las frutas cítricas no son de gran utilidad porque alteran la acidez del suelo.





**Figura 3.** Composición de los residuos orgánicos del restaurante- cafetería de la EPN desde el 23 de abril hasta el 2 de mayo del año 2019.

### 3.1.3 Estimación de la generación de césped

En la Tabla 4 se expresan los valores del estimado de la generación de césped de diferentes puntos aleatorios de la EPN. El pesaje de los restos de césped se lo realizó en una época con precipitaciones mínimas. Motivo por el cuál la cantidad cuantificada podría variar en época de invierno, ya que el crecimiento del césped sería más rápido y por ende el corte se efectuaría con mayor frecuencia y así la cantidad aumentaría.

Se consideró que la institución cuenta con 45 000 m<sup>2</sup> de áreas verdes que multiplicado por el factor promedio (0,12 Kg/m<sup>2</sup>) valor obtenido de la Tabla 2 de la sección de metodología, da como resultado una generación de 5 400 kg de césped aproximadamente.

**Tabla 4.** Datos de la estimación de césped de la EPN

Áreas verdes (m <sup>2</sup> )	Factor promedio (Kg/mes/m <sup>2</sup> )	Total (kg/mes)
-----------------------------------	---	-------------------

45 000	0,12	5 400
--------	------	-------

En relación al valor total aproximado de la generación de césped, se estima que el 2.2 % fue empleado en las pilas de compostaje, cantidad que en relación al total es mínima, pero a mayor escala tal vez se utilizaría hasta un 100 %. Todo depende de la superficie disponible.

Este valor que se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de césped utilizado} = \frac{\text{CCT} * 100}{\text{TOTAL (kg/mes)}}$$

[3.1]

Donde:

CCT: cantidad total de césped utilizado en las 4 pilas (120 kg)

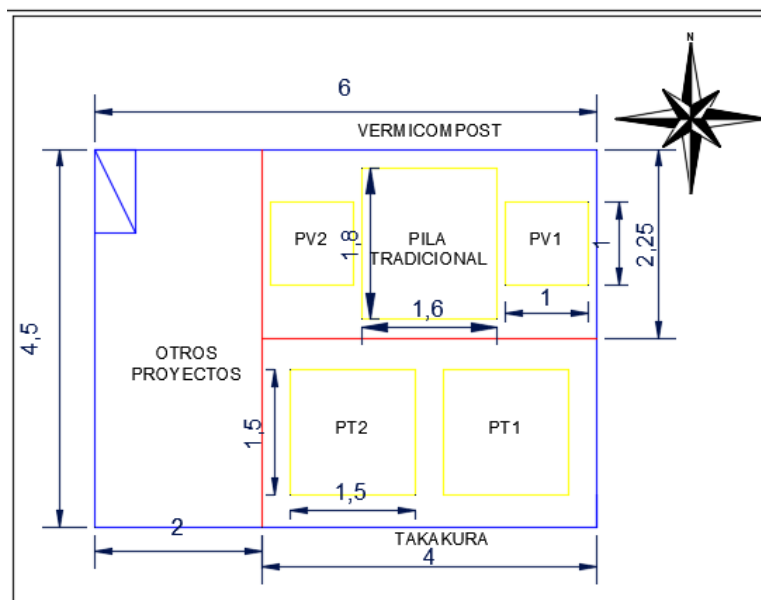
Total (kg/mes): estimación total de césped en la EPN (5 400 kg/mes)



**Figura 4.** Estimación de los restos de césped en el área del CICAM

### 3.1.4 Implementación de las pilas de compostaje

En el siguiente esquema se observa cómo fue la distribución inicial de las cuatro pilas de compostaje PT1, PV1, PT2 y PV2, en un área de 27 m<sup>2</sup>.



**Figura5.** Dimensiones de las pilas compostaje en la ESFOT.

En la Figura 6 se muestra la elaboración de la semilla del compostaje del método Takakura. Se debe mezclar las dos soluciones (dulce y salada) con el lecho de fermentación de acuerdo a la sección 2.2.1 de la metodología del presente documento.

### Método Takakura

El total de la semilla fue 12 kg los que sirvieron para compostar 60 kg de residuos orgánicos (Honobe ,2013).



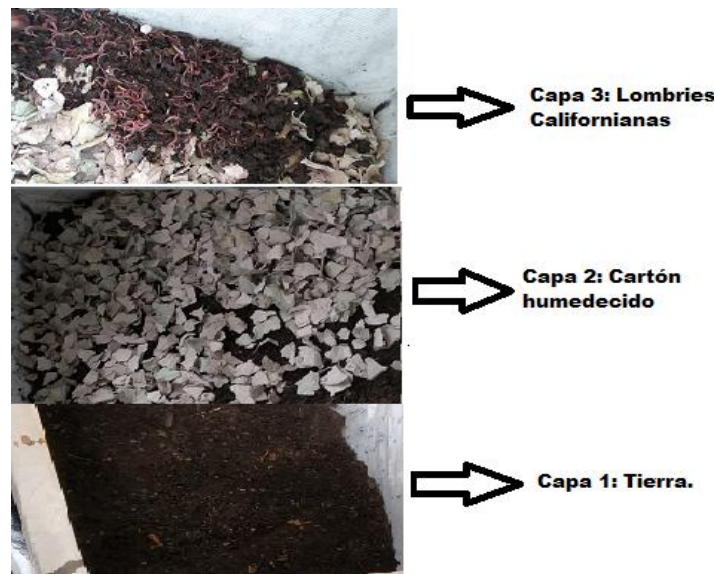
**Figura 6.** Composición del lecho de la semilla Takakura.

Fuente:(JICA,2010)

### Método de vermicompost

Según Compostaje, Red Española, (2014), el lecho para las lombrices californianas debe empezar por una fina capa de tierra, luego añadir una capa delgada de cartón troceado y humedecido.

Después se colocaron 400 lombrices a un costado de la caja de madera con un área de  $1m^3$ , junto con eso se añadieron 60 kg de materia orgánica descompuesta (Villegas & Laines, 2017).



**Figura 7.**Lecho para lombrices californianas.

### **3.2 Evaluación de los resultados obtenidos mediante la selección de la mejor técnica de compostaje, degradación de la materia orgánica y la variación de los parámetros a través del tiempo.**

En la siguiente sección se describen los resultados obtenidos de forma experimental de las pilas de compostaje.

#### **3.2.1 Condiciones iniciales de las pilas de compostaje**

En la Tabla 5 se indican los factores con los que se empezaron las pilas de compostaje, en la cual se observa que inician con una relación C/N experimental de 37/1, con un porcentaje de error considerable de 47,49%, en comparación con el valor teórico de relación C/N que es 25/1 obtenido de la Ecuación 2.7 de la sección de metodología.

La variación del parámetro mencionado anteriormente se da debido a que el valor de la relación C/N de los residuos varía de acuerdo a la Tabla 1 de la sección de metodología.

Además, que el valor experimental es de acuerdo a los análisis realizados en un laboratorio, mientras que el valor teórico solo es calculado.

La relación C/N fue la misma para las cuatro pilas ya que contienen la misma cantidad y composición de materia orgánica.

Según Márquez (2008), “la humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%” y las pilas de compostaje exceden del 72 %, lo que permite asumir que tienen valores que sobrepasan a la referencia.

Las temperaturas iniciales de cada una difieren, lo que posiblemente se debe a la temperatura ambiente y a la humedad de los residuos orgánicos al momento de armar las pilas de compostaje.

Los valores del pH de las pilas se encuentran en un rango neutro, como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Registro de parámetros iniciales de las 4 pilas de compostaje

<b>Parámetros Iniciales</b>	<b>PT1</b>	<b>PV1</b>	<b>PT2</b>	<b>PV2</b>
<b>Relación C/N</b>	37/1	37/1	37/1	37/1
<b>Humedad</b>	70%	72%	71%	72%
<b>Temperatura</b>	27,9 °C	36,1°C	21,1 °C	42 °C
<b>Ph</b>	7,33	7,16	8,69	8,59



**Figura 8.** PT1 con la semilla de Takakura



**Figura 9.** Pila tradicional de compostaje para armar la PV1.

### **3.2.2 Evaluación de la variación de parámetros de la PT1 y PV1.**

Los parámetros considerados dentro de la evaluación de las pilas fueron: la temperatura, humedad y el pH.

## **a) Temperatura**

En la Figura 10 se identifica la tendencia de las curvas de temperatura de PT1 y PV1 con relación al tiempo.

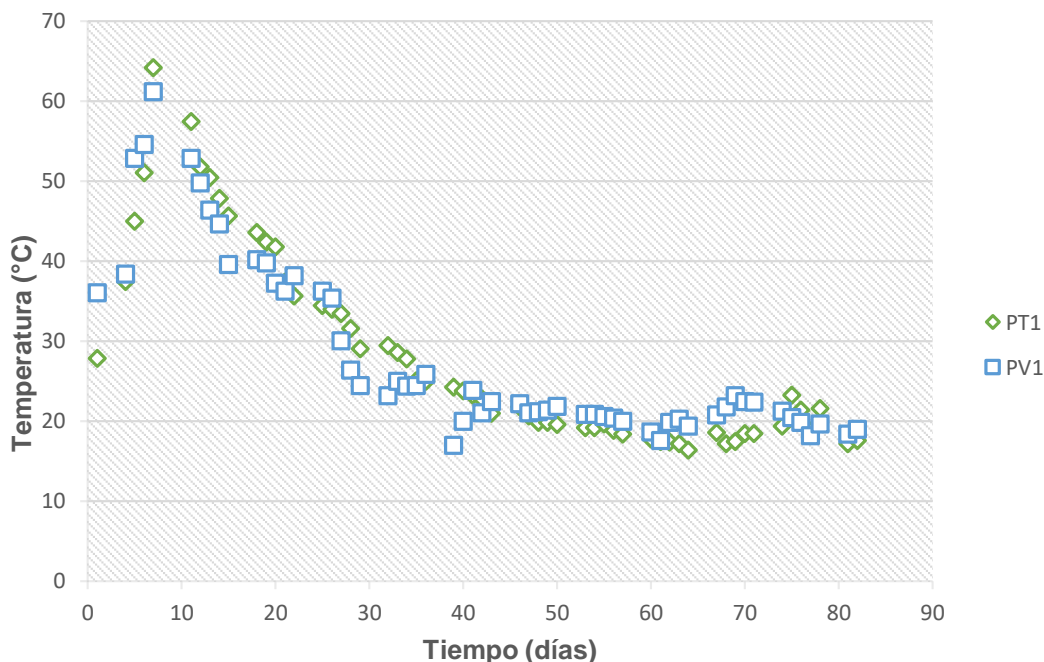
Los primeros días se da un ascenso de la variable ya que según Coolemar, Gallardo (2012), la fase de latencia tiene una duración aproximada de 72 horas y en mención a Defrieri (2005), los valores pueden elevarse hasta 45 °C. En este caso la PT1 llega al valor ideal el día 5, mientras que la PV1 en el día 4 tiene una temperatura de 38,4 °C.

En la segunda fase conocida como termófila las temperaturas suben hasta 70°C refiriéndose a Román, Martínez, & Pantoja (2013), en la Figura 10 se visualiza que en el día 7 fue cuando el valor llegó a su máximo nivel. La PT1 con un valor de 64,2 °C y la PV1 con 61,2 °C.

La siguiente fase fue la de enfriamiento. Conforme a Román, Martínez, & Pantoja, (2013), existe un descenso de temperatura hasta llegar a los 40 °C, se considera que esta fase acaba en el día 18 para la PV1 con una cifra de 40,2 °C y para la PT1 en el día 20 donde su valor es de 41,8 °C.

En la fase de maduración según Soliva (2001), este ciclo puede durar varios meses ya que la temperatura debe ser similar a la del ambiente (20 °C). En la PT1 el día 48 la temperatura se estabilizó con un valor de 19,9 °C. Mientras que para la PV1 la variable se demora hasta el día 57 con 20 °C, lo que podría deberse a la cantidad de aire que recibía la PV1 a diferencia de la PT1 que se encontraba en contacto directo con el suelo.

Los resultados obtenidos de la temperatura son similares a los esperados como lo sustenta la bibliografía antes mencionada.



**Figura 10.** Variación de la temperatura en función del tiempo de PT1 y PV1.

### b) Humedad

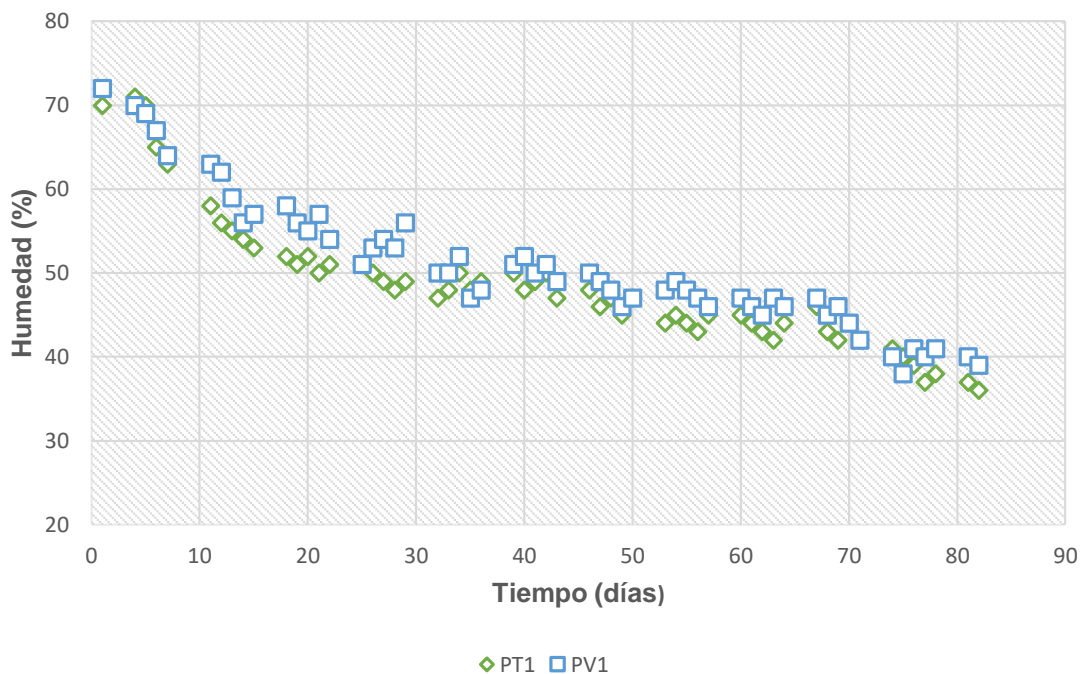
En la Figura 11 se identifica como la variación de la humedad incrementó en los primeros días como ejemplo en el día 4 la PT1 tiene un valor 71 %, mientras que la PV1 reflejó un 70 % humedad. Es posible que este aumento pueda deberse a las condiciones aerobias, es decir mayor cantidad de oxígeno y condiciones climatológicas (Huerta et al. 2010).

La humedad de la PT1 llega a un 58 % en el día 11, mientras que la PV1 refleja un valor del 59% en el día 13, en mención a Röben (2002), el rango óptimo de humedad está entre un 40-60 % ya que depende de la materia orgánica.

Durante todo el proceso de descomposición de la materia orgánica, la humedad se mantuvo en un rango de 40-60 % . Según Röben (2002), el proceso se ha desarrollado con normalidad.

Si se hace una referencia a Díaz y Savage (2007), “el volteo manual además de suministrar oxígeno a la masa de compostaje, sirve para el adecuado control de la humedad” se entiende la razón por la que a partir del día 75 la humedad empezó a descender en la PV1 con una cifra del 38 %, y a la vez en la PT1 en el día 76 con un valor del 39 %.





**Figura 11.** Variación de la humedad en función del tiempo de PT1 y PV1.

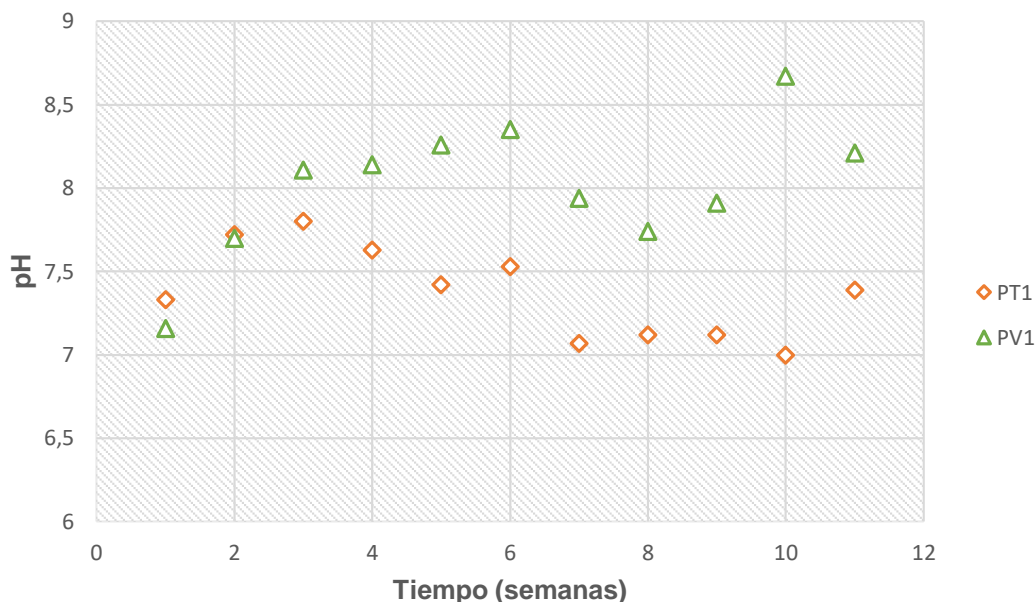
### c) pH

Según Álvarez (2010), el pH en la fase inicial de compostaje genera  $\text{CO}_2$  y ácidos orgánicos, por esta razón el pH disminuye en un intervalo de 5,5 – 8. En la PT1 se identifica un valor de 7,8 en la semana 3, mientras que en la PV1 alcanzó 7,7 en la semana 2. Estos valores indican que existió una concordancia entre la temperatura y el pH.

En las siguientes semanas el pH se mantiene con valores que sobrepasan el pH neutro (7,0), por ejemplo, en la semana 6 la PT1 releja un valor de 7,5 y la PV1 una cifra de 8,4. En mención a Castañeda et al. (2017), es muy probable que estos resultados se den por la estabilización del material, ya que ahí los valores de pH suelen situarse entre 6,8 y 8.

Sin embargo, en la semana 10 la PT1 tiene un valor de 7,0 y la PV1 8,67 lo que podría deberse que la pérdida de amoníaco por parte de la PV1 (Velasco et, al., 2016).

En la última semana la PT1 da un valor de 7,39 y la PV1 alcanza a 8,21, estas cifras hacen alusión a Navarrón (2017), quién indica que el producto final de compostaje debe tener valores de pH entre 5,5 y 7,5, lo que permite asumir que solo la PT1 se encuentra dentro del rango deseado.



**Figura 12.** Variación del pH en función del tiempo de PT1 y PV1.

### 3.2.3 Evaluación de la variación de parámetros de la PT2 y PV2.

En el siguiente apartado se da a conocer la evaluación de los parámetros temperatura, humedad y pH de las PT2 y PV2.

#### a) Temperatura

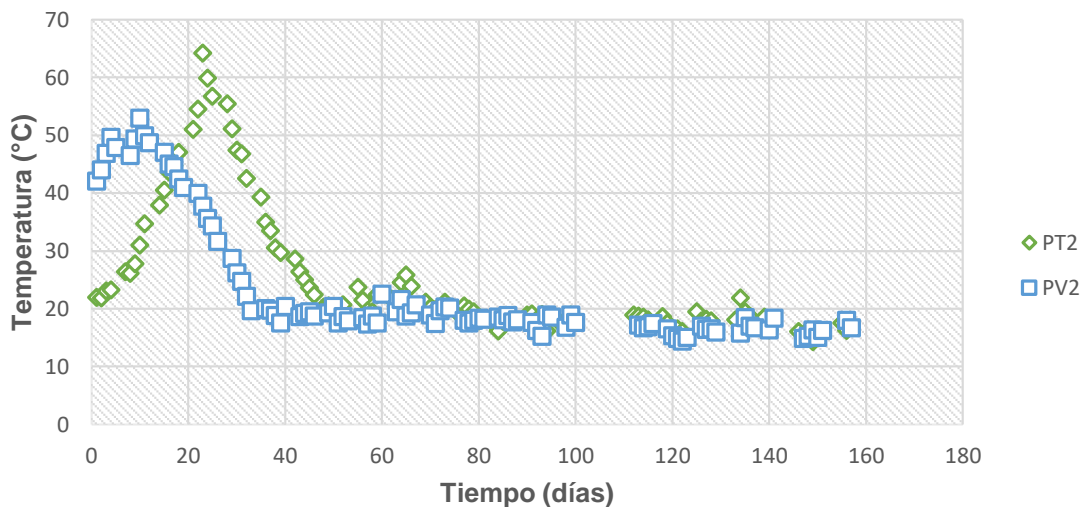
En la Figura 13 se evidencia que los primeros días se da un ascenso de la variable ya que según Coolemar, Gallardo (2012), la fase de latencia tiene una duración aproximada de 72 horas y en mención a Defrieri et al. (2005), los valores pueden elevarse hasta 45 °C. Sin embargo, la pila PT2 no llegó a este valor sino hasta el día 18 en el cual la temperatura fue de 44,7 °C, en tanto la PV2 en el día ya tiene un valor de 44 °C, esto puede deberse a que la materia orgánica estaba aún caliente al momento de colocarse las lombrices.

En referencia a Román, Martínez, & Pantoja (2013), en la segunda fase conocida como termófila las temperaturas suben hasta 70°C. Para la PV2 la temperatura máxima alcanzada fue de 52,9 °C en el día 10, en cambio para la PT2 el valor más alto es de 64,2 °C en el día 24, lo que hace evidente una diferencia aproximada de 14 días entre las dos pilas de compostaje, lo que hace evidente una diferencia aproximada de 14 días entre las dos pilas de compostaje, lo que posiblemente se deba las condiciones climatológicas ya que la PT2 se encontraba en contacto directo con el suelo y la PV2 en una caja de madera.

La siguiente fase fue la de enfriamiento. Conforme a Román, Martínez, & Pantoja (2013), hay un descenso de temperatura hasta llegar a los 40 °C, al igual que en la fase termófila la PV2 alcanza el valor de 39,9 °C en el día 22, mientras que la PT2 recién en el día 36 se manifiesta un valor de 39,3 °C.

En la última fase Soliva (2001), indica que este ciclo puede durar varios meses ya que la temperatura debe ser similar a la ambiental (20 °C), aparentemente la PV2 en el día 36 ya se encuentra en esta fase, ya que tiene un valor de 20 °C. Sin embargo, la PT2 llega a un valor cercano al día 49 con 20,3 °C. Esta diferencia de tiempo puede deberse a que la temperatura de la PV2 no alcanzo valores iniciales tan altos como la PV1.

A partir del descenso de temperatura el gráfico indica una estabilidad de la variable ya que como se mencionó anteriormente este proceso puede tardar varios meses.



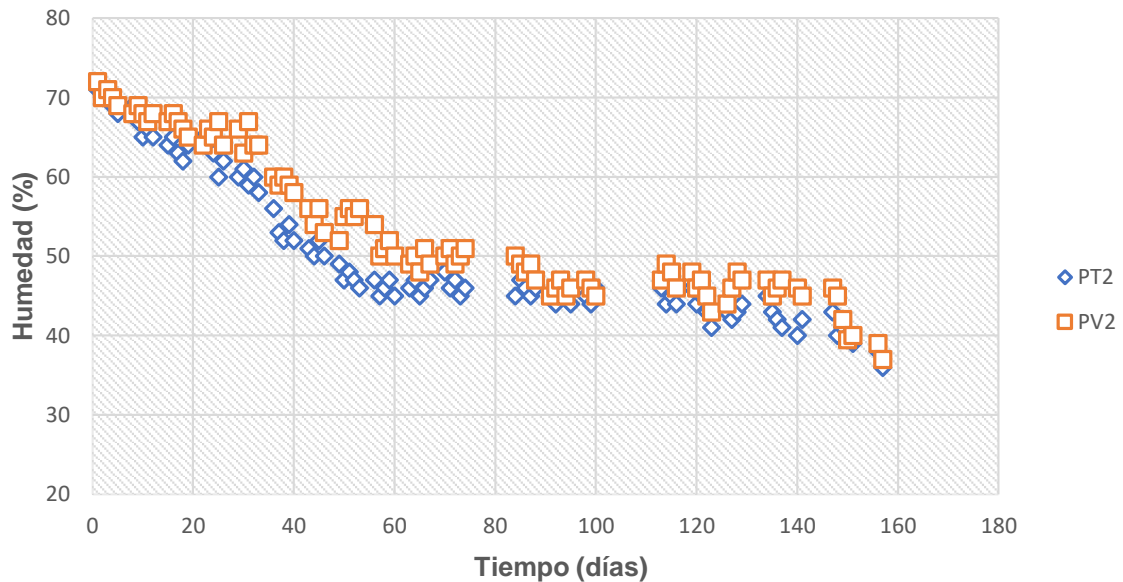
**Figura 13.** Variación de la temperatura del vermicompost en función del tiempo.

## b) Humedad

En la Figura 14 se puede apreciar que las dos pilas inician con una humedad mayor al 70%, lo que posiblemente puede deberse a un exceso de agua de la materia orgánica. Sin embargo, en el transcurso del tiempo este parámetro tiende a disminuir porque según Moreno y Moral (2008), “se debe llegar a un equilibrio entre los huecos entre partículas (de tamaño variable) que pueden llenarse de aire o de agua”.

La PT2 en el día 25 ya tiene un valor de 60 %, en cambio la PV2 refleja el 60 % de humedad en el día 36, posiblemente esto se deba a los lixiviados que generan las lombrices californianas.

Durante todo el proceso de descomposición de la materia orgánica la humedad se ha mantenido en un rango de 40-60 %, lo que permite asumir que se ha desarrollado con normalidad en mención a (Röben, 2002).



**Figura 14.** Variación de la humedad del vermicompost en función del tiempo.

### c) pH

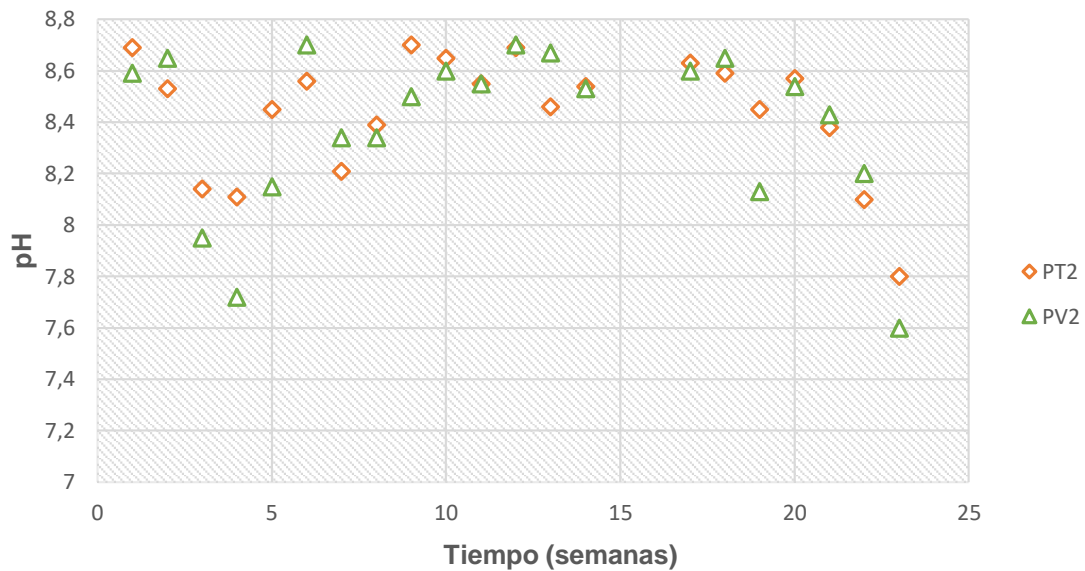
En la Figura 15 se presentan los resultados del pH, el cual inicia con valores altos muy cercanos a 9 en las dos pilas, lo que tal vez se deba a que un existe un exceso de nitrógeno en la materia orgánica, según Silva et al. (2000).

En mención a Fitzpatrick et al. (1998), el rango óptimo de funcionamiento del proceso de compostaje está entre 6 y 9, lo que explica los valores de las pilas de compostaje durante todo el proceso, el pH fue mayor a 8.

En la última semana la PT2 dio un valor de 7,8 y la PV2 alcanzó a 7,6. En mención a Navarrón (2017), el compostaje en su etapa final comprende valores de hasta 7,5. Lo que permite asumir que el proceso ha culminado con la estabilización de la materia orgánica.

Sin embargo, la variación del pH a través del tiempo en las dos pilas de compostaje no fue la esperada, porque tiende a presentar valores con fuertes cambios en la variable, lo

que no es adecuado para el compost. Los cambios posiblemente fueron por las condiciones climáticas



**Figura 15.** Variación del pH en función del tiempo.

**d) Relación C/N final**

En la Tabla 6 la PV1 tiene una relación C/N mayor a la PT1, lo que posiblemente se debe a que en la PT1 los residuos orgánicos fueron combinados con la semilla de Takakura desde el primer día. Mientras que en la PV1 se tuvo que esperar a que la materia orgánica pase la primera fase de degradación para ser colocada con las lombrices californianas.

Sin embargo, las dos pilas muestran una disminución de la relación C/N en función al tiempo, lo que da a entender que existe una correcta degradación de la materia orgánica y que los residuos dispuestos no imposibilitaron la acción de los microorganismos.

Los análisis de la relación C/N se realizaron a los dos meses debido a que los parámetros como temperatura, humedad y pH indicaban que el compost podría estar maduro.

Además, en las PT2 y PV2 se aprecia como la relación C/N ha disminuido hasta llegar a un valor de 16/1 valor que coincide con Zhu (2006), quien indicó que la relación C/N debe ser menor a (20/1).

**Tabla 6.** Relación C/N de las cuatro pilas de compostaje.

Método	Tiempo	Relación C/N
--------	--------	--------------

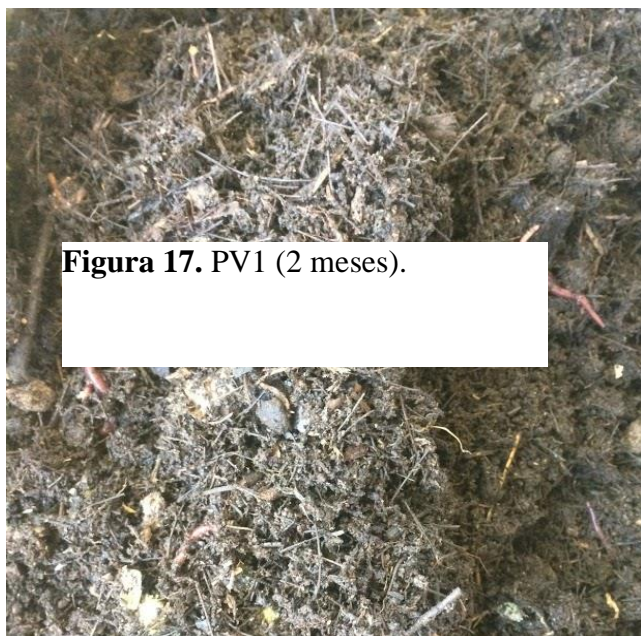
---

PT1	2 meses	28/1
PV1	2 meses	33/1
PT2	5 meses	16/1
PV2	5 meses	16/1

---



**Figura 16.** PT1 (2 meses).



**Figura 17.** PV1 (2 meses).



**Figura 18.**PV2 (5 meses).



**Figura 19.**PT2 (5 meses).

### e) Nutriente Fósforo

De acuerdo a Márquez et al. (2008), el fósforo es el nutriente más importante después del C y N, por esta razón debe estar presente, pero en cantidad mínimas, ya que así ayuda a que la descomposición del material orgánico se lleve a cabo de forma correcta.

En la Tabla 7 se visualiza que la PT1 y PV1 tienen el mismo valor (0,2 %) después de dos meses de la degradación de los residuos orgánicos. Sin embargo, en la PT2 y PV2 existe una disminución de este parámetro que fue medido a los cinco meses de degradación de la materia orgánica. Según Márquez et al. (2008), la reducción del fósforo puede ser debido a que este nutriente se consume en el proceso del metabolismo microbiano.

**Tabla 7.** Resultados del nutriente fósforo.

<b>Método</b>	<b>Fósforo (%)</b>
PT1	0,2
PT2	0,0032
PV1	0,2
PV2	0,0035

### 3.2.4 Características nutricionales del compost.

En la Tabla 8 se indican los elementos que serán considerados para la determinación del mejor método de compostaje de acuerdo a los parámetros de seguimiento y los relativos a la naturaleza.

Referente a la humedad de las pilas se definirían que la PT1 y PV1 se encuentran dentro del rango sugerido que es menor al 40% y las PT2 y PV2 sobrepasan dicho valor.

En relación a la temperatura ninguna de las cuatro pilas disminuye o sobrepasa los rangos óptimos que son entre 16 °C y 20 °C, lo que significa que han tenido un buen progreso de este parámetro.

Respecto al nutriente fósforo los valores obtenidos durante el proceso de compostaje permanecen dentro del rango óptimo comprendido entre (0,15 % y 1,5 %) en las cuatro pilas de compostaje.

El valor del nitrógeno de la PT1 fue 1,2 %, lo que indica que es la pila con un valor muy cercano al óptimo (1,5 % > y 2 % >), mientras que las otras pilas no llegan a cumplir dicho rango. En mención a Silva (2000), se podría deber a que las pilas están compuestas por elementos ricos en nitrógeno, lo que provoca solubilidad y posterior pérdida de este compuesto en forma de amoníaco gaseoso.

En cuanto al carbono todas las pilas cumplen con valores óptimos entre (8 % y 50 %), es importante recalcar que estos rangos son definidos en relación a las características de un compost comercialmente aceptable.

La relación C/N en PT1 y PV1 es alta con respecto a lo mencionado por Zhu (2006), quién dice que la relación C/N debe ser menor a (20/1), pero en las PT2 Y PV2 la relación C/N es de 16/1, por lo que en relación a este parámetro se dice que las dos pilas ya tienen un compost maduro.

Sobre el olor y color del compost las PT1 y PV1 reflejan un color café y olor a tierra, lo que permite asumir que si cumplen con las características recomendadas por Altamirano y Cabrera (2006). Sin embargo, las PT2 Y PV2 demuestran un color negro y un olor a tierra que también son características sugeridas.



Finalmente, el pH de la PV1 no concuerda con los rangos óptimos ya que tiene un valor de 8,21, mientras que las PT1, PV2 y PT2 cumplen con los valores recomendados que son entre 6,5 – 8.

**Tabla 8.** Nutrientes de un compost maduro

<b>ELEMENTO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RANGO ÓPTIMO</b>	<b>PT1</b>	<b>PV1</b>	<b>PT2</b>	<b>PV2</b>
Humedad	%	<40	36	39	44	47
Temperatura	°C	16 - 20	17,6	19	16,2	16,7
P	%	0,15 -1,5	0,2	0,2	0,0032	0,0035
N	%	1,5 > - 2>	1,2	1,1	1,08	0,89
C	%	8 - 50	34	37	17	14
C/N	-----	< 20	28/1	33/1	16/1	16/1
COLOR	-----	Café - negro	Café	Café	Negro	Negro
OLOR	-----	Tierra	Tierra	Tierra	Tierra	Tierra
pH	-----	6,5 - 8	7,39	8,21	7,8	7,6

Fuente: Altamira & Cabrera, 2006. Cegarra, 1994. Paul & Clark, 1996; citado por Meléndez, 2003. Giménez et al., 2005). Huddleston et al., 1990. Ortega et al., 1986. Salazar et al., 2003. O.M.S. 1985.gg citado por Clavijo, 2014.

Se ha considerado que el método Takakura fue el más efectivo de acuerdo a las características nutricionales del compost, ya que la PT1 y PT2 son las que cumplen la mayoría de los parámetros establecidos en la Tabla 8.

### **3.3 Identificación del método más efectivo de compostaje que tome en cuenta factores técnicos y económicos que permitan dar un tratamiento a los residuos orgánicos universitarios.**

A continuación, se dan a conocer los criterios para la selección del método más efectivo de compostaje que son: costo del compost, superficie requerida, tiempo de maduración frecuencia de control, eficiencia de compostaje. Además, los rangos de valoración, ponderaciones y calificaciones para cada método.

### 3.3.1 Criterios para la selección del mejor método de compostaje en relación a factores técnicos y económicos.

En la Tabla 9 se aprecian los criterios a ser evaluados, además de la especificación de los rangos de valoración. Los cuales fueron seleccionados mediante búsqueda bibliográfica y costos y utilidad al año 2019.

**Tabla 9.** Criterios de selección del mejor método

Criterio	Valoración		
	1 malo	2 aceptable	3 bueno
Costo directo del compost	> \$ 1,40 el kg	> \$ 0,70 - < \$ 1,40 kg	< \$ 0,70 el kg
Superficie requerida	< 1m <sup>2</sup>	> 1 m <sup>2</sup> - ≤ 2 m <sup>2</sup>	> 2 m <sup>2</sup> – 4 m <sup>2</sup>
Tiempo de maduración	> 180 días	90 días - 180 días	90 días
Frecuencia de control	Diario	2 – 3 veces por semana	1 vez a la semana
Eficiencia de compostaje	10 % - 30 %	31 % - 49 %	50 % - 70 %

#### 3.3.1.1 Calificación del criterio del costo directo del compost

En las Tabla 10 se observa la calificación de cada uno de los métodos. En relación a los criterios seleccionados y ponderación establecida.

Para calcular el costo directo del compost se utilizó la Ecuación 2.7 de la sección de metodología, de la cual se obtuvo \$ 0,18 el kg del compost de Takakura y \$ 0,33 el kg de vermicompost, por esa razón los dos métodos tienen una calificación de 3.

### **3.3.1.2 Calificación del criterio de la superficie requerida**

Para el valor de la superficie requerida los dos métodos tuvieron una calificación de 3, ya que la pila de vermicompost ocupó un área de  $3,88 m^2$  mientras que la pila de Takakura requirió  $3 m^2$ .

### **3.3.1.3 Calificación del criterio de tiempo de maduración**

En el tiempo de maduración del método vermicompost obtuvo un valor de 2, debido a que los parámetros físicos-químicos indicaron que se necesitó más tiempo para la descomposición de la materia orgánica que el método Takakura, técnica que se calificó con un valor de 3.

### **3.3.1.4 Calificación del criterio de la frecuencia de control**

La frecuencia de control del método de vermicompost fue calificada con un valor de 3 de acuerdo a Camiletti (2016), quién señala que el volteo una vez por semana es suficiente en las pilas de vermicompost ya que las lombrices favorecen la aireación. Según Honobe (2013), las pilas de Takakura deben tener un volteo manual de dos a tres veces por semana para abastecer de aire a los microorganismos, por esta razón se le tiene un valor de 2.

### **3.3.1.5 Calificación del criterio de la eficiencia de compostaje**

En la eficiencia del compostaje tanto para el método de vermicompost como para el método Takakura fueron calificados con un valor de 2. El cálculo de este criterio se lo hizo en relación a la Ecuación 2.3 de la sección de metodología.

En mención a Vargas et al. (2008), en el vermicompostaje los residuos orgánicos se pueden degradar hasta un 40%, el presente método cumplió con la bibliografía ya que, de los 60 kg iniciales, al final se obtuvo 36 kg de humus.

Según Suárez (2014), durante el proceso del método Takakura la materia orgánica puede llegar a reducirse hasta un 50 %, en el experimento realizado se comprobó que se redujo en un 43%, ya que se tuvo un valor final de 34 kg.

### 3.3.2 Elección del mejor método de compostaje en relación a los criterios seleccionados

Según el resultado de la calificación total se ha podido establecer que los dos métodos de compostaje implementados válidos para el campus José Rubén Orellana, aunque la técnica Takakura indique una calificación superior en comparación al vermicompost.

El método Takakura es mejor debido a que el tiempo de maduración fue menor con respecto al vermicompost. Sin embargo, en el criterio de frecuencia de control la técnica de vermicompost es mejor porque el volteo manual es necesario solo una vez por semana a diferencia del Takakura que requiere un volteo mínimo de dos a tres veces por semana.)

Como resultado final se obtuvo que el método fue Takakura con una calificación (IST) de 85 /100 y el vermicompost 83 / 100 en referencia a la Ecuación 2.3 de la sección de metodología. Por lo que se asume que los dos métodos fueron válidos para el tipo de residuos orgánicos utilizados.

**Tabla 10.** Calificación de criterios del método vermicompost

<b>Método</b>	<b>vermicompost</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Total</b>	<b>Takakura</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Total</b>
<b>Criterio</b>						
Costo del compost	3	10	30	3	10	30
Superficie requerida	3	15	45	3	15	45
Tiempo de maduración	2	30	60	3	30	90
Frecuencia de control	3	25	75	2	25	50
Eficiencia de compostaje	2	20	40	2	20	40
<b>TOTAL IS</b>			<b>250</b>			<b>255</b>

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

El proceso de diagnóstico permitió estimar que aproximadamente 1 000 personas acuden regularmente al servicio del restaurante cafetería de la EPN, lugar que genera cerca de 500,5 kg/semana de residuos orgánicos, de los cuales se utilizó el 16,8 % para el presente proyecto.

Las áreas verdes de la EPN generan aproximadamente 5 400 kg de residuos de poda, los cuales son dispuestos en la parte posterior del estadio de la EPN; en el experimento realizado solo se usó el 2,2 % de los residuos obtenidos en un mes.

El tiempo de maduración del compost fue importante porque definió la estabilidad de los parámetros: temperatura, pH, contenido de humedad, carbono, fósforo y nitrógeno, del proceso de experimentación.

La relación C/N inicial de 37/1 en el compostaje fue un factor determinante para indicar la maduración del compost porque tiene relación con la temperatura, de modo que influye en la degradación de la materia orgánica. La relación C/N final en los dos métodos fue de 16/1 valor que se obtuvo luego de 5 meses, lo que permitió verificar que el compost ya estuvo maduro. Sin embargo, si el compost es cosechado antes del tiempo mencionado el abono puede ser utilizado sin ningún problema porque se consideraría semimaduro.

Respecto a las características nutricionales, los factores técnicos y económicos, los dos métodos pueden ser aplicados para el manejo de los residuos orgánicos del campus José Rubén Orellana ya que de ambos se obtuvo un producto estable y apto para su uso, lo que evitó el envío al relleno sanitario.

La metodología desarrollada para la selección del mejor método de compostaje permitió tener diferentes criterios, después de su calificación se realizó una ponderación sobre 100 puntos. De acuerdo a esa ponderación el método Takakura dio un valor de 85/100 pero el vermicompost tuvo una cifra de 83/100 por ende los dos métodos son viables.

La calificación de los criterios de selección mostró las diferencias entre de los métodos de compostaje que son el tiempo de maduración y la frecuencia de control. Respecto al

tiempo de maduración el método Takakura se consideró el mejor. En cambio, en relación a la frecuencia de control el vermicompost se destacó ya que con realizar un volteo una vez por semana es suficiente.

## **4.2 Recomendaciones**

Es necesario que se realice una capacitación frecuente al personal del restaurante-cafetería de la EPN, en temas relacionados a la correcta separación de los residuos orgánicos.

Se podría realizar un ensayo que permita incrementar la cantidad de residuos orgánicos y los restos de césped, ya que así se daría una solución a la problemática actual de los residuos del campus.

El compostaje puede ser una opción de aprovechamiento de los residuos orgánicos del campus Politécnico, en especial para los restos de césped ya que daría una solución a la problemática actual de dichos residuos.

El abono orgánico obtenido podría ser comercializado y así obtener ingresos para el mantenimiento del lugar de compostaje, ya que si se implementan pilas de compostaje continuas se tendría humus constantemente. Previamente se debería realizar un análisis de costos que comprenda los costos directos, indirectos y la utilidad del compost.

Se debería proponer una metodología de investigación que pueda ser aplicada en otros proyectos de vinculación, que se vayan a desarrollar en el campus con la participación de la comunidad politécnica.

## **4.3 Bibliografía**

Alcolea, M., & González, C. (2000). *Manual de Compostaje doméstico*. Obtenido de <http://www.resol.com.br/cartilhas/manual-compostaje-en-casa-barcelona.pdf>

Altamirano Flores, M., & Cabrera Carranza, C. (2006). Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual, FIGMMG Vol. 9, 75-84.

- Álvarez, J. 2010. *Manual de compostaje para agricultura ecológica*. Consejería de agricultura y pesca, Andalucía (Colombia).
- Avendaño, E. (mayo de 2015). *Panorama actual de la situación mundial, nacional y distrital de los residuos sólidos. análisis del caso Bogotá D.C. programa basura cero*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/3417/1/79911240.pdf>
- Bertolí, M., Terry, E., & Ramos, D. (2015). Producción y uso del abono orgánico tipo Bocashi. *Una alternativa para la producción de los cultivos y la calidad de los suelos*. Ediciones INCA, Mayabeque, 50p.
- Blanc Kirby, A. (2006). Planta de clasificación y biometanización RSU Lampa, Chile.
- Bulluck Iii, LR, Brosius, M., Evanylo, GK, y Ristaino, JB (2002). *Las enmiendas de fertilidad orgánica y sintética influyen en las propiedades microbianas, físicas y químicas del suelo en granjas orgánicas y convencionales*. *Ecología del suelo aplicada*, 19 (2), 147-160.
- Bustos Villamar, R. A. (2019). *Medición del dióxido de carbono equivalente y eficiencia de los procesos de compostaje takakura y lumbricultura en el centro integral del manejo de residuos sólidos en la ciudad de Loja* (Bachelor's thesis, Loja).
- Camiletti Morales, J. (2016). Estudio del vermicompostaje de compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza.
- Campoverde Sánchez, Z. G. (2018). *Diseño de un Modelo de Reciclaje Inclusivo para la Comunidad Politécnica del Campus "J. Rubén Orellana" de la Escuela Politécnica Nacional*.
- Cando, C. (2014). Estadísticas de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito*.
- Castañeda, C., del Rocillo, L., & Romero Cabanillas, L. G. (2017). *Compost como*

*abono orgánico para mejorar la agricultura convencional de los pobladores de la Libertad, Distrito de Aramango-Bagua-Amazonas, 2016.*

Castaño Castillo, J. D. R. (2013). *Aprovechamiento de los residuos orgánicos generados*

*en la Facultad de Planeación Urbana y Regional UAEMEX, mediante la técnica del vermicompostaje.*

Clavijo, I. (2014). *Estudio Comparativo para la Elaboración de Compost por Técnica Manual en el Bioparque Amaru Cuenca* (Doctoral dissertation, Tesis de magister. Ecuador, Universidad de Cuenca-Faculta de Ciencias Agropecuarias).

Coolamar, Gallardo. (2012), Manejo integral de residuos sólidos urbano.

Cronje, A., Turner, C., Williams, A. 2003. Composting under controlled conditions. *Environ. Technol.* 24 (10): 1221-1234.

Davies, B. 1974. *Encendido por pérdida como una estimación de la materia orgánica del suelo.. Soil Sci. Proc.* 38: 150.

DE COMPOSTAJE, R. E. (2014). *Vermicompostaje: procesos, productos y aplicaciones III. 5* (Vol. 5). Ediciones Paraninfo, SA.

Defrieri, R. L., Jimenez, M. D. L. P., Effron, D., & Palma, M. (2005). *Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje.* *Agriscientia*, 22(1), 25-31.

Díaz, L. F., & Savage, G. M. (2007). Factores que afectan el proceso. *Ciencia del Compost y tecnología*, 1.

Domínguez, J., P. J. Bohlen & R. W. Parmelee. 2004. Earthworms increase nitrogen leaching to greater soil depths in row crop agroecosystems. *Ecosystems*. 7: 672–685.

EMASEO. (24 de enero de 2018). Obtenido de [http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/rendicion\\_2017/Informe\\_de\\_Gestion\\_Gerencia\\_General\\_02017.pdf](http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/rendicion_2017/Informe_de_Gestion_Gerencia_General_02017.pdf)

Escuela Politécnica Nacional. (28 de diciembre de 2015). Política y estrategia para un



campus ambientalmente sustentable. Obtenido de <https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2016/01/Borrador-texto-Pol%C3%ADtica-y-estrategia-para-un-campus-ambientalmente-sustentable.pdf>

- Esquinca Cano Froilán, E. V. (2001). *Caracterización Y Generación De Los Residuos Sólidos*. Chiapas.
- Figueroa Barrera, A., Álvarez Herrera, J. G., Forero, A. F., Salamanca, C., & Pinzón, L. P. (2017). *Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos*.
- Fitzpatrick, G. E., Duke, E. R., & Klock-Moore, K. A. (1998). *Use of compost products for ornamental crop production: Research and grower experiences: Municipal Waste Compost Production and Utilization for Horticultural Crops*. *HortScience*, 33(6), 941-944.
- García Ramírez, A. F. (2014). *Efecto de la fertilización con NPK en una plantación de capirona (Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook f. ex Schumann) en tingo María, Perú*
- Gamarra Lezcano, C. C., Díaz Lezcano, M. I., Vera de Ortíz, M., Galeano, M. D. P., & Cabrera Cardús, A. J. N. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46), 4-26.
- GRAMA (Grupo de Acción para el Medio Ambiente, ES). 2005. *Manual del Buen Compostador*. 18 p.
- Graziani, P. (2018). *Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina*. Caracas: CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1247>
- Hernández Martín, S. (2017). *Biomasa algal como fuente de producción de metano vía co-digestión anaerobia*.
- Himanen M. and K. Hänninen, 2011. *Composting of bio-waste, aerobic and anaerobic*

- sludges - effect of feedstock on the process and quality of compost*. Bioresearch Technology. Volume 102(3), 2842–2852p.
- Honobe, Y. (noviembre de 2013). *Método Takakura, una alternativa para un manejo responsable de la basura orgánica*. Obtenido de <http://www.fonag.org.ec/web/imagenes/paginas/fondoeditorial/17.pdf>
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. World Bank. *Urban Development Series*, (15).
- Huerta, O., Martínez, X., Gallart, M., Soliva, M., & López, M. (2010). El uso de compost IGES – Instituto for Global Environmental Strategies. 2009. *Programa de reducción de residuos mediante la promoción del compostaje de residuos orgánicos por el sistema KitaQ*. Ed. JICA. Japón.
- Iliquín, R. (2015). Elaboración de compost utilizando residuos orgánicos aplicando los métodos takakura y em-compost. *Agroindustrial Science*, 4(2), 109-118.
- INEC. (3 de mayo de 2018). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/segun-la-ultima-estadistica-de-informacion-ambiental-cada-ecuatoriano-produce-058-kilogramos-de-residuos-solidos-al-dia/>
- INIAP. (2011). “*Elaboración y Uso de Abonos Orgánicos*”. Obtenido de <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/95/1/iniapsc300cd.pdf>
- JACKSON, M.L., 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Bertrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p
- Jaramillo, G; Zapata, I. (2008). Recuperado el 19 de febrero de 2020, de <http://tesis.udea.edu.ec/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- JICA. (2010). *Compostaje para la Reducción de Residuos Juego de Información*. Obtenido de [https://www.jica.go.jp/kyushu/office/ku57pq000009v1mc-att/comp\\_kit\\_low.pdf](https://www.jica.go.jp/kyushu/office/ku57pq000009v1mc-att/comp_kit_low.pdf)
- Jiménez, E. I., Silva, M. T. B., & Egea, F. C. M. (2008). 11. *Indicadores de la estabilidad y madurez Compostaje*, 243.del compost.

- Jördenin, H., Winter, J. 2005. Environmental Biotechnology. Concepts and Applications. MWILEY-VCH Verlag GmbH, Co. KGaA, Weinheim. p: 333-354.
- JPEC Co., Ltd. Wakamatsu Environment Research Institute. 2005. Basic Theory of Compost (Takakura Compost)
- López, M. J. D. A.; Díaz, E. E.; Martínez, R. y Valdez, R. D. C. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. Terra, 2001, vol. 19, pp. 293-299. ISSN 0187-5779.
- LUNA-VEGA, A., GARCÍA-SAHAGÚN, M. L., RODRÍGUEZ-GUZMÁN, E., & PIMIENTA-BARRIOS, E. (2015). Calidad agronómica de composta con residuos de cítricos. *ECORFAN®*, 2(3), 354-361.
- Madrid Díaz, F. (1999). *Caracterización y utilización del compost de residuos sólidos urbanos de la planta de Villarrasa (Huelva)*.
- Mantra. Recuperado de: <http://www.mantra.com.ar/contecologia/residuossolidos.html>
- Márquez Carrión, J. M. (2016). *Elaboración de compost mediante el método takakura y análisis comparativo de su riqueza nutricional con compost tradicional en el relleno sanitario del cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe* (Bachelor's thesis).
- Márquez, P. B., Blanco, M. J. D., & Capitán, F. C. (2008). 4. Factores que afectan al proceso de compostaje. *Compostaje*, 93.
- Mendoza, M. (2012). *Propuesta De Compostaje De Los Residuos Vegetales Generados En La Universidad De Piura*. [Tesis de pregrado]. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje* (No. F04 MOR 18358). Ediciones Mundi-Prensa.
- Navarro, R., & de la Tierra, C. A. (1999). Manual para hacer composta aeróbica. CESTA. *Amigos de la Tierra*. San Salvador, El Salvador, 1-21.

- Navarrón Izquierdo, L. (2017). Compostaje de tronco palmera con lodos de depuración de aguas residuales urbanas.
- Negro, M. J., Villa, F., Aibar, J., Aracón, R., Ciria, P., Cristóbal, M. V., ... & Lacasta Dutoit, C. (2000). Producción y gestión del compost.
- Norma de calidad de Compost.pdf*. (2000). Recuperado 18 de abril de 2020, de <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/normas/Norma%20calidad%20COMPOST.pdf>
- Paneque-Pérez, V. M. (2010). *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*.
- Ramos Agüero, D., Terry Alfonso, E., Soto Carreño, F., & Cabrera Rodríguez, J. A. (2014). Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales*, 35(2), 90-97.
- Registro Oficial N° 983 Código Organico del Ambiente. (2017). COA. En A. N. Ecuador, CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (pág. 65). Quito: Ecuador.
- Resolución administrativa N° 015-2016 de la Escuela Politécnica Nacional de 13 de octubre de 2016. Obtenido de <https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2017/11/RESOLUCIO%CC%81N-ADMINISTRATIVA-No.-015-2016.pdf>
- Röben, E. (2002). *Manual de compostaje para municipios. DED/Ilustre Municipalidad de Loja, Loja, Ecuador*.
- Rodríguez, D., & Simbaña, D. (agosto de 2010). *Gestión Integral De Residuos Sólidos Universitarios Para La Comunidad Politécnica Del Campus "J. Rubén Orellana R."* [Tesis de pregrado]. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Rodríguez Vásquez, A., Monestel Miranda, J., & Viquez Zúñiga, G. (2018).

*Implementación de un Proyecto de Gestión Ambiental para el aprovechamiento y reducción de los residuos orgánicos generados por tres empresas del GAM.*

- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual De Compostaje Del Agricultor Experiencias en América Latina*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiTuenPk6vjAhUGtlkKHdeOCAIQFjAAegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fa-i3388s.pdf&usg=AOvVaw1Syl6XaoKav4Zrw004SYgS>
- Roselló, J. (2001). Compostaje de subproductos agrícolas.
- Soliva, M. (2001). Compostaje y gestión de residuos orgánicos. Diputación de Barcelona. Barcelona
- Soto, M. G. 2003. Abonos orgánicos: El proceso de compostaje. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 27 pp.
- Suárez, M. (Septiembre de 2014). *Evaluación del compost de residuos orgánicos domiciliarios con microorganismos efectivos como sustrato para la producción de plántulas*. Obtenido de [http://premioslatinoamericaverde.com/archivos/2019/proyecto\\_7997\\_archivo.pdf](http://premioslatinoamericaverde.com/archivos/2019/proyecto_7997_archivo.pdf)
- Sundberg, C., Smårs, S. y Jönsson, H. (2004). Bajo pH como factor inhibidor en la transición de la fase mesofílica a la termofílica en el compostaje. *Tecnología Bioresource* , 95 (2), 145-150.
- TCHOBANOGLIOUS, G. (1994). *Gestión Integral De Residuos Sólidos* (1a. Ed., 1a. Reimp.). Mexico: Mcgraw-Hill Interamericana.
- Vargas-Machuca, R. N., Martín, J. D., & de la Iglesia, S. M. (2008). 8. Vermicompostaje. *Compostaje*, 187.
- Velasco-Velasco, J., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J. J., & Parkinson, R. (2016).

EMISIÓN DE AMONIACO DURANTE LOS PROCESOS DE COMPOSTAJE  
Y VERMICOMPOSTAJE: ASPECTOS PRÁCTICOS Y  
APLICADOS. *Agroproductividad*, 9(8), 45-52.

Villegas, V., & Laines, J. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el  
tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*  
8(2), 393-406.

Zagal, E., & Sadzawka, A. (2007). Protocolo de métodos de análisis para suelos y  
lodos. *Universidad de Concepción, Servicio Agrícola y Ganadero: Santiago,*  
*Chile.*

Zhu, N.W. 2006. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a  
pilot-scale aerated static bin system. *Biores. Technol.* 97 (15): 1870-187

## ANEXOS

### ANEXO I. Instrumento de encuesta a actores clave.

#### **Sr. Carlos Arias- Administrador del restaurante-cafetería.**

1. ¿Cuántos comensales recibe este lugar diariamente?  
Aproximadamente 1000 personas.
2. ¿Cuántos almuerzos se venden en el día?  
Mínimo 500 almuerzos.
3. ¿Qué se hacen con los residuos sólidos orgánicos?  
Se entregan a las personas que recogen lavaza para sus animales.

#### **Sr. Klever Ango- encargado del área de jardinería.**

1. ¿Como es la distribución de áreas para realizar el corte de césped?  
No existe una distribución de las áreas, ya que el corte se lo realiza cuando el  
césped está alto.
2. ¿De qué factores depende el crecimiento del césped?  
Depende de la época del año ya que en invierno la frecuencia de corte puede aumentar.

3. ¿Cada que tiempo aproximadamente se corta el césped?

Tal vez cada mes o cada 6 semanas debido a que también trabajamos para el Instituto Geofísico de la EPN y el tiempo es corto con respecto al trabajo. Además, hay que esperar la asignación de los insumos para poder trabajar.

4. ¿Qué hacen con el césped cortado?

Lo disponemos en la parte posterior del estadio de la EPN hasta que haya una gran cantidad, ya que la institución debe contratar volquetas para que estas lleven los residuos a una escombrera.

**ANEXO II.** Caracterización de los residuos orgánicos del restaurante-cafetería de la EPN.

CARTA DE COMPROMISO

Quito, 15 de abril de 2019

Sr. Carlos Arias

Gerente Administrativo

Restaurante "Comedor Politécnico"

Muy estimado Señor Carlos Arias, me dirijo a usted para darle a conocer que durante los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto del año en curso se realizará un proyecto de Campus Sustentable. Por lo que es necesario obtener datos reales de la cantidad de residuos orgánicos que genera el "Comedor Politécnico", este plan estará dirigido por dos estudiantes de la carrera de tecnología de Agua y Saneamiento Ambiental (ASA), Ximena Bonilla y Jennifer Urbina y con la participación de los estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional.

Para este fin solicito muy comedidamente su colaboración y de su personal con su debida autorización.

Agradezco la atención prestada.

Atentamente,



Estudiante de ASA

Ximena Bonilla

C.I. 1723929012



Autorizado por:

Sr. Carlos Arias

Gerente Administrativo

**ANEXO III.** Capacitación a los colaboradores del restaurante-cafetería de la EPN.




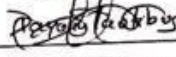

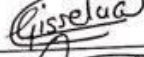
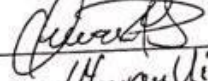
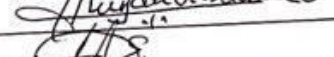

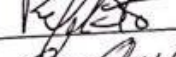


## PLANILLA DE CAPACITACION

Se deja constancia que los abajo firmantes asistieron a la actividad de Capacitación detallada precedentemente y declarar haber comprendido el contenido, comprometiéndose a la aplicación de los conocimientos acerca de la Separación de Residuos Orgánicos

**TEMA:** Separación de Residuos Orgánicos

**FECHA:** 22 de abril de 2019

**LUGAR:** Comedor Politécnico

NOMBRE Y APELLIDO	C.I	FIRMA
Edwin Sarmiento	171659011-0	
Dayana Yautibog	172513073-4	
Ayda Chicaiza	171480820-9	
Gissela Chalco	172249905-8	
Michelle Pilco	175506123-5	
Miryam Villarreal	170515995-0	
Edison Tancha	100347581-4	
Rafael Sarmiento	1708821168	
Caracas Armas	1715584710	
IVAN MURFEE	170715156-7	

Dictado por:  
Ximena Bonilla y Andrés Guttinger

**ANEXO IV.** Informes de los análisis de los parámetros carbono, nitrógeno y fósforo.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE PRODUCTOS NATURALES



INFORME

*Determinación de humedad y materia orgánica*

FECHA DEL ANÁLISIS	MUESTRA	ELABORADO POR:
2019-07-18	1. Compost Takakura 2. Vermicompost	Adriana Chamba

**RESULTADOS**

**1. Compost Takakura**

Parámetro	Unidades	Resultado
Humedad	%	53,15
Materia Orgánica	%	57,89

**2. Vermicompost**

Parámetro	Unidades	Resultado
Humedad	%	64,71
Materia Orgánica	%	63,37

QF. Alejandro Osorio  
ENCARGADO DEL LABORATORIO

Q. Adriana Chamba  
Analista

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral

Horarios de atención: Lunes-Viernes 08:00-16:00



Scanned with  
CamScanner

**INFORME DE RESULTADOS**

INF.LASA 01-08-19-03056  
ORDEN DE TRABAJO No. 03461-19

DATOS DEL CLIENTE		
SOLICITADO POR: BONILLA CHANGO XIMENA MICHELLE	DIRECCIÓN: BALCON DEL VALLE	
TELÉFONO/FAX: 0958705647	TIPO DE MUESTRA: SUELOS	PROCEDENCIA: --
IDENTIFICACIÓN: COMPOST MADURO - TAKAKURA	CODIGO INICIAL: M2 - FECHA DE TOMA DE MUESTRA: 18/07/2019 - HORA TOMA DE MUESTRA: 10:130	

DATOS DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 19/07/2019
FECHA DE ANÁLISIS: 19/07-01/08/19	FECHA DE ENTREGA: 01/08/2019	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 11596-19	REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	

**REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO**

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	FÓSFORO TOTAL	mg/kg	1706,47	N.A.	Espectrofotometría UV-Vis
2	NTK	mg/kg	11876,81	N.A.	KJEDAHL

N.A.: No Aplica



DR. MARCO GUIJARRO  
GERENTE DE LABORATORIO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.  
LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida o tomada por el laboratorio.  
Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el valor de la incertidumbre asociada al resultado y declarada por el método específico.  
El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en [www.laboratoriolasa.com](http://www.laboratoriolasa.com))

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012  
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815  
Celular: 099 9236 287 • e-mail: [info@laboratoriolasa.com](mailto:info@laboratoriolasa.com)  
web: [www.laboratoriolasa.com](http://www.laboratoriolasa.com) • Quito - Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS**

INF.LASA 01-08-19-03055  
ORDEN DE TRABAJO No. 03461-19

DATOS DEL CLIENTE		
SOLICITADO POR: BONILLA CHANGO XIMENA MICHELLE	DIRECCIÓN: BALCON DEL VALLE	
TELÉFONO/FAX: 0958705647	TIPO DE MUESTRA: SUELOS	PROCEDENCIA: --
IDENTIFICACIÓN: COMPOST MADURO - VERMICOMPOST	CODIGO INICIAL: M1 - FECHA DE TOMA DE MUESTRA: 18/07/2019 - HORA TOMA DE MUESTRA: 10:130	

DATOS DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 19/07/2019
FECHA DE ANÁLISIS: 19/07-01/08/19	FECHA DE ENTREGA: 01/08/2019	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 11595-19	REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	

**REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO**

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	INCERTIDUMBRE U (I=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	FÓSFORO TOTAL	mg/kg	1613,81	N.A.	Espectrofotometría UV-Vis
2	NTK	mg/kg	11238,05	N.A.	KJEDAHL

N.A.: No Aplica



DR. MARCO GUJARRO  
GERENTE DE LABORATORIO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.  
LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida o tomada por el laboratorio.  
Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el valor de la incertidumbre asociada al resultado y declarada por el método específico.  
El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en [www.laboratoriolasa.com](http://www.laboratoriolasa.com))

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012  
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815  
Celular: 099 9236 287 • e-mail: [info@laboratoriolasa.com](mailto:info@laboratoriolasa.com)  
web: [www.laboratoriolasa.com](http://www.laboratoriolasa.com) • Quito - Ecuador

