



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**CALIDAD DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS
AGROPECUARIOS CON EL MÉTODO TAKAKURA, Y SU
EFECTO EN EL DESARROLLO DE LA PLANTA DE MAIZ
EN SU FASE INICIAL.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

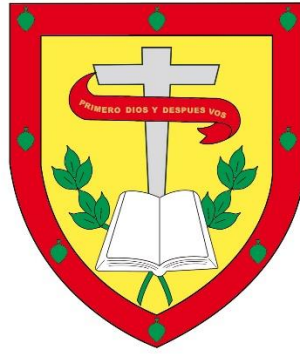
AUTORA: KAREN VALERIA COBOS CAJAMARCA

DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA PhD

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

CALIDAD DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS AGROPECUARIOS
CON EL MÉTODO TAKAKURA, Y SU EFECTO EN EL DESARROLLO
DE LA PLANTA DE MAIZ EN SU FASE INICIAL.

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORA: KAREN VALERIA COBOS CAJAMARCA

DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA PhD

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Karen Valeria Cobos Cajamarca portadora de la cédula de ciudadanía N°1400960728. Declaro ser el autor de la obra: **“CALIDAD DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS AGROPECUARIOS CON EL MÉTODO TAKAKURA, Y SU EFECTO EN EL DESARROLLO DE LA PLANTA DE MAIZ EN SU FASE INICIAL”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 28 de marzo de 2023

F:
Karen Valeria Cobos Cajamarca
1400960728

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Karen Valeria Cobos Cajamarca, bajo mi supervisión.

Ing. Manuel Salvador Alvarez Vera, PhD.

DIRECTOR

DEDICATORIA

A mis distinguidos Padres Marco y Carmita, y a mi amado hermano Camilo:

Sé que ustedes estarán allí si necesito fuerza y fe para latir en este universo; y eso es suficiente para mí.

A mis añorados Abuelos Alcides y Otilia, Claudio y Elina, a mi guerrera Alba Lu:

Sigo cumpliendo sueños, y ustedes estarán ahí en algún sitio, asintiendo.

Los amo infinitamente.

AGRADECIMIENTOS

Cuando segundo a segundo de mi vida no me quedó un amigo, un familiar, una mascota, ni la naturaleza, te encontré en el silencio de mi habitación. Por liberar de la ceguera a mi alma, por permitir que descanse de mis miedos, angustias, deseos, secretos y rencores, gracias, Jesús.

Por darme todo cuando no tenían nada, por sus sacrificios y esfuerzos, por heredarme los valores que hasta hoy me definen como persona, por su paciencia e incondicional amor, les agradezco infinitamente amados papá y mamá.

Por sus palabras de aliento, por compartir su conocimiento y contribuir en la culminación de este trabajo de investigación al Dr. Manuel Álvarez Vera, gracias.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal determinar la calidad del compost con el método Takakura, utilizando residuos agropecuarios, y su efecto en el desarrollo de la planta de maíz en su fase inicial. El estudio se ejecutó en tres fases: 1) construcción de composteras y recolección de material agropecuario, 2) preparación del compost y aplicación, 3) siembra y evaluación del crecimiento vegetativo del maíz. Se estableció 2 tratamientos con 4 repeticiones, T1 con el método Takakura y T2 con el método tradicional. T1 obtuvo mayor porcentaje de degradación de materia orgánica, en el análisis de laboratorio se determinó que el T1 logró mejores características físicas químicas y microbiológicas en comparación con el T2. Para el crecimiento del maíz se aplicaron 7 tratamientos con 4 repeticiones, en los que con dosis Takakura al 1 % y al 2 % obtuvo un mejor crecimiento de maíz, especialmente en raíz. El compost de mejor calidad fue el Takakura, con la capacidad de reemplazar los fertilizantes nitrogenados, aprovechando la biomasa residual para desarrollar un compost útil en los cultivos de maíz, beneficiando económicamente a los agricultores y disminuyendo las cargas medio ambientales.

Palabras clave: compost, Takakura, residuos agropecuarios, cargas medioambientales.

ABSTRACT

The main objective of this study was to determine the quality of compost with the Takakura method, using agricultural wastes, and its effect on the growth of corn in its early stages. The study was carried out in three phases: 1) construction of compost bins and collection of agricultural material, 2) compost preparation and application, and 3) planting and evaluation of corn vegetative growth. Two treatments with four replications were established, T1 with the Takakura method and T2 with the traditional method. T1 obtained a higher percentage of organic matter degradation; the laboratory analysis determined that T1 achieved better physical, chemical, and microbiological characteristics than T2. Seven treatments with four replicates were applied for corn growth, in which 1% and 2% Takakura doses obtained better corn growth, particularly in the root. Takakura was the best quality compost, with the capacity to replace nitrogen fertilizers, taking advantage of the residual biomass to develop a useful compost for corn crops, with economic benefits for farmers and reducing environmental burdens.

Keywords: compost, Takakura, agricultural waste, environmental burdens.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE ANEXOS	X
CAPÍTULO I	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 OBJETIVOS	- 2 -
1.1.1 <i>Objetivo General</i>	- 2 -
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	- 2 -
CAPÍTULO II	- 3 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA	- 3 -
2.1 RESIDUOS AGRÍCOLAS	- 3 -
2.1.1 <i>Tipos de residuos agrícolas</i>	- 3 -
2.2 ESTIÉRCOL DE GANADO	- 4 -
2.2.1 <i>Características físicoquímicas</i>	- 5 -
2.3 COMPOSTAJE	- 5 -
2.3.1 <i>Clasificación de sistemas de compostaje</i>	- 7 -
2.3.2 <i>Fases del compostaje</i>	- 7 -
2.3.3 <i>Compost</i>	- 8 -
2.4 PARÁMETROS DEL COMPOSTAJE	- 9 -
2.4.1 <i>Parámetros iniciales</i>	- 9 -
2.4.2 <i>Parámetros de monitoreo</i>	- 11 -
2.4.3 <i>Parámetros de calidad</i>	- 12 -
2.5 MÉTODO TAKAKURA	- 12 -
2.5.1 <i>Microorganismos de fermentación</i>	- 12 -
2.5.2 <i>Oxígeno</i>	- 13 -
2.5.3 <i>Humedad</i>	- 14 -
2.5.4 <i>Instalaciones y equipos</i>	- 14 -
2.5.5 <i>Lecho de fermentación</i>	- 15 -
2.6 BASE LEGAL	- 16 -
CAPÍTULO III	- 19 -
3. MATERIALES Y MÉTODOS	- 19 -
3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	- 19 -
3.1.1 <i>Coordenadas y límites</i>	- 19 -
3.1.2 <i>Características climáticas</i>	- 20 -
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA ELABORACIÓN DEL COMPOST	- 20 -

3.2.1	<i>Características de las composteras</i>	- 21 -
3.2.2	<i>Tipo de investigación y población</i>	- 21 -
3.3	PROCESOS DEL COMPOSTAJE	- 21 -
3.3.1	<i>Obtención de materia prima para el compostaje</i>	- 21 -
3.3.2	<i>Método de pesado de residuos orgánicos y cálculo de la relación C/N</i>	- 22 -
3.3.3	<i>Elaboración de pilas de compostaje</i>	- 23 -
3.3.4	<i>Compostaje con el método Takakura</i>	- 24 -
3.3.5	<i>Compost con aplicación de método tradicional</i>	- 27 -
3.3.6	<i>Monitoreo proceso de compostaje</i>	- 27 -
3.3.7	<i>Recolección de las muestras de compost</i>	- 28 -
3.4	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ	- 29 -
3.4.1	<i>Preparación del sustrato en macetas</i>	- 30 -
3.4.2	<i>Siembra</i>	- 31 -
3.4.3	<i>Evaluación del crecimiento del maíz</i>	- 31 -
CAPÍTULO IV		- 34 -
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 34 -
4.1	TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA	- 34 -
4.2	ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO	- 35 -
4.2.1	<i>Parámetros de seguimiento del compost</i>	- 35 -
4.2.2	<i>Características físicas</i>	- 38 -
4.2.3	<i>Características químicas</i>	- 38 -
4.2.4	<i>Características microbiológicas</i>	- 45 -
4.3	CRECIMIENTO VEGETATIVO DEL MAÍZ	- 47 -
4.3.1	<i>Altura de la panta</i>	- 48 -
4.3.2	<i>Número de hojas</i>	- 49 -
4.3.3	<i>Longitud de raíz</i>	- 49 -
4.3.4	<i>Diámetro del tallo</i>	- 51 -
CAPÍTULO V		- 52 -
5.	CONCLUSIONES	- 52 -
CAPÍTULO VI		- 54 -
6.	RECOMENDACIONES	- 54 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		- 55 -
ANEXOS		- 60 -

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Activación de microorganismos en las diferentes etapas de compostaje por el método Takakura.</i>	- 13 -
<i>Figura 2. Relación área y cantidad de descomposición de materia orgánica.</i>	- 14 -
<i>Figura 3. Método de instalación de la pila de compost.</i>	- 15 -
<i>Figura 4. Ubicación de la zona de estudio "Finca Don Coquito".</i>	- 19 -
<i>Figura 5. Diseño experimental DBCA de las pilas del compost.</i>	- 20 -
<i>Figura 6. Construcción de composteras.</i>	- 21 -
<i>Figura 7. Dimensión estándar de la compostera.</i>	- 21 -
<i>Figura 8. Sacos con material animal y vegetal.</i>	- 22 -
<i>Figura 9. Recolección de estiércol vacuno.</i>	- 22 -
<i>Figura 10. Pesado de material animal vacuno.</i>	- 22 -
<i>Figura 11. Composteras en la Finca Don Coquito.</i>	- 23 -
<i>Figura 12. Soluciones salada y dulce del método Takakura.</i>	- 25 -
<i>Figura 13. Solución salada.</i>	- 25 -
<i>Figura 14. Solución dulce.</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Figura 15. Método del puño para determinar la humedad del lecho.</i>	- 26 -
<i>Figura 16. Lecho cubierto con una lona.</i>	- 26 -
<i>Figura 17. Moho formado por la fermentación.</i>	- 26 -
<i>Figura 18. Aireación manual de la compostera con pala.</i>	- 27 -
<i>Figura 19. Riego a pila de compost Takakura.</i>	- 28 -
<i>Figura 20. Toma de datos de temperatura y pH.</i>	- 28 -
<i>Figura 21. Fundas ziploc con muestras de cada tratamiento.</i>	- 29 -
<i>Figura 22. Diseño experimental de la evaluación de crecimiento de maíz.</i>	- 29 -
<i>Figura 23. Crecimiento de las plantas de maíz de los siete tratamientos.</i>	- 30 -
<i>Figura 24. Paquete de las semillas de maíz.</i>	- 31 -
<i>Figura 25. Planta de maíz separada de la maceta.</i>	- 31 -
<i>Figura 26. Planta de maíz sin residuos.</i>	- 31 -
<i>Figura 27. Raíz separada de la planta.</i>	- 32 -
<i>Figura 28. Medición de la longitud de la raíz.</i>	- 32 -
<i>Figura 29. Medición de la altura de la planta de maíz.</i>	- 32 -
<i>Figura 30. Medición del diámetro del tallo.</i>	- 33 -
<i>Figura 31. Transformación de masa de los dos tratamientos.</i>	- 34 -
<i>Figura 32. Variación de temperatura durante 89 días de los dos tratamientos.</i>	- 35 -
<i>Figura 33. Variación del pH durante 89 días de los dos tratamientos.</i>	- 37 -
<i>Figura 34. Macronutrientes presentes en los dos tratamientos de compost.</i>	- 39 -
<i>Figura 35. Concentración de nutrientes secundarios en los dos tratamientos.</i>	- 40 -
<i>Figura 36. Micronutrientes presentes en los dos tratamientos de compost.</i>	- 41 -
<i>Figura 37. Ácidos húmicos y fúlvicos en los dos tratamientos.</i>	- 42 -
<i>Figura 38. Materia orgánica en los dos tratamientos.</i>	- 43 -
<i>Figura 39. Conductividad eléctrica en los dos tratamientos.</i>	- 44 -
<i>Figura 40. Conductividad eléctrica en los dos tratamientos.</i>	- 45 -
<i>Figura 41. Microorganismos identificados en los dos métodos de compostaje.</i>	- 46 -
<i>Figura 42. Curva de Rango abundancia de los microorganismos identificados en los dos tratamientos.</i>	- 47 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de residuos sólidos agrícolas. _____	- 4 -
Tabla 2. Materia prima para realizar compostaje. _____	- 6 -
Tabla 3. Clasificación de sistemas de compostaje. _____	- 7 -
Tabla 4. Parámetros de compostaje. _____	- 9 -
Tabla 5. Valores de relación C/N de distintas materias primas orgánicas. _____	- 11 -
Tabla 6. Ejemplos y funciones de materiales de compostaje según el método Takakura. _____	- 16 -
Tabla 7. Características de la composta terminada. _____	- 17 -
Tabla 8. Concentraciones máximas de metales pesados en compost. _____	- 18 -
Tabla 9. Descripción y numeración de los tratamientos. _____	- 30 -
Tabla 10. Rendimiento y transformación de la materia orgánica de los dos tratamientos. _____	- 34 -
Tabla 11. Resultados de la prueba de normalidad de las temperaturas. _____	- 36 -
Tabla 12. Prueba de comparación de medianas de las temperaturas. _____	- 36 -
Tabla 13. Prueba de normalidad del pH. _____	- 37 -
Tabla 14. Prueba de comparación de medianas del pH. _____	- 38 -
Tabla 15. Composición de macronutrientes en los dos tratamientos. _____	- 38 -
Tabla 16. Composición de nutrientes secundarios en los dos tratamientos. _____	- 40 -
Tabla 17. Composición de micronutrientes en los dos tratamientos. _____	- 41 -
Tabla 18. Ácidos presentes en los dos tratamientos. _____	- 42 -
Tabla 19. Composición de la materia orgánica en los dos tratamientos. _____	- 43 -
Tabla 20. Concentración de la conductividad eléctrica en los dos tratamientos. _____	- 44 -
Tabla 21. CIC en los dos tratamientos. _____	- 45 -
Tabla 22. Datos de la altura en cm de las plantas en los diferentes tratamientos. _____	- 48 -
Tabla 23. Resultados de ANOVA de una vía para la altura de la planta. _____	- 48 -
Tabla 24. Prueba de Fisher de la altura de la planta. _____	- 48 -
Tabla 25. Datos del número de hojas de las plantas de los siete tratamientos. _____	- 49 -
Tabla 26. ANOVA de una vía para el número de hojas. _____	- 49 -
Tabla 27. Datos de la longitud de raíz de las plantas en los siete tratamientos. _____	- 50 -
Tabla 28. ANOVA de una vía para la longitud de la raíz. _____	- 50 -
Tabla 29. Prueba de Fisher de la longitud de la raíz. _____	- 50 -
Tabla 30. Datos diámetro del tallo de las plantas en los siete tratamientos. _____	- 51 -
Tabla 31. ANOVA de una vía para el diámetro del tallo. _____	- 51 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Registro de peso inicial y final de cada pila de compost. _____	- 60 -
Anexo 2. Registro del crecimiento vegetativo del maíz. _____	- 60 -
Anexo 3. Registro de temperatura de cada pila de compost. _____	- 61 -
Anexo 4. Registro de pH de cada pila de compost. _____	- 63 -
Anexo 5. Análisis físico químico de los métodos Takakura y tradicional. _____	- 65 -
Anexo 6. Análisis microbiológico de los métodos Takakura y tradicional. _____	- 66 -

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El sector ganadero por la actividad que realiza da lugar a un fuerte impacto ambiental mediante la producción de contaminantes que conducen al calentamiento global por la emisión de Gases de Efecto Invernadero GEI (Loyon, 2018), de igual forma, según Steinfeld et al. (2006) se ve reflejada en la pérdida de biodiversidad, alteraciones en el suelo y en el agua. El ganado vacuno, porcino y avícola produce alrededor de 120 millones de toneladas de estiércol al año; esta cifra está compuesta por estiércol sólido en un 60,6%, 38,8% purín de ganado (efluente) y una cantidad relativamente pequeña de excrementos (Loyon, 2018), y que al no contar con un tratamiento adecuado se produce contaminación por nutrientes y compuestos orgánicos como es el nitrógeno, carbono y fósforo, además de la emisión de NH_3 , CH_4 , N_2O que se liberan en el ambiente durante el almacenamiento, aplicación en el suelo y/o infiltración a las aguas subterráneas y/o superficiales. De la misma manera puede ser absorbido por las plantas, que generan una acumulación excesiva de nitratos, con consecuencias negativas sobre la calidad del fruto (FAO, 2013).

Al respecto, un estudio realizado por Aguilar et al. (2022), determinó que la industria agroalimentaria en Ecuador genera un estimado de 220 toneladas de desechos que, de no ser gestionados adecuadamente, pueden convertirse en una fuente de contaminación para el medio ambiente y la salud humana, ya que producen un alto contenido de emisiones de CH_4 , CO_2 , NH_3 , provenientes de la combustión indiscriminada de estos residuos.

Según Hubbe et al. (2010) la implementación de bioprocesos de transformación, permite el aprovechamiento de los residuos en especial los que genera la producción vacuna, porcina y avícola. Para ello, de acuerdo con Iqbal et al. (2020) se han utilizado técnicas amigables siendo una excelente alternativa sostenible para el manejo de los residuos, debido a que está basado en la eficiente actividad microbiológica, permitiendo que el proceso de biodegradación sea positivo. Estos residuos están compuestos por biomoléculas como proteínas, carbohidratos y minerales, los cuales se pueden transformar mediante diferentes procesos en una gama de productos como, por ejemplo: energía, biocombustible y compost (Adejumo & Adebisi, 2012; Loyon, 2018). López (2010) asegura que después del proceso de compostaje, los desechos se convierten en una sustancia similar a la tierra sin olor, cumpliendo con los criterios para producir enmiendas del suelo. La aplicación de compost aumenta el crecimiento y el rendimiento de los cultivos sin la adición de fertilizantes, y las aplicaciones sucesivas del mismo mejoran la calidad del suelo y reducen problemas como la erosión, aumentando el porcentaje de MO, N, P y sales solubles.

Uno de los métodos innovadores de compostaje es el Takakura que aprovecha el potencial de biodegradación de los residuos, activando su descomposición por medio microorganismos y aportando una gran cantidad de nutrientes al producto final (Honobe, 2013; Iliquín, 2015). Para Al-khader et al. (2021) este proceso se da en condiciones controladas, con la aplicación de microorganismos para acelerar la descomposición de la biomasa por medio de la fermentación más no de la putrefacción, y así transformarlo en un producto útil para el mejoramiento del recurso suelo,

disminuyendo el impacto ambiental. Dewilda et al. (2019) menciona que es un método que tiene varias ventajas económicas ya que para su desarrollo se utiliza restos orgánicos como cáscaras de verduras y frutas, desechos de hojas y elementos de bajo costo.

En el cantón Gualaquiza las principales actividades de lucro es la silvicultura, ganadería, pesca y agricultura, mismas que se centran únicamente en la etapa de producción, por lo tanto, no se han incorporado metodologías para tratamiento de los residuos. Lo que comúnmente se realiza son incendios “controlados” para eliminar los desechos, además, se considera una forma de preparar el terreno para dichas actividades, por otro lado, se emplea el estiércol fresco como fertilizante, lo cual no es recomendable para el uso agrícola, ya que es necesario un proceso previo de descomposición. La implementación de los incendios y el mal manejo de los desechos ha tenido como consecuencia la contaminación del agua, suelo y aire generando de esta manera problemas ambientales, además de la pérdida de biodiversidad de flora y fauna (GAD Municipal de Gualaquiza, 2015).

El presente estudio tuvo como propósito el proponer una opción para el uso benéfico de los residuos agropecuarios, utilizando el método Takakura. Con ello los productores de esta área podrán replicar y gestionar los residuos, disminuyendo el impacto ambiental, y aprovechando la biomasa residual, para desarrollar un compost útil para los cultivos del sector, perfeccionando la calidad del suelo y beneficiando la producción agrícola.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Determinar la calidad de compost obtenido a partir de residuos agropecuarios con el método Takakura.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el porcentaje de transformación de los residuos agropecuarios en compost mediante el registro de pesos al inicio y fin del proceso con la aplicación de ambos tratamientos.
- Identificar las características físicas (temperatura, humedad), químicas (pH, N, P, S, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, B, Zn, Mn, MO, N.total) y biológicas (microorganismos) del compost obtenido de los métodos Takakura y tradicional mediante el uso de instrumentos y de análisis de laboratorio.
- Determinar el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz a nivel de semillero con la aplicación del compost obtenido de ambos tratamientos, mediante la toma de registro de la longitud de la raíz, altura de la planta, diámetro del tallo y conteo de número de hojas.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Residuos agrícolas

Para Ademujo (2020) el incremento de la población humana ha requerido de una mayor producción agrícola, se ha dicho que en las últimas cinco décadas aumentó más de tres veces. Según la Oficina Federal de Medio Ambiente de Suecia define a los residuos agrícolas como aquellos derivados del cultivo o la ganadería en explotaciones agrícolas (FOEN, 2019).

De acuerdo con el sitio Safe Opedia (2018) los desechos agrícolas incluyen residuos de cultivos, como biomasa de segundo o tercer cultivo, malezas, hojarasca, aserrín, desechos forestales y desechos de ganado. Además de ser potencialmente dañinos para el medio ambiente, los desechos agrícolas pueden exponer a los trabajadores a material biológico dañino por lo que se trata de un riesgo biológico. El almacenamiento de desechos agrícolas puede multiplicar los peligros asociados con ellos, ya que los desechos almacenados pueden liberar gases nocivos.

Los desechos agrícolas que fluyen directamente a las aguas superficiales suelen tener un alto contenido de nutrientes, fósforo, nitrógeno y carbono orgánico biodegradable, residuos de pesticidas y bacterias fecales, que normalmente viven y se alojan en el tracto intestinal de diversos animales e indican contaminación por desechos animales. Los corrales de engorde, donde un gran número de animales están contenidos en espacios relativamente pequeños proporcionan una manera eficiente de criar animales para con fin alimenticio. Además, el nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3) y derivados del nitrato ($-\text{NO}_3^-$) forman parte de los nutrientes de las plantas que pueden conducir a la eutrofización (Speight, 2020).

Los residuos agrícolas constituyen una proporción significativa del potencial de biomasa utilizable ecológicamente; especialmente, mejora los procesos de compostaje debido a su bajo costo, fácil disponibilidad, suficiente contenido de nutrientes y una relación C/N ideal (Millati et al., 2019). Hay varios procedimientos disponibles para la eliminación de residuos basada en materiales o energía: incluyen, por ejemplo, compostaje, fermentación, esparcimiento directo en el campo o fermentación de metano con otros sustratos en plantas de biogás. El potencial de biomasa de los residuos agrícolas está prácticamente agotado. La mayoría de los desechos terminan en plantas de compostaje o fermentación y luego pueden reciclarse en forma de compost y digestivo sólido para la agricultura (FOEN, 2019).

2.1.1 Tipos de residuos agrícolas

a. *Estiércol de ganado*

De acuerdo con Iqbal et al. (2020) generalmente los tres tipos de animales más utilizados en la industria pecuaria son: ganado vacuno, porcino y aves de corral. Las tierras necesarias para el desarrollo de granjas de producción son de alrededor de 15,3 millones de hectáreas. Al mismo

tiempo, se generan alrededor de 120 millones de toneladas de estiércol en los sectores ganaderos al año.

b. Residuos agrícolas post cosecha

Para Iqbal et al. (2020) se consideran residuos primarios, en los que se encuentran principalmente paja, cáscara y tallos de cultivos plantados, que se generan después de la cosecha. Estos pueden ser utilizados en el forraje, mientras que una gran parte de ellos son quemados. Cabe recalcar que, estos residuos son ricos en fibras celulósicas.

c. Residuos agro industriales

De acuerdo con Iqbal et al. (2020) se trata de residuos agrícolas secundarios, según su categoría son producidos después del procesamiento de cultivos agrícolas en diversas formas de bioproductos. Estos incluyen cáscara, melaza, bagazo, cascotes, entre otros. Por otra parte, según Adejumo y Adebisi (2012) los residuos sólidos agrícolas no solo se limitan a la producción sino a otras actividades asociadas a la agricultura y la cadena alimentaria. Cada etapa y fase de la cadena agroalimentaria puede generar importantes residuos sólidos agrícolas. En la Tabla 1 se detalla esta clasificación.

Tabla 1. Clasificación de residuos sólidos agrícolas.

Residuos sólidos agrícolas	Ejemplo
De producción animal	Telas para camas, cadáveres de animales, comederos dañados y bebederos, estiércol etc
De procesamiento de alimentos y carne	Pezuñas, huesos, plumas, cáscaras de plátano, etc
De producción de cultivos	Residuos de cultivos, cáscaras, etc
Médicos	Uso de medicamentos, insecticidas o vacunas que se usan en animales o en cultivos
De producción hortícola	Podas y cortes de césped
Industriales	Producción de papel utilizando árboles
Químicos	Envases o botellas de pesticidas, insecticidas y herbicidas

Fuente: Adejumo (2020).

2.2 Estiércol de ganado

Debido a su contenido orgánico, se considera un subproducto valioso ya que sirve en la producción de hortalizas y cultivos urbanos (Correa & Grace, 2014). Las características del estiércol de ganado además de depender del tipo de animal, también depende de las prácticas de alimentación, reproducción y el modelo de gestión de residuos. Por esta razón se considera que la composición es variable, sin embargo, las características generales del estiércol son los altos valores de humedad y nitrógeno, así como una baja carga orgánica debido a que provienen de la digestión intestinal.

Pinos et al. (2012) manifiesta que cuando se produce digestión anaeróbica donde se utiliza estiércol como materia prima, elimina gases: metano 60%, mientras que el bióxido de carbono 39%, y los residuos de óxido nitroso 0,2%. El metano es un biogás, que contribuye al efecto invernadero. Sin embargo, Whalen et al. (2019) manifiesta que el estiércol funciona como biomasa residual, para reducir el cambio climático. El estiércol, proporciona nutrientes a los cultivos y así mitigar la contaminación a través de su apoyo al crecimiento de las plantas (Loyon, 2018)

Para Nhaom et al. (2017) las ventajas del uso del estiércol es que respalda la productividad de los cultivos, mantienen la fertilidad de los suelos y reciclan los nutrientes disponibles. En las regiones templadas frías y húmedas, de conformidad con los principios de agricultura sostenible, el estiércol es un excelente fertilizante pues proporciona el nitrógeno disponible en forma de amonio para las plantas y la mineralización de nitrógeno orgánico según las demandas del cultivo. Sin embargo, según Sharifi et al. (2014) la aplicación directa y en exceso de estiércol a largo plazo puede aumentar la cantidad de nitrógeno del suelo por encima de los límites, y puede exceder la capacidad del suelo para retener el nitrógeno del estiércol, generando problemas ambientales y en los cultivos.

2.2.1 Características fisicoquímicas

El estiércol es un material heterogéneo y es necesario que sus propiedades fisicoquímicas se determinen antes de aplicar a los suelos agrícolas, ya que la forma física es decir líquido, semisólido o sólido y la composición química, determina la concentración de NH_4^+ y el contenido de nitrógeno orgánico. Sin embargo, no solo contiene nitrógeno, sino que también contiene un porcentaje de lignina, macro y micronutrientes que son fundamentales en el crecimiento de los cultivos. Los nutrientes más importantes para los cultivos, además del nitrógeno, son el fósforo y el potasio (Azim, 2018).

2.3 Compostaje

Se define como la transformación biológica que permite la disminución de la materia orgánica para obtener un material más estable que pueda ser utilizado como fertilizante orgánico (Azim, 2018; Lobo & Dorta, 2019). El compost, se obtiene naturalmente por la vía aerobia, es decir que en presencia de oxígeno se descomponen los residuos orgánicos como purines, restos vegetales, excrementos y animales. Según lo descrito por la Universidad de Murcia (2020) este proceso se da gracias a la actividad microbiana principalmente que provienen de bacterias aerobias termófilas, y se pueden encontrar en cualquier lugar en el ambiente. Una vez concluida la fermentación de bacterias aerobias, continúan con el proceso otras especies entre las que se distinguen hongos, actinomicetos, y bacterias. El compostaje también se trata de un ciclo aerobio de degradación de biomasa, que requiere una alta cantidad de oxígeno. Es necesario que las condiciones del proceso de compostaje sean óptimas, por ejemplo, la humedad, la temperatura y la aireación, tienen que ser adecuados para que se obtenga una mejor calidad de compost (Azim, 2018).

Desde una perspectiva biológica, el compostaje es un proceso realizado por diferentes microbios que a través de metabolitos secundarios y en presencia de oxígeno utilizan compuestos como el carbono y nitrógeno para transformar en biomasa. Es un proceso exotérmico ya que los microbios producen calor y un sustrato sólido, con una menor proporción de carbono y nitrógeno. El compostaje acelera la fermentación bioaeróbica de la materia orgánica involucrando que se forme humus, permitiendo un producto estable como lo es el compost (Azim, 2018). La intensidad de la actividad microbiana, principalmente bacterias, hongos y protozoos, varía durante el proceso de compostaje; esto depende de la temperatura, contenido o concentración de humedad, relación de C/N y naturaleza de los materiales orgánicos frescos (Azim, 2018). Sin embargo, de acuerdo con Laca et al. (2011) parte del procedimiento del compostaje se lleva a cabo en condiciones termófilas, mayores a 50 °C.

El compostaje da como resultado un conjunto de materia orgánica estable, incluida la eliminación de patógenos de plantas y animales; además, las diferentes concentraciones entre ellos los nutrientes, micronutrientes y metales, y algunos cambios adicionales en sus formas químicas. Los nutrientes estarán biodisponibles para las plantas dependiendo del desarrollo de compostaje. Para Rynk et al. (2022) el compostaje ofrece una variedad de beneficios económicos y ambientales. En la Tabla 2 se detalla los tipos de materia prima, la utilidad del producto final y características de control.

Tabla 2. *Materia prima para realizar compostaje.*

Materia prima	Uso del producto final	Comentarios
Residuos sólidos urbanos	Enmienda del suelo, viveros forestales	Requiere un estricto control de metales pesados
Lodos de depuradora	Enmienda del suelo, viveros forestales	Requiere un control estricto de metales pesados y patógenos humanos
Desechos de jardín	Enmienda del suelo, medios sin suelo	Largo proceso de estabilización
Excrementos de animales	Enmienda del suelo, medios sin suelo	Requiere control estricto de patógenos zoonóticos
Residuos de plantas (p. ej., paja de trigo, podas de árboles frutales y plantas de tomate)	Enmienda del suelo, medios sin suelo	Requiere un control estricto de las semillas de malas hierbas; muy eficaz contra las enfermedades transmitidas por el suelo
Residuos agroindustriales (p. ej., mazorcas de maíz, cáscaras de arroz, orujo de uva, residuos de cervecería, residuos de almazara y residuos de matadero)	Enmienda del suelo, medios sin suelo	Materiales muy diversos, cada uno requiere un tratamiento especial
Residuos de madera	Medios sin suelo, viveros forestales	Proceso de estabilización muy largo; muy eficaz contra las enfermedades transmitidas por el suelo

Fuente: Laca et al. (2011).

Según Laca et al. (2011) la finalidad del compostaje es: eliminar la fitotoxicidad, exterminar patógenos y semillas de malas hierbas, y estabilizar el material con respecto a la demanda de nitrógeno y oxígeno, para impedir la competencia microbiana por estos elementos con las raíces de las plantas. Al respecto, Rynk et al. (2022) exterioriza que el compost maduro se puede utilizar para acondicionar el suelo y como componente de un medio de cultivo sin suelo.

2.3.1 Clasificación de sistemas de compostaje

El control del desarrollo del compostaje implica factores interrelacionados de producción de calor, temperatura, ventilación y eliminación de agua. Estas relaciones se han tenido en cuenta en diferentes sistemas de compostaje, mediante la utilización de equipos para aportar O₂ a la masa compostable mediante aireación. La Tabla 3 indica la clasificación de los sistemas de compostaje.

Tabla 3. Clasificación de sistemas de compostaje.

Técnica de compostaje	Sistema de compostaje	Características
Sistemas abiertos de compostaje (sin reactores)	Pila estática	Ventilación natural aireación pasiva con efecto chimenea; aireación forzada con succión o soplado en hileras o en silos
	Pila volteada	Ventilación natural y volteo mecánico, en silos de pasillo, en hileras o en pilas
Sistemas de compostaje cerrados que funcionan de forma continua o periódica con aireación forzada (compostaje en recipientes o reactor)	Reactores de flujo vertical	Reactores de lecho agitado en movimiento; y sistemas de lecho empacado en movimiento
	Reactores de flujo horizontal	Tambores rotativos; contenedores de cama agitados; y lecho de sólidos agitados

Fuente: Bernal et al. (2017).

2.3.2 Fases del compostaje

Hay dos fases en el desarrollo de compostaje como se evidencia:

1. La primera fase es caracterizada por la actividad microbiana, aquí se descompone la mayoría de material biodegradable y por lo tanto se estabiliza la materia orgánica.
2. En la segunda fase se convierte una parte de la materia orgánica restante en sustancias húmicas. La humificación es un indicador principal que permite la identificación de calidad del compost, por las sustancias húmicas y su importancia en la ecología, fertilidad y estructura del suelo (Harrison, 2008).

Durante la primera fase o fase de descomposición se compone de tres etapas: mesófila, termófila y enfriamiento (Loyon, 2018). Aquí se genera la ruptura de la materia orgánica tanto simple

como compleja. Por otro lado, según Stamatelatou (2011) en la segunda fase o fase de humificación es la fase de maduración donde la materia se reorganiza en moléculas más estables.

- En la etapa mesófila, la temperatura de la pila crece lentamente conforme la temperatura ambiente hasta alcanzar la temperatura promedio de esta etapa, que es de aproximadamente 40 °C. El pH disminuye debido a los ácidos orgánicos liberados de los carbohidratos y lípidos degradados por los microorganismos. A partir de los 40 °C, los microorganismos denominados mesófilos son sustituidos gradualmente por microorganismos termófilos (bacterias, hongos y actinomicetos) (Azim, 2018).
- La etapa termófila se caracteriza por una temperatura generalmente entre 50 y 60 °C. Esta etapa involucra a muchos hongos termofílicos, el pH aumenta porque los microorganismos degradan las proteínas y liberan amoníaco. Por encima de los 60 °C, la disminución del material orgánico se ralentiza, y después de los 70 °C, sólo las enzimas liberadas en la etapa anterior siguen contribuyendo a la degradación.
- Durante la etapa de enfriamiento, el material tiende a estabilizarse y se restablecen los organismos mesófilos. La maduración se realiza a temperatura ambiente, bajo los microorganismos mesófilos (bacterias y hongos). En esta fase aparece la micro y macrofauna. Se desarrollan relaciones de antagonismo y depredación entre organismos. Los antibióticos se sintetizan en cantidades apreciables (Azim, 2018).
- Finalmente, la liberación de calor y la pérdida de peso siguen siendo bajas, durante la fase de maduración, ocurren reacciones secundarias de polimerización y concentración, que conducen a la formación de humus con ácidos húmicos, particularmente resistentes a la degradación (Azim, 2018).

2.3.3 Compost

El compost o composta, se conoce también como abono orgánico o natural, es el efecto de la transformación de la materia orgánica a través del compostaje. Por otra parte, el grado superior de descomposición se denomina humus. El humus sobrepasa al compost en cuanto abono, sin embargo, los dos son considerados orgánicos. De acuerdo con Rynk et al. (2022) la desintegración de la materia orgánica puede ser por vía aerobia o anaerobia. Además, para la Universidad de Murcia (2020) “El compost se usa en agricultura y jardinería como enmienda para el suelo, aunque también se usa en paisajismo, control de la erosión, recubrimientos y recuperación de suelos”.

Los principales impactos positivos ampliamente demostrados de la enmienda del compost al suelo incluyen mejorar la labranza del suelo, capacidad de retención del agua, la forma y la supresión de enfermedades. Aunque contienen todos los nutrientes necesarios para las plantas en alguna concentración, la mayoría de los compost generalmente no se consideran fertilizantes para suelos pobres en nutrientes a menos que se agreguen nutrientes adicionales en una forma más disponible para las plantas. (Harrison, 2008).

Los diferentes beneficios derivados en la aplicación del compost al suelo pueden ser de naturaleza biológica, química y física. Principalmente, el compost mejora en gran medida la eficacia

microbiana del suelo y la biodiversidad, generando que el ciclo de nutrientes se acelere. Otro efecto biológico es que tiene un efecto supresor contra los padecimientos transmitidos por el suelo. Contienen cantidades significativas de nutrientes fundamentales para el crecimiento de las plantas y poseen un evidente resultado positivo en varias propiedades físicas del suelo. Los ejemplos de estos beneficios más distintivos incluyen:

- El aumento de la capacidad de retención de agua, lo que conduce a una mayor productividad en el uso del agua por parte de las plantas.
- Mejora la estabilidad de los agregados, que permite a una mejor aireación y conductividad hidráulica.

De acuerdo con Mohanty et al. (2011) debido a estos beneficios, la aplicación de compost es una práctica especialmente usual en la agricultura orgánica.

2.4 Parámetros del compostaje

Existen varios parámetros de compostaje, tales como: la relación carbono-nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico, actividad microbiana, cantidad de nitrógeno orgánico, contenido de sustancias húmicas, materia orgánica disuelta, índice de germinación, concentración de carbono soluble en agua del compost y proporciones de NH_4^+N y NO_3^-N (Azim, 2018). La mayoría de ellos están bien estudiados, sin embargo, recientemente se han desarrollado nuevos parámetros de seguimiento para describir mejor el nivel exacto de biodegradación. Se ha propuesto una clasificación de parámetros conforme avanza el compostaje. En la tabla 4 se puede observar los parámetros más importantes de inicio, los parámetros de monitoreo y de calidad del compost.

Tabla 4. *Parámetros de compostaje.*

Parámetros iniciales	Parámetros de monitoreo	Parámetros de calidad del compost
Relación C/N	Temperatura de pila	Relación CN
Humedad	BOD consumo de O_2	Salinidad
Densidad	Actividad enzimática	Sustancias húmicas
Porosidad	Carbono orgánico	Contenido de nitrógeno
Emisión de gases CO_2 , CH_4 , N_2O		

Fuente: (Azim, 2018).

2.4.1 Parámetros iniciales

Según Stamatelatou et al. (2011) las condiciones iniciales son esenciales para lograr un compostaje efectivo. Esto incluye el equilibrio adecuado de nutrientes, la humedad y la aireación. La cantidad de humedad es fundamental ya que es el ambiente principal de actividad microbiana se encuentra en la película fina de agua sobre la superficie de las partículas. El balance de nutrientes esta dado por la relación C/N considerado importante en todo el transcurso del compostaje, por esta razón se hablará de ello con detalle más adelante

a. Relación Carbono/Nitrógeno

La relación C/N del material de origen es una variable importante en el compostaje, siendo el rango deseado de 25-35. La mayoría de las materias primas para realizar compostaje varía entre ese rango, esto permite a los operadores de compostaje alcanzar valores óptimos sin necesidad de comprar costosos insumos externos. Por ejemplo, los desechos de jardín tienen una relación C/N de 45–50 y se pueden combinar con estiércol de aves que tiene una relación C/N aproximadamente de 10, y de esta forma obtener un material de partida satisfactorio. La relación C/N baja durante el compostaje a medida que el CO₂ se libera y, generalmente, se busca un valor final en el rango de 15 a 20. La mezcla de materia prima para el compostaje mejorara la relación C/N, además de permitir una inoculación más rápida de materiales que tienen baja diversidad microbiana (Harrison, 2008).

De acuerdo con Hubbe et al. (2010) los microorganismos, como las bacterias y hongos son conocidos por utilizar alrededor de 30 partes de celulosa por cada parte de nitrógeno en un proceso de descomposición. Por esta razón proporción de Carbono/Nitrógeno en un proceso de compostaje posee una importancia particular. El carbono funciona como fuente de energía y es un componente elemental para los microorganismos. Por otra parte, el nitrógeno es esencial para la asimilación de proteínas, ácidos nucleicos y aminoácidos. Durante las fases activas de la fermentación aerobia en el compostaje, los microorganismos son capaces de consumir de 15 a 30 veces más carbono que nitrógeno. Se ha comprobado que el tiempo de compostaje se alarga en la medida en que la relación C/N inicial es mayor. Debido a que el carbono es recalcitrante, resulta difícil al degradar, por lo que el compost de residuos vegetales y madera tarda más tiempo en madurar, que un compost de residuos domésticos (Azim, 2018).

La relación C/N ideal para asegurar la ingesta de energía de carbono es de alrededor de 30 y permite el rápido crecimiento de los microorganismos. Cuando el valor de la relación C/N inicial es superior a 35, los microorganismos pasan por los ciclos de vida con el objetivo de oxidar el exceso de carbono. En este caso, la tasa de fermentación aeróbica está controlada por la existencia de nitrógeno. Cuando la relación C/N inicial es alta durante la fase de fermentación aeróbica, los sustratos orgánicos pierden más rápidamente carbono (metabolizado y liberado como dióxido de carbono) que su nitrógeno (metabolizado y perdido como una pequeña parte de nitrógeno volátil) (Nuzir, Hayashi, & Takakura, 2019). En conclusión:

- Si la relación C/N es alta, tomará mucho más tiempo que el compost madure.
- Si la relación C/N es baja, las pérdidas de nitrógeno a la atmósfera son mayores.

Hay que mencionar, además, que la relación C/N es un indicador crucial tanto como parámetro inicial como al final en el control de calidad. De hecho, se ha demostrado que el material con baja relación C/N, que no completa con éxito el proceso de compostaje puede provocar fitotoxicidad. Esto se debe a la conversión de amonio en amoniaco, en condiciones cálidas y húmedas, lo que crea un entorno tóxico para el desarrollo de las plantas y produce malos olores. De manera similar para Mohanty et al. (2011) el compost que no ha madurado completamente contiene

sustancias químicas volátiles inestables, como: ácidos orgánicos los cuales se los puede considerar tóxicos para las semillas y plantas.

Por otro lado, la modificación de un material con una alta relación C/N puede conducir a un bloqueo biológico de nitrógeno. Esto ocurre si la materia prima es mucho más rica en carbono que en nitrógeno. Cuando se utiliza este tipo de compostaje, usualmente los microorganismos utilizan rápidamente el carbono presente en el material, aumentando el consumo de N y debilitando las provisiones de N. Por lo tanto, según Stamatelatou et al. (2011) la calidad del compost producido depende altamente del nivel de la relación C/N inicial y de la calidad de sus componentes dentro de la mezcla. La Tabla 5 indica los valores de la relación C/N de diferentes materias primas.

Tabla 5. Valores de relación C/N de distintas materias primas orgánicas.

Materias primas	Humedad %	Sólidos Totales %	Carbono % (Seco)	Nitrógeno % (Seco)	Relación C/N
Vacunos	79	21	32	1,5	21
Ovinos	73	27	60	3,7	16
Equinos (caballos, mulas, bueyes)	75	25	47	2,4	20
Porcinos	69	31	73	2,6	28
Gallinazas	44	56	70,2	5,85	12
Auquénidos	57	43	42	3,7	11
Cuyes	32	68	37,2	2,22	17
Conejos	20	80	47,2	2,02	23
Chala de maíz	15	85	39	0,7	56
Paja de arroz	8	92	41,2	0,7	59
Paja de cebada	7	93	42	0,88	48
Paja de trigo	8	92	46	0,53	87
Totorales	35	65	41	0,23	178
Hojas de plátano	89	11	42	1,1	38
Pastos	67	33	40	2,52	16
Hierbas y hojas secas	50	50	41	1	41

Fuente: (Azim, 2018).

2.4.2 Parámetros de monitoreo

Es necesario tomar en cuenta los parámetros que se necesitan para el correcto desarrollo microbiológico, estos factores incluyen: la temperatura, el pH, la relación C/N, el oxígeno o la ventilación y la humedad del sustrato. “El compostaje depende en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar. Sin embargo, deben estar bajo vigilancia constante para estar siempre dentro de un rango óptimo” (Azim, 2018).

2.4.3 Parámetros de calidad

La calidad del compost es difícil de definir; coexisten dos enfoques para describir la calidad del compost: El primero es la noción de transformación de la materia orgánica inicial inestable en materia orgánica estable cuando finaliza el compostaje. La estabilidad del compost se estima por la biodegradabilidad de los materiales orgánicos y su estado de humificación. El segundo enfoque considera los efectos del compost sobre las plantas. El grado de madurez, en este caso, se encuentra ligado a la ausencia de daños en las plantas por el uso de compost. De hecho, la enmienda de compost inmaduro en un suelo tiene efectos negativos sobre la germinación, desarrollo y crecimiento de las plantas. En este contexto, el mejor indicador de madurez del compost sigue siendo su fitotoxicidad (Azim, 2018).

2.5 Método Takakura

El método de compostaje Takakura TCM, es un innovador modelo de compost que utiliza microorganismos fermentativos los cuales tienen la capacidad de descomponer desechos orgánicos en un periodo corto. Según Nuzir et al. (2019) el lecho de fermentación está formado por estos microorganismos que se obtienen principalmente de alimentos fermentados como el yogur, frijoles fermentados, cáscara de frutas y verduras. Este método fue desarrollado por primera vez en la ciudad Kitakyushu, Japón, y desde entonces ha sido difundido a todo el mundo.

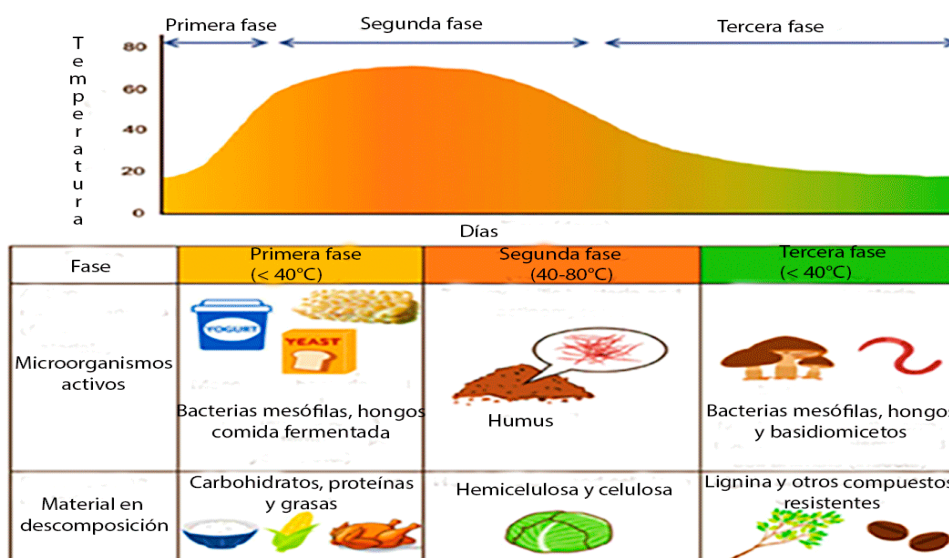
Lo que caracteriza al método Takakura es que tiene la capacidad de agilizar la degradación normal de los desechos orgánicos en abono de calidad y sin producir olores, por lo que puede aplicarse en el sector urbano sin ningún problema. Esta sería la principal diferencia entre un compostaje normal y el método Takakura, ya que tiene un mayor potencial debido a que puede ser completado en un tiempo más corto, generalmente pueden ser una o dos semanas, a comparación los métodos de compostaje tradicionales, que puede durar meses. Otra de las ventajas de utilizar este método Takakura, es que requiere de espacios reducidos para su elaboración, por lo tanto, requiere un menor espacio físico para las pilas de compost, lo que reduce los costos, convirtiéndose en un método más económico. Además, se considera que es de bajo costo ya que se utiliza materiales y recursos locales, poco sofisticados tecnológicamente y menor mano de obra (Nuzir et al., 2019). En el método Takakura se caracteriza por el manejo de: la microbiota, la humedad y la cantidad de oxígeno.

2.5.1 Microorganismos de fermentación

Naturalmente, los microorganismos se clasifican en: aerobios y anaerobios. Dependiendo del tipo de materia orgánica, es necesario la actividad de varios tipos de microorganismos de fermentación para completar los procesos de descomposición. En las diferentes etapas de compostaje se activan distintos microorganismos y es importante que la pila de compost tenga la carga bacteriana necesaria, así como las condiciones idóneas para la evolución cada proceso (Hibino et al., 2020; Nuzir et al., 2019).

Los microorganismos del método Takakura se obtiene de alimentos fermentados como el vino, queso, levadura, yogurt, entre otros. Principalmente se obtienen los microorganismos de la hojarasca, hongos y moho del bosque; debido a que cada uno tienen la capacidad de descomponer distintos tipos de materia orgánica; por ejemplo: los alimentos fermentados contienen microorganismos capaces de metabolizar carbohidratos, proteínas y grasas, por el contrario, los microorganismos que se obtienen del monte metabolizan materiales más complejos como fibras, ligninas que son más difíciles de degradar. El método Takakura utiliza principalmente microorganismos aerobios, por tal razón no produce malos olores (Honobe, 2013). En la Figura 1 indica como los microorganismos actúan en cada fase del compostaje Takakura.

Figura 1. Activación de microorganismos en las diferentes etapas de compostaje por el método Takakura.



Fuente: (Hibino et al., 2020).

2.5.2 Oxígeno

Existen dos tipos de fermentación microbiana: la primera es la fermentación que necesitan presencia de oxígeno para descomponer los desechos orgánicos, y se facilita gracias a las bacterias aerobias o anaerobias facultativas; la segunda se trata de la fermentación que no necesita oxígeno para la descomposición, en este caso es dado por bacterias anaerobias o anaerobias facultativas.

En presencia de oxígeno, la fermentación aerobia descompone rápidamente los residuos orgánicos, generalmente va acompañado de calor que acelera aún más el proceso de descomposición. Por otra parte, la actividad de las bacterias es más lenta en ausencia de oxígeno, y produce diversas sustancias a través de la fermentación anaerobia; este tipo de fermentación produce mal olor. Por esta razón, en el método Takakura, es fundamental la agitación diaria para proporcionar suficiente oxígeno dentro del compost. La elaboración correcta de la pila de compost es significativo para mejorar la descomposición de los desechos y así evitar malos olores (Honobe, 2013; Nuzir et al., 2019).

2.5.3 Humedad

Las bacterias aeróbicas necesitan humedad para metabolizar activamente la materia orgánica; el contenido de humedad adecuado es del 40 al 60%. El mantener un nivel correcto de humedad favorece a la descomposición y evita el mal olor. Si la humedad es limitada, es decir, demasiado seca, retrasa la descomposición, mientras que, si existe un exceso de humedad, cambia el ambiente dentro del compost a condiciones anaerobias, lo que genera mal olor (Honobe, 2013).

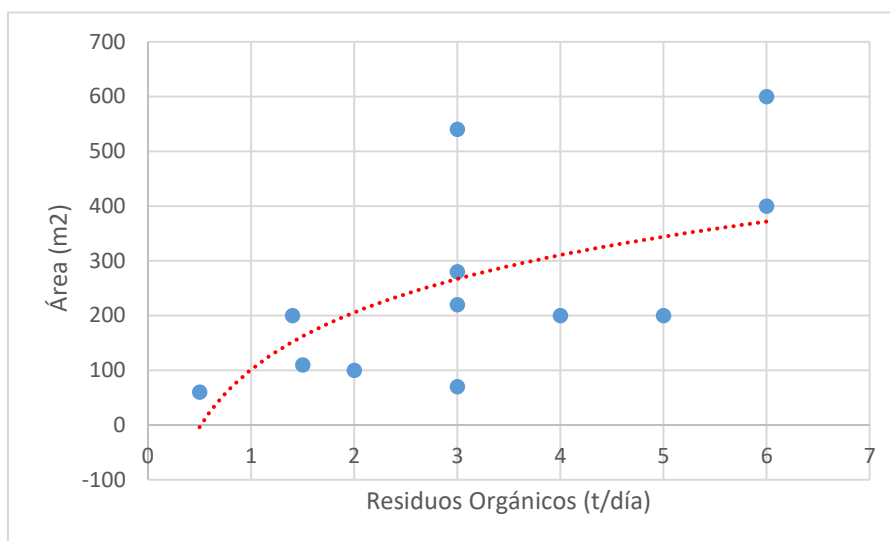
2.5.4 Instalaciones y equipos

Para las instalaciones y equipos se toma en cuenta lo siguiente:

a. Requerimiento de espacio

El espacio para el compostaje que utiliza el método Takakura varía según la cantidad de entrada diaria de desechos orgánicos y los tipos de método de apilamiento. Según la literatura el espacio para los centros de compostaje era de 100m² por tonelada/día de entrada de desechos orgánicos (Figura 2). Si el espacio es más grande, puede facilitar la entrada de una mayor cantidad de desechos orgánicos. En general, un mayor espacio facilita la operación del compostaje (Hibino et al., 2020; Nuzir et al., 2019).

Figura 2. Relación área y cantidad de descomposición de materia orgánica.



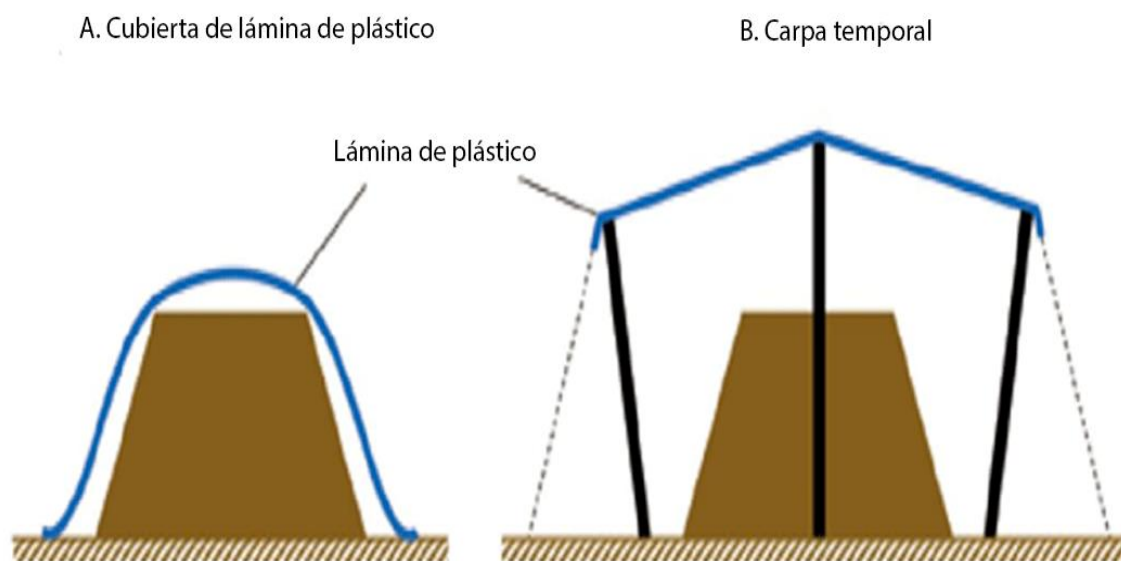
Fuente: (Hibino et al., 2020).

b. Instalaciones

Las instalaciones deben diseñarse no solo en servicio de la cantidad de materia orgánica que ingresa, sino también desde una perspectiva operativa, especialmente que permita controlar la humedad y la aireación de los lechos de compost (Figura 3). En el caso de que no existan instalaciones con un techo, se puede cubrir la cama de compostaje con una lámina de plástico, siempre y cuando la cantidad de desechos orgánicos que ingresan a diario es menor de 100kg/día. Otra opción es construir una carpa temporal, esto facilita la operación y mejorara la ventilación de

los lechos de compost, permitiendo acomodar mayores cantidades de desechos orgánicos, alrededor de 500kg/día (Hibino et al., 2020).

Figura 3. Método de instalación de la pila de compost.



Fuente: (Hibino et al., 2020).

2.5.5 Lecho de fermentación

El lecho es una mezcla específica que nutre varios tipos de microorganismos de fermentación que aligera la putrefacción de la materia orgánica, que funciona como un promotor para el desarrollo de compostaje. Este lecho de compost se puede utilizar de manera indefinida bajo las condiciones adecuadas (Al-khadher et al., 2021; Nuzir et al., 2019).

a. Materiales del lecho de fermentación

En el método Takakura, el lecho de compost se realiza a partir de alimentos de fermentación disponibles localmente y otros materiales que se caracterizan por ser económicos y muy fáciles de obtener. Estos materiales se seleccionan en tomando en cuenta sus funciones principales:

- **Materiales que proporcionan nutrientes:** Son aquellos que permiten la proliferación de los microorganismos fermentadores. Pueden ser salvado de arroz, y harinas como la de trigo, y maíz, etc. En general cualquier fuente de carbono para la microbiota del compost.
- **Materiales que proporcionan el hábitat:** Para que se lleve a cabo la fermentación por parte de los microorganismos es fundamental el espacio para mejorar la ventilación, es decir proporcionar oxígeno. Para ello se utiliza, cáscara de arroz, hojas caídas, astillas de madera, etc.
- **Materiales que mejoran la descomposición:** Estos materiales son no perecederos y resistentes, como desechos de jardín, hojarasca con hongos blancos, tierra de humus, entre otros (Dewilda, Aziz, & Handayani, 2019).

De igual manera, en la tabla 6 se puede observar ejemplos y funciones de materiales de compostaje según el método Takakura:

Tabla 6. Ejemplos y funciones de materiales de compostaje según el método Takakura.

Material	Material	Aporte
Nutrientes	Azúcar morena	Proteína descompuesta, grasas y carbohidratos
	Yogurt	Proteína y azúcar
	Arrocillo	Rico en minerales
	Levadura	Descompone el azúcar
Acelera la descomposición	Hongos	Descomponen lignina
	Fungi	Descompone celulosa
	Humus	Contiene bacterias
Hábitat	Cáscara de arroz	Mejora la aireación
	Aserrín	

Fuente: (Hibino et al., 2020)

2.6 Base legal

De acuerdo a la Constitución de la República del Ecuador (2008) en su artículo 14 se busca “reconocer el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y el equilibrio ecológico para garantizar la sostenibilidad y el buen vivir”. De igual manera, en su artículo 15 en donde el Estado promoverá “usar tecnologías ambientalmente limpias y fuentes de tipo no contaminantes y de bajo impacto en los sectores público y privado”. Dentro del artículo 71 se observa que la naturaleza tiene derecho a que se respete plenamente su existencia, mantenimiento y regenerando su ciclo de vida. Además, el artículo 415 manifiesta que “los gobiernos tienen la obligación de realizar programas relacionados con el uso adecuado del agua, reciclaje y disposición de desechos sólidos”.

Por otro lado, dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 (2017) en su objetivo tres, relacionado con salvaguardar los derechos de la naturaleza y el espacio de las futuras generaciones. Así mismo, dentro de la política 3.4. se establece la promoción de buenas prácticas que contribuyan a la reducción de la contaminación, protección, mitigación y establece el fomentar la producción y el consumo responsable con el medio ambiente, impulsar el reciclaje y combatir la contaminación en base a los principios de la economía circular y la bioeconomía.

Además, el Código Orgánico del Ambiente (2018) dentro de su artículo 9 establece que, los principios ambientales contenidos en este código forman la base conceptual de todas las decisiones y actividades públicas o privadas de las personas, comunas, comunidades, pueblos, naciones y grupos, de conformidad con los principios ambientales consagrados en la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado, que están relacionados con la protección del medio ambiente, el uso y la gestión sostenible. Además, dentro del art. 224 menciona que, “se protege la gestión integral de residuos, con el objetivo de contribuir al desarrollo sostenible a través

de una serie de políticas intersectoriales y nacionales en todos los ámbitos de la gestión, basadas en los principios y disposiciones de un único sistema de gestión ambiental”.

De manera similar, dentro del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (2019) en el art. 593 establece que los residuos orgánicos generados por las entidades federativas, incluidos los residuos provenientes de la limpieza y poda de vegetación en lugares públicos, deberán ser aprovechados mediante el método alternativo más apropiado de acuerdo a la situación real y serán incluidos en el plan de manejo urbano integral de residuos y residuos sólidos desarrollado por el Gobierno. Los componentes antes mencionados de un programa de gestión urbana integrada de residuos y residuos sólidos no peligrosos deben facilitar las actividades de reciclaje al priorizar el reciclaje inclusivo de acuerdo con las prácticas y necesidades estatales.

En relación a los límites máximos permisibles de la calidad del compost, se observa que, la Norma Mexicana; NMX-AA-180-SCFI-2018 (2018) establece dentro de los valores promedios:

Tabla 7. Características de la composta terminada.

Parámetro	Valor
Humedad	25% - 45% en peso
pH	6.7 – 8.5
Conductividad eléctrica	0.5 dS/m - 12 dS/m
Materia orgánica	≥ 20% MS
Carbono orgánico total	Mínimo 10% ^a
Nitrógeno total	1% – 3% MS
Relación C/N	15 – 25
Granulometría	≤ 30 mm
Fitotoxicidad (Índice de Germinación, IG)	IG ≥ 80%
Temperatura	25 °C – 50 °C
Color	Marrón o pardo oscuro. Similar al café o chocolate oscuro
Olor	Agradable a tierra húmeda de bosque (monte). Quedan excluidos: amoniacal, pudrición, H ₂ S (huevo podrido), ácidos grasos volátiles (vómito) y excremento
Adsorción de humedad	75% - 200%, Preferencial ≥ 100 %

Fuente: Comité Técnica de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018).

Por otro lado, según el Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos Municipales (2020), se identificó que, dentro de los parámetros del proceso para composta, se encuentran:

- Temperatura: “en la etapa de temperatura media (mesófila) la temperatura debe llegar hasta los 45°C, en la etapa de temperatura alta (termófila) hasta los 75°C y finalmente, en la etapa de enfriamiento (mesófila): de nuevo la temperatura debe bajar hasta los 45°C”.
- Humedad: debe estar entre 50% y 70%.
- Potencial Hidrógeno (pH): “es un indicador de acidez, en la fase de crecimiento: etapa mesófila, el pH baja porque se producen ácidos a partir de los residuos; en la etapa termófila el pH aumenta por la formación de amoníaco. En la fase de maduración, el pH debería estar entre 7 y 8, indicando la formación de humus. Si es más bajo de 7, el proceso no es adecuado”.
- Relaciones carbono/nitrógeno (C/N). Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de carbono por cada una de nitrógeno; por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25:1 a 35:1.
- Microorganismos Entre los microorganismos presentes en el proceso de compostaje están bacilos Gram (+) durante todo el proceso con sus formas de resistencia en la etapa termofílica, con mayor cantidad de bacterias que hongos para la degradación de almidón y lípidos, mientras que la hidrólisis de celulosa es realizada en su mayoría por hongos.

Por otro lado, de acuerdo a la Normativa Chilena NCh 2880 (2004) establece las concentraciones máximas en miligramos sobre kilogramos de compost:

Tabla 8. *Concentraciones máximas de metales pesados en compost.*

Metal pesado	Concentración máxima en mg/kgde compost (base seca)¹⁾
Arsénico	20
Cadmio	8
Cobre	1 000
Cromo	600
Mercurio	4
Níquel	80
Plomo	300
Zinc	2 000

Fuente: Normativa Chilena 2880 (2004).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la zona de estudio

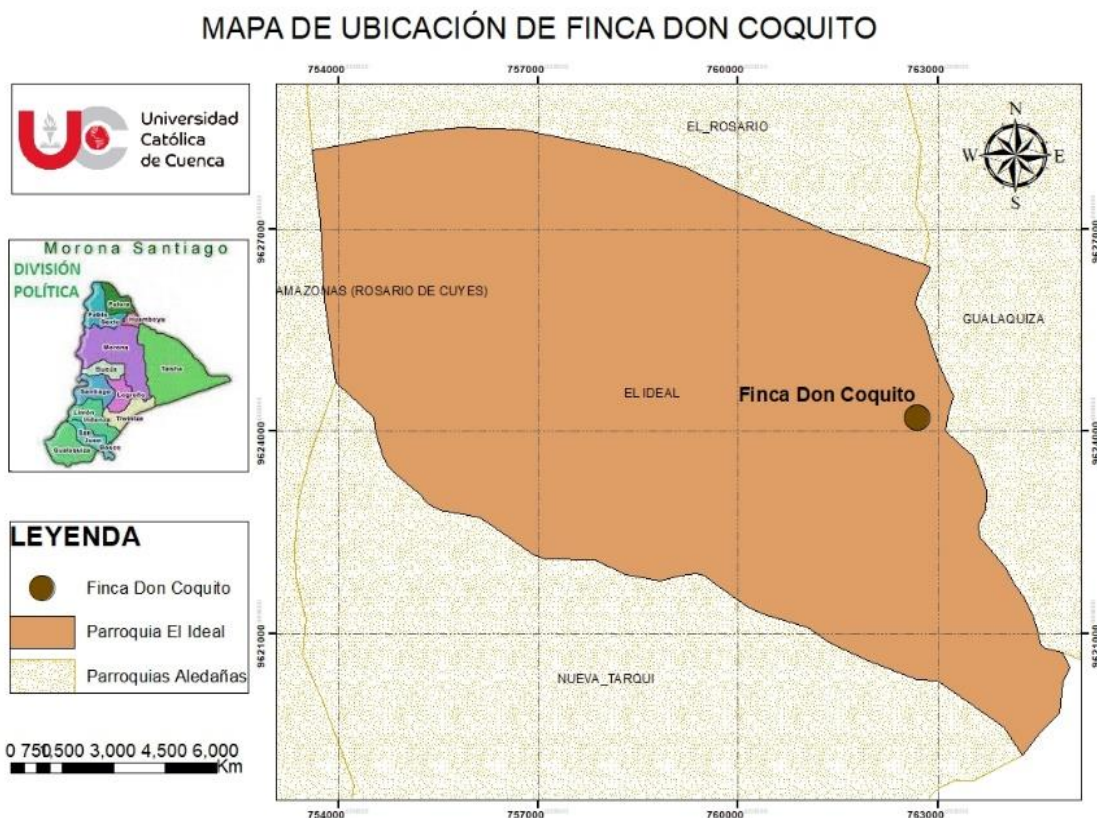
Esta investigación tuvo lugar en el sector Guabi Bajo, cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago a una altura de 850 m s.n.m. La materia orgánica fue obtenida de las diferentes actividades agropecuarias que se realizaron en Finca “Don Coquito” (Figura 4).

3.1.1 Coordenadas y límites

Geográficamente se ubicó en las coordenadas X: -3.377030 / Y:-78.683121. Como se muestra en la Figura 4, el sector Guabi Bajo perteneciente a la parroquia El Ideal limita con:

- Norte: parroquia Rosario
- Sur: parroquia Nueva Tarqui
- Este: parroquia Gualaquiza
- Oeste: parroquia Nueva Tarqui y Amazonas

Figura 4. Ubicación de la zona de estudio “Finca Don Coquito”.



En la Figura 4 se evidenció la ubicación de la Finca Don Coquito en la parroquia El Ideal. En esta comunidad la mayor parte de los moradores se ocupa en actividades primarias como: agricultura, ganadería y agroturismo.

3.1.2 Características climáticas

Para las características climáticas se tomó como referencia los datos provenientes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2023), donde se destacaron las siguientes características climáticas:

a. *Temperatura*

El período templado dura 2,9 meses y la media con una temperatura de 28°C. El mes de noviembre es más cálido con una media de 29°C y su temperatura mínima es de 19°C (INAMHI, 2023).

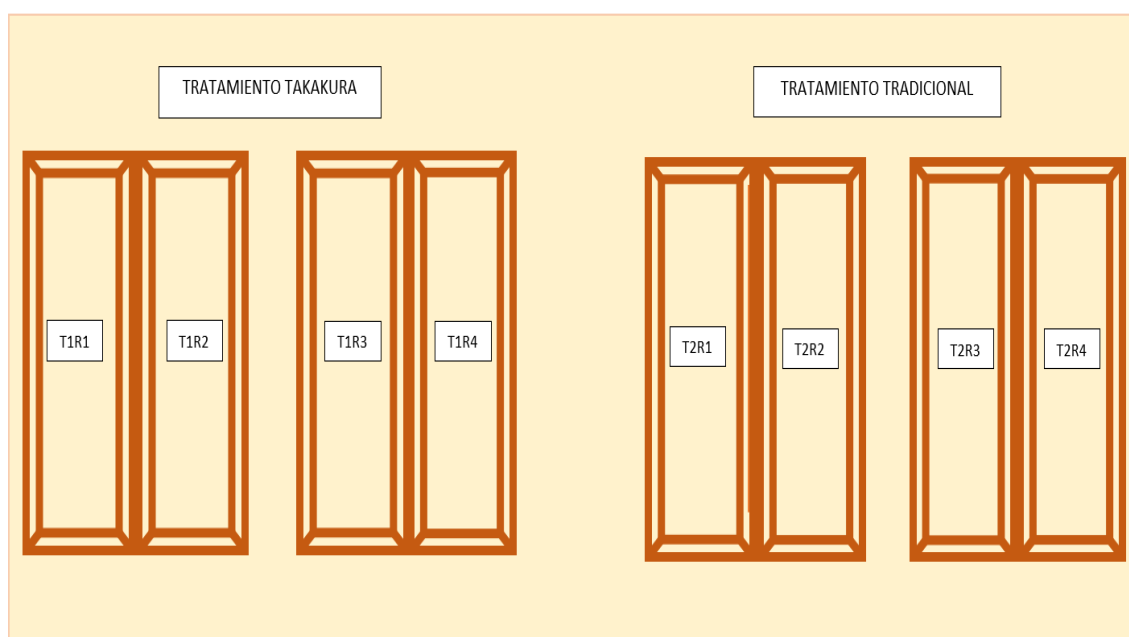
b. *Precipitación*

La precipitación de los días mojados en Gualaquiza varía durante el año. El mes con mayor precipitación es marzo con 157mm, mientras que el mes más seco es agosto con 35mm (INAMHI, 2023).

3.2 Diseño experimental para la elaboración del compost

De acuerdo con Hernández y Mendoza (2018) el método experimental se define como aquella metodología en donde el investigador o autor, para los fines del estudio, manipula una o más variables, para controlar el resultado obtenido y las conductas desarrolladas a partir de los procedimientos. En el caso específico de la investigación, se establecieron dos tratamientos con cuatro repeticiones respectivamente, con un total de 8 unidades analizadas como se representa en la Figura 5. En este trabajo se utilizó un diseño de bloques completamente al azar DBCA. El tratamiento 1 (T1) corresponde a la elaboración de compost utilizando el método Takakura, mientras que el tratamiento 2 (T2) corresponde al método tradicional para realizar compost.

Figura 5. *Diseño experimental DBCA de las pilas del compost.*



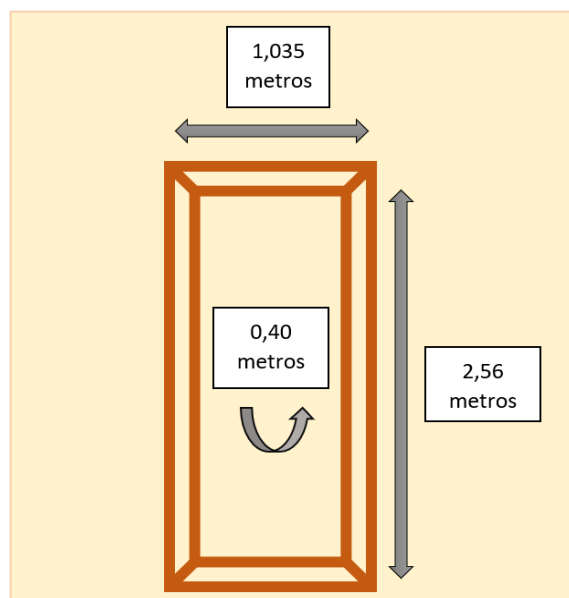
3.2.1 Características de las composteras

Se determinó un espacio exclusivo para la construcción de las composteras. Este sitio se limpió y adecuó para que se ajuste al diseño experimental propuesto. Las composteras fueron realizadas con cemento, ladrillo y estuvieron cubiertas con una base de zinc y tubos de metal (Figura 6). Como se observa en la Figura 7 cada pila tiene las siguientes magnitudes 2,57m de largo, 1,035m de ancho y 0,40m de altura.

Figura 6. Construcción de composteras.



Figura 7. Dimensión estándar de la compostera.



3.2.2 Tipo de investigación y población

El tipo de investigación que se desplegó en este estudio fue experimental y descriptiva, cumpliendo cada uno de los objetivos planteados. De acuerdo a Hernández y Mendoza (2018) el estudio experimental se encuentra asociado a la manipulación artificial de las variables del estudio. La población, materia de análisis estuvo compuesta por la masa total de desechos agropecuarios en las distintas composteras. Al respecto, según La Madriz (2019) manifiesta que la población se encuentra formada por un conjunto de individuos que compartan características o variables. En el caso específico del estudio, se identificó cada una con 115kg de biomasa total que contaba con 11kg de estiércol de cuy, 11kg de gallina, 50kg de vaca, 32kg de chala de maíz y 11kg de hojas secas.

3.3 Procesos del compostaje

3.3.1 Obtención de materia prima para el compostaje

El material vegetal y animal que fue utilizado para el compostaje se recolectó a partir de los residuos producidos por la Finca Don Coquito, la recolección se realizó cuidadosamente para evitar cualquier tipo de contaminación que afecte en los resultados de la investigación, se etiquetaron y se tomaron en cuenta todos los parámetros estadísticos para evitar sesgos. Se recolectaron 8 sacos

de gallinaza, 8 de cuy, 8 de hojas secas y 24 de chala de maíz (Figura 8), finalmente 36 baldes de estiércol vacuno (Figura 9), lo que indicó que la finca Don Coquito produce un gran número de residuos sólidos orgánicos agropecuarios y agrícolas.

Figura 8. Sacos con material animal y vegetal.



Figura 9. Recolección de estiércol vacuno.



3.3.2 Método de pesado de residuos orgánicos y cálculo de la relación C/N

Para determinar el porcentaje de transformación de los residuos y calcular la relación carbono/nitrógeno, fue necesario conocer su masa. Para ello, se pesó con una balanza de resorte de tipo romana (Figura 10) 11kg de gallinaza, 11kg de cuyaza, 11kg hojas secas, 50kg de estiércol vacuno y 32 kg de chala de maíz, que se colocó en cada repetición de las composteras.

Figura 10. Pesado de material animal vacuno.



Se realizaron los cálculos obteniendo la relación C/N óptima de 25 a 30. Para lo cual, se tomó los datos de la Tabla 5 y se aplicó la fórmula presente el estudio de Céspedes (2004):

$$K = \frac{C_1X_1ST + C_2X_2ST + C_3X_3ST \dots}{N_1X_1ST + N_2X_2ST + N_3X_3ST \dots} \quad (1)$$

Donde:

C= Porcentaje de carbono seco en la materia prima

N= Porcentaje de nitrógeno seco en la materia prima

X= Peso de la materia prima seca

K= relación de C/N de la mezcla de materias primas

ST= Sólidos totales

$$K = \frac{((11*37,2*0,68)+(11*70,2*0,56)+(50*32*0,21)+(32*39*0,85)+(11*41*0,5))}{((11*2,22*0,68) + (11*5,85*0,56)+(50*1,5*0,21)+(32*0,7*0,85)+(11*1*0,5))} \quad (2)$$

$$K = 25,10$$

Se obtuvo una relación C/N de 25,10. Por esta razón se consideró que es óptimo para llevar a cabo el proceso de compostaje.

3.3.3 Elaboración de pilas de compostaje

Se elaboraron un total de 8 composteras de igual dimensión como se detalló anteriormente. Las composteras se cubrieron con zinc y así se impidió que cada pila tenga exceso de humedad por la lluvia, y fueron rotuladas respectivamente (Figura 11). Como se puede observar las composteras se encontraban escalonadas y separadas simétricamente.

Figura 11. Composteras en la Finca Don Coquito.



3.3.4 Compostaje con el método Takakura

Para el desarrollo del primer objetivo se realizó el compostaje mediante el método Takakura. Aunque usualmente este método sirve para compostar materia orgánica vegetal, en esta investigación se utilizaron residuos orgánicos agropecuarios obtenidos de Finca Don Coquito. Estos residuos son la fuente principal de carbono y nitrógeno para llevar a cabo el proceso de fermentación biológica mediada por los microorganismos. Para cada repetición del T1 se colocaron las siguientes cantidades de materia orgánica agropecuaria:

- 11 kg de excremento de gallina
- 11 kg de excremento de cuy
- 50 kg de excremento de vaca
- 11 kg de hojas secas
- 32 kg de chala de maíz misma que se consideró como el lecho de fermentación

a. Preparación de soluciones de fermentación

El método Takakura requiere que se inicie elaborando dos soluciones: una dulce y una salada. Para la solución dulce se utilizó y mezcla de la siguiente manera:

- 28 litros de agua de vertiente
- 1 litro de cerveza
- 0,600 litros de yogurt
- 0,014 kilogramos de levadura
- 11 libras de azúcar

Esta solución es la que aportó los microorganismos fermentativos adecuados para el método Takakura y el azúcar fue fuente principal de alimento para estos. El agua de vertiente contiene microbios que facilitaron el proceso de compostaje mediante la humedad. Por otro lado, la levadura facilitó el proceso de fermentación.

En caso de la solución salada se utilizó y mezcla de la siguiente manera:

- 28 litros de agua de vertiente.
- Desperdicios de frutas (cáscaras) 1,77 libras (0,141 kg manzana, 0,329 Kg de papaya, 0,333 kg pepino). previamente picadas.
- Desperdicios de verduras 12 libras (lechuga 10 L, col 2L) previamente picadas.
- 8,80 libras de sal.

Los desperdicios de frutas contaron con los microorganismos necesarios para descomponer formas de carbono presentes en los compuestos vegetales.

Cada una de las soluciones fueron realizadas simultáneamente y mezcladas homogéneamente y se almacenaron en un balde (Figura 12) con un orificio de salida de aire, debido

a que la fermentación produce gases. Estas soluciones permanecieron en reposo durante 9 días y cada balde fue rotulado respectivamente.

Figura 12. *Soluciones salada y dulce del método Takakura.*



Para determinar que las soluciones habían fermentado de manera adecuada y que los microorganismos habían crecido, se identificó la formación de una capa blanquecina en ambas soluciones (Figura 13 y 14) y además presentaron un olor a alcohol, producto de la fermentación.

Figura 13. *Solución salada.*



Figura 14. *Solución dulce.*



b. Preparación de lecho de fermentación

Para la preparación del lecho de fermentación se empleó 128kg de chala de maíz picado finamente; adicionalmente se agregó 3.63kg de harina como fuente de alimento de los microorganismos. Se mezclaron las dos soluciones en homogéneamente con el lecho de fermentación. La cantidad de solución se identificó mediante el método del puño como se observa en la Figura 15, obteniendo una humedad de entre un 40% y 60% aproximadamente. El lecho de fermentación se dejó reposar aproximadamente 8 días y se cubrió con una lona (Figura 16) para impedir el paso de insectos hasta que se fermente.

Figura 15. *Método del puño para determinar la humedad del lecho.*



Figura 16. *Lecho cubierto con una lona.*



Para conocer que el proceso culminó, se tomó en cuenta una capa de moho blanquecino como indicador que habían crecido los microorganismos adecuadamente (Figura 17).

Figura 17. *Moho formado por la fermentación.*



c. Preparación de camas composteras

Una vez completada la semana de fermentación del lecho, se realizó la implantación de las 4 pilas de tratamiento Takakura. Se mezcló homogéneamente todos los desechos animales y vegetales en las cantidades detalladas anteriormente. El nivel de humedad se ajustó entre un 40% y 60%. Finalmente, se cubrió cada una de las pilas con sacos de yute.

3.3.5 Compost con aplicación de método tradicional

A cada una de las repeticiones del tratamiento T2 tuvieron las siguientes cantidades de materia orgánica agropecuaria:

- 11 kg de excremento de gallina
- 11 kg de excremento de cuy
- 50 kg de excremento de vaca
- 11 kg de hojas secas
- 32 kg de chala de maíz y se mezcló homogéneamente

De la misma manera, se ajustó el nivel de humedad entre el 40% y 60%. Finalmente se cubrió cada una de las pilas con sacos de yute.

3.3.6 Monitoreo proceso de compostaje

Para el desarrollo del compostaje de los dos tratamientos, fue fundamental tomar en cuenta la humedad, la temperatura, la oxigenación y el pH. Los parámetros de evaluación se centraron en las normativas internacionales NTAE-006-SMA (2006) y lo establecido por la FAO (FAO, 2013). En este apartado se detalla el proceso de control de estos parámetros:

a. Oxigenación

Debido a que el proceso de fermentación necesita una oxigenación correcta se volteó el material manualmente y de manera uniforme con la ayuda de una pala cada 5 días para que tenga la cantidad precisa de oxígeno, y se aseguró las condiciones adecuadas para los microorganismos en el proceso de transformación. Para esto se utilizaron palas diferentes para cada tratamiento, evitando la contaminación o mezcla de microorganismos (Figura 18).

Figura 18. Aireación manual de la compostera con pala.



b. Humedad

Debido a que la humedad determina la velocidad de este proceso biológico, se controló cada día el porcentaje de humedad de los tratamientos. Al tratamiento 1 para aumentar la humedad cuando era necesario, se le agregó soluciones líquidas con microorganismos fermentativos (Figura 19), mientras que al tratamiento 2 se agregó agua de vertiente. Para ello se tomó en cuenta el nivel de humedad del compost, empleando la técnica del puño teniendo como un rango óptimo de entre el 40% al 60% aproximadamente.

Figura 19. Riego a pila de compost Takakura.



c. Temperatura y pH

Se identificaron 3 puntos específicos de la pila, en el centro, así como también en los extremos. Con el uso de un multiparamétrico se chequeó la temperatura y pH a una profundidad de 0,25 m. Este monitoreo se ejecutó todos los días en un mismo horario; donde se realizó un orificio en la pila de compostaje y se introdujo las sondas durante dos minutos y se tomó los datos exactos (Figura 20).

Figura 20. Toma de datos de temperatura y pH.



3.3.7 Recolección de las muestras de compost

Para realizar el análisis físico químico y microbiológico se tomaron las muestras de compost utilizando la metodología de Soriano (2016), que consiste en obtener 1kg de cada repetición

Takakura y homogenizar las muestras de las cuatro repeticiones, donde se consiguió una muestra de compost de 1kg. Este mismo proceso fue aplicado para recolectar las muestras del tratamiento tradicional.

A continuación, se colocó cada muestra de compost en fundas ziploc, codificándolos como tratamiento 1 que fue el Takakura y tratamiento 2 que fue el tradicional (Figura 21). Finalmente, las muestras se enviaron a BIONIKA LABORATORIOS, ubicados en la ciudad de Quito.

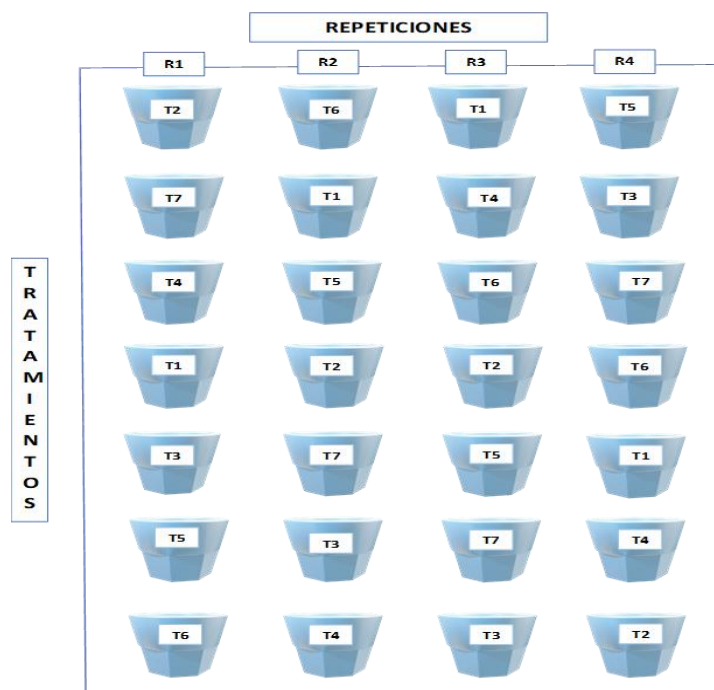
Figura 21. Fundas ziploc con muestras de cada tratamiento.



3.4 Diseño experimental para la evaluación del crecimiento del maíz

Para ello se adaptó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), mismo que tiene 7 tratamientos, 4 repeticiones, un total de 28 unidades experimentales. La Figura 22 muestra como fueron distribuidas las repeticiones con cada uno de los tratamientos.

Figura 22. Diseño experimental de la evaluación de crecimiento de maíz.



Las plantas fueron sembradas en vasos plásticos y colocados en una mesa debidamente etiquetados y divididos (Figura 23). Las condiciones ambientales para cada una de las repeticiones fue la misma para evitar sesgos.

Figura 23. Crecimiento de las plantas de maíz de los siete tratamientos.



3.4.1 Preparación del sustrato en macetas

Se utilizó como macetas vasos térmicos que previamente fueron agujerados y rotulados para su debida identificación. En cada unidad experimental se aplicó 0,1 kilogramos de suelo y respectivamente la dosis de compost a excepción del tratamiento 7. En la tabla 7 se describe cada los 7 tratamientos utilizados.

Tabla 9. Descripción y numeración de los tratamientos.

Tratamiento	Descripción
T1	Se incorporó 0,1 kilogramos de suelo y un 1% de sustrato Takakura.
T2	Se agregó 0,1 kilogramos de suelo y un 2% de sustrato Takakura.
T3	Este tratamiento estuvo compuesto por 0,1 kilogramo de suelo y un 3% de sustrato Takakura.
T4	Se incorporó 0,1 kilogramo de suelo y un 1% de sustrato Tradicional.
T5	Se agregó 0,1 kilogramo de suelo y un 2% de sustrato Tradicional.
T6	Este tratamiento estuvo compuesto por 0,1 kilogramo de suelo y un 3% de sustrato Tradicional.
T7	Este tratamiento estuvo compuesto por muestras de suelo de 0,1 kilogramo.

3.4.2 Siembra

Las semillas sin imperfecciones fueron seleccionadas. Una vez preparado el sustrato en los vasos térmicos se procedió a sembrar en cada repetición y se añadió aproximadamente 100ml de agua de vertiente. Las semillas de maíz que se utilizaron para sembrar fueron semillas certificadas adquiridas en la ciudad de Machala (Figura 24). El tipo de maíz seleccionado fue maíz duro. Las macetas fueron monitoreadas durante 20 días en el mismo horario.

Figura 24. Paquete de las semillas de maíz.



3.4.3 Evaluación del crecimiento del maíz

Para determinar el crecimiento del maíz se midió la longitud de la raíz, el número de hojas, la altura de la planta, y el diámetro del tallo. Como primer paso se procedió a separar las plantas de las macetas (Figura 25) y se eliminó el exceso de tierra, por lo que se lavó con agua la raíz para que quede libre de sustrato (Figura 26).

Figura 25. Planta de maíz separada de la maceta.



Figura 26. Planta de maíz sin residuos.



a. Longitud de la raíz

Para conocer la longitud de la raíz, se cortó cuidadosamente la raíz del tallo (Figura 27) y se midió su longitud utilizando una regla metálica (Figura 28).

Figura 27. Raíz separada de la planta.



Figura 28. Medición de la longitud de la raíz.



b. Altura de la planta y número de hojas

Para determinar la altura de cada una de las plantas se utilizó una regla metálica, se midió desde el tallo hasta la punta de la hoja más larga como se observa en la Figura 29; y se contó número de hojas existentes en cada planta.

Figura 29. Medición de la altura de la planta de maíz.



c. Diámetro del tallo

Para la toma de las medidas del diámetro del tallo de cada una de las unidades experimentales se utilizó un pie de rey como lo muestra en la Figura 30.

Figura 30. *Medición del diámetro del tallo.*



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Transformación de la materia orgánica

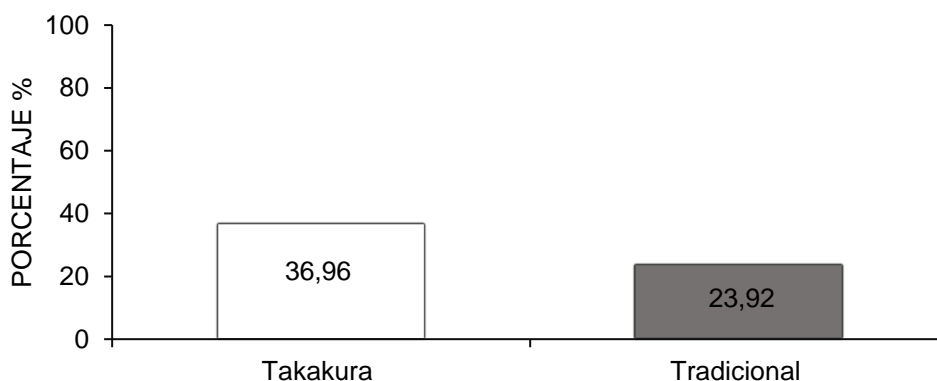
Cada pila de compost se realizó con un peso inicial de 115 kg con la composición detallada en la metodología. En la Tabla 8 se detalla el peso inicial y final, además se computa el porcentaje de rendimiento y transformación de masa según los datos logrados.

Tabla 10. Rendimiento y transformación de la materia orgánica de los dos tratamientos.

Tratamiento	Peso Inicial (kg)	Peso Final (kg)	Reducción de masa (kg)	Rendimiento (%)	Transformación de masa (%)
Takakura	115	72,5	42,5	63,04	36,96
Tradicional	115	87,5	27,5	76,08	23,92

Para la indagación de estos datos se ejecutó un análisis en el que se determinó que el porcentaje de transformación de masa del método Takakura es mayor al método tradicional en un 13,04%, se ejecutó un análisis de T de student donde se obtuvo un valor de p de 0.000754, en la Figura 31 se observa una diferencia significativa en comparación al tratamiento tradicional, esto se debe a que cada uno de los tratamientos utilizó distintos procesos para degradar la materia prima, en este caso los microorganismos fermentativos aceleraron el proceso del tratamiento Takakura. Se ha considerado que la pérdida de masa y volumen durante el compostaje de diversas materias primas es importante para mejorar el proceso y el esbozo de las bases en el compostaje.

Figura 31. Transformación de masa de los dos tratamientos.



Los resultados se asocian al estudio de Chaves et al. (2019) en donde se pudo evidenciar que a partir de la cantidad de inocuo de 40kg, así como la cantidad de residuos colocados correspondiente a 120 Kg, se obtuvo 47,5 Kg de compost con una eficiencia del 70,32%. Asimismo, en el estudio de Mejía y Ramos (2019) en donde se evidenció que existió una disminución de materia debido a que el proceso alcanzó temperaturas más elevadas que concluyó con la mineralización del material, teniendo un peso inicial de 52,71 y final de 25,32 Kg.

4.2 Análisis físico, químico y microbiológico

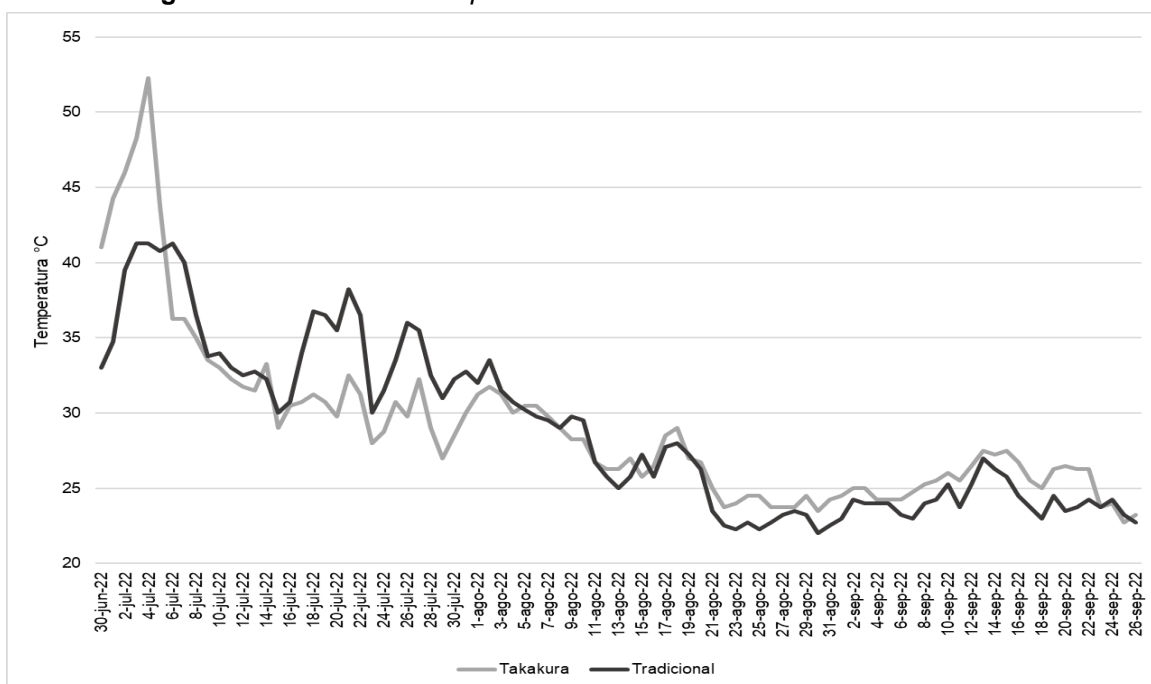
Para el análisis del compostaje fue fundamental identificar las cualidades físico, químicas y microbiológicas, además se dio seguimiento a las variables (temperatura y pH) a lo largo de todo el proceso. Con el fin de organizar de mejor manera se abordaron cuatro grupos de estudio: parámetros de seguimiento, características físicas, características químicas y características microbiológicas.

4.2.1 Parámetros de seguimiento del compost

a. Temperatura

Los datos obtenidos diarios de temperatura están detallados en el Anexo 3. En la figura 32 se observa que la temperatura disminuye en los dos métodos durante los 89 días de estudio determinados. Es posible apreciar en la gráfica que desde el 19 de agosto la temperatura ha descendido significativamente llegando a la temperatura ambiente, por lo que se puede concluir que el proceso llegó a su etapa de maduración.

Figura 32. Variación de temperatura durante 89 días de los dos tratamientos.



La temperatura inicial tomada el 30 de junio del 2022 fue de 41°C para el método Takakura y 33°C para el método tradicional. La temperatura más alta alcanzada para el método Takakura fue de 52,25°C en el día 5, en la cual se puede determinar que se encuentra en la etapa termófila, mientras que la temperatura máxima alcanzada para el método tradicional fue de 41,25°C en el día 4. Cuando el proceso de compostaje finalizó la temperatura de los dos tratamientos fue aproximadamente de 23°C, misma que se consideró factible por la temperatura ambiente de la zona de estudio. Sin embargo, se conoce que el aumento y disminución de temperatura se lleva en un proceso no lineal, en donde alcanza su punto más alto y luego disminuye de manera progresiva.

Las temperaturas en el proceso de compostaje deberían estar entre 35 y 65°C (Bortzirietako, 2023). A diferencia del estudio realizado por Bonilla y Urbina (2020) en donde se evidenció que la temperatura inicial se estableció a 38,4°C, mientras que la temperatura final, fue de 20°C con una duración de 67 días en la composta de Takakura. De manera similar, en la investigación realizada por Mejía y Ramos (2019) en donde se identificó que el tratamiento con un mayor grado de temperatura correspondió a 65°C en el tratamiento con Takakura.

Se realizó una prueba de Shapiro Wilks (Tabla 9) para comprobar si los datos seguían una repartición normal. El análisis demostró un valor de p menor a 0,05, se puede concluir que los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 11. Resultados de la prueba de normalidad de las temperaturas.

Tratamiento	N	Media	P Valor
Takakura	89	0,7965	0,00
Tradicional	89	0,9075	0,00

Debido a que los datos no presentan una distribución normal se realizó una prueba estadística no paramétrica para comprobar si las medianas de las temperaturas de los tratamientos eran diferentes. Para ello se realizó la prueba estadística de U de Mann Whitney, en la Tabla 10 se observa los resultados de dicha prueba.

Tabla 12. Prueba de comparación de medianas de las temperaturas.

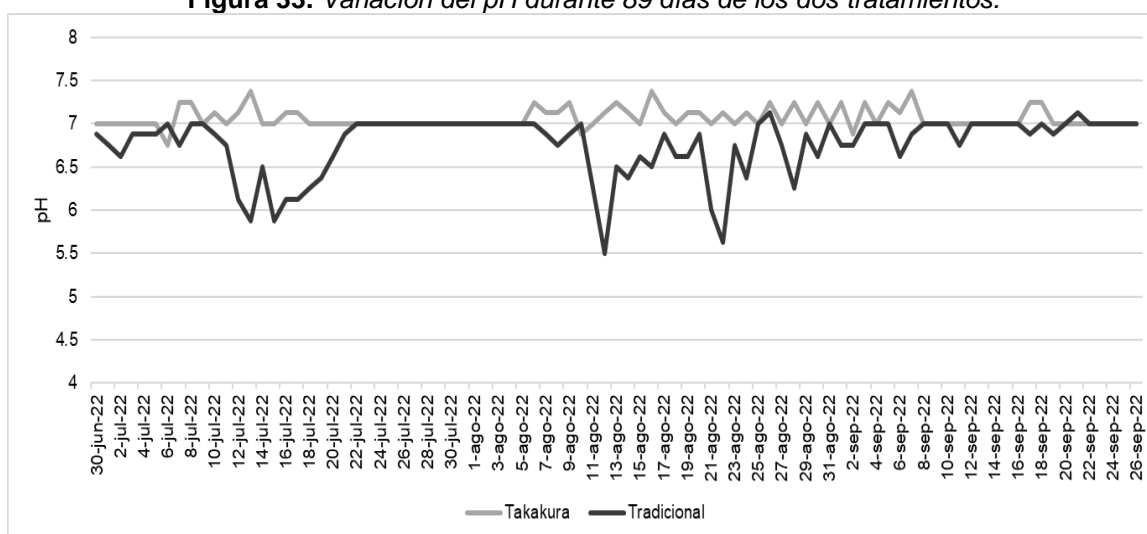
Tratamiento	Suma de rangos	N	U	Media de rangos	P Valor
Takakura	8142,5	89	4137,5	91,5	0,6075
Tradicional	7788,5	89	3783,5	87,5	
Total	15931	178			

El valor de p es mayor a 0,05 por lo tanto se comprueba que las medianas de los dos tratamientos se comportan de una manera similar. Es decir que la temperatura de ambos tratamientos no tiene diferencias significativas. Es probable que la temperatura de los compost fue menor a la esperada por la temperatura de la zona de elaboración del estudio que puede llegar hasta 18°C.

b. Potencial de Hidrógeno

Además de la temperatura, también se tomó en cuenta el pH durante los 89 días del proceso establecido. En el Anexo 4 se detallan los datos del pH del método Takakura y del tradicional. El pH de compost tiene un rango de entre 7-7,5 para Takakura, y para el tradicional entre 7-5,5.

Figura 33. Variación del pH durante 89 días de los dos tratamientos.



En la Figura 33 se aprecia la evolución del pH, determinando que el pH promedio del método Takakura es de 7,063, mientras que el del método tradicional es 6,767.

El pH permite identificar si el suelo es ácido o alcalino. Este indicador es fundamental ya que permite determinar la biodisponibilidad de nutrientes para las plantas, y también afecta la movilidad, disponibilidad de otros constituyentes, solubilidad y contaminantes inorgánicos que se encuentran en el suelo. El pH del compost puede variar dependiendo la materia prima que se ha utilizado (FAO, 2023).

En el estudio de Bonilla y Urbina (2020) se pudo evidenciar un pH final de 7,39 y 8,67 en la composta de Takakura. Por otro lado, el estudio realizado por Cháves et al. (2019) se probó que en relación al pH en el tratamiento con Takakura, tuvo un crecimiento desde el día uno con un pH de 5,0 y llegando a 7,1 en el día 24. Similar al estudio de Mejía y Ramos (2019) en el cual se evidenció que el pH en el tratamiento de composta de Takakura tuvo un pH inicial de 6,46 y final de 7,84.

Se realizó una prueba de Shapiro Wilks para comprobar si los datos seguían una distribución normal. El análisis demostró un valor de p menor a 0,5, se concluye que los datos no tienen una distribución normal en la Tabla 11 se observa el estadístico.

Tabla 13. Prueba de normalidad del pH.

Tratamiento	N	Media	P Valor
Takakura	89	0,7626	0,00
Tradicional	89	0,7516	0,00

En base a los resultados obtenidos se verifica que no presentan una distribución normal, se realizó una prueba estadística no paramétrica para comprobar si las medianas de las temperaturas de los tratamientos eran diferentes. Para ello se realizó la prueba estadística de U de Mann Whitney como lo indica en la Tabla 12.

Tabla 14. Prueba de comparación de medianas del pH.

Tratamiento	Suma de rangos	N	U	Media de rangos	P Valor
Takakura	10522	89	6516,5	118,2	
Tradicional	5409,5	89	1404,5	60,8	0,00
Total	15931	178			

El valor de p es menor a 0,05 es decir que el pH de los dos tratamientos no es similar, se deduce el tratamiento Takakura tiene un pH mayor que el tratamiento tradicional.

4.2.2 Características físicas

Como características físicas del compost se determinó el color y olor, mismos que están detallados en el Anexo 5.

a. Color y olor

El compost en los dos tratamientos presentó un color oscuro, lo que representa la cantidad de materia orgánica descompuesta, el color era muy similar al humus, sin embargo, se observó que en el tratamiento tradicional aún existió restos de materia prima. Por otro lado, el olor que presentó era similar a tierra mojada siendo un indicador de que su proceso de descomposición se completó.

De manera similar, en la investigación de Bonilla y Urbina (2020) se estableció que el color de las diferentes muestras de compost a través del método Takakura fue de color café y negro, por otro lado, el olor de todas las muestras se asemeja al olor de la tierra en proceso de descomposición.

4.2.3 Características químicas

Las características químicas se han presentado de la siguiente manera: macronutrientes, nutrientes secundarios, micronutrientes, ácidos húmicos y fúlvicos, materia orgánica, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico. El análisis final de laboratorio de los dos tratamientos se encuentra detallado en el Anexo 5.

a. Macronutrientes

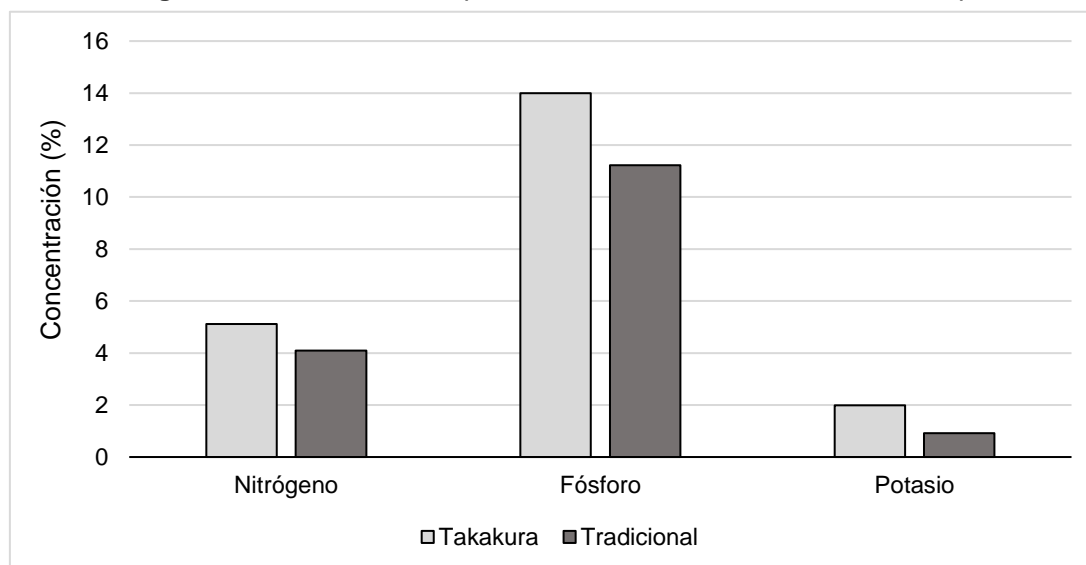
En el grupo de los macronutrientes se encuentra el fósforo, el nitrógeno y el potasio. Se pudo identificar que el porcentaje de nitrógeno es ligeramente mayor con un 1,02% en el método Takakura. De igual manera, el porcentaje de fósforo y potasio es aproximadamente 1% mayor en el método Takakura a comparación del método tradicional se detalla en la Tabla 13.

Tabla 15. Composición de macronutrientes en los dos tratamientos.

Tratamientos	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Takakura	5,12	13,99	1,99
Tradicional	4,10	11,23	0,92

En la figura 34 se evidencia que el tratamiento Takakura obtuvo mayor concentración de macronutrientes en comparación con el tratamiento tradicional.

Figura 34. *Macronutrientes presentes en los dos tratamientos de compost.*



Se puede identificar que el contenido de nitrógeno en el método Takakura es mayor que en el tradicional, por lo que se puede determinar una ventaja en este método frente al método tradicional en cuanto a la cantidad de nitrógeno. Es probable que se deba a que se utilizó materia fecal como materia prima. El porcentaje de nitrógeno orgánico calculado establece que en un compost terminado oscila entre 1 y 2%. El alto contenido de nitrógeno es una ventaja ya que se puede evitar añadir otros fertilizantes de N en la producción de cultivos. Asimismo, en el estudio de Bonilla y Urbina (2020) se identificó niveles elevados de nitrógeno en las diferentes muestras asociadas al método Takakura con un promedio de 1,2% en la muestra 1.

Según Sullivan (2022) debe estar entre un 0,3 y un 0,9%. Sin embargo, se conoce que si el P excede el 0,7% es debido a que se utilizó estiércol como materia prima. De igual forma el alto contenido de P en los compostajes representa una ventaja ya que no es necesario fertilizar el suelo con fósforo. Los cultivos con niveles bajos de fósforo pueden no permitir el desarrollo adecuado de sus raíces, lo que conlleva a un estrés de la planta durante las sequías. Además, el fósforo ayuda a la absorción del nitrógeno de las plantas. El fósforo es importante para el brote de las semillas y desarrollo de raíces (Government of Nova Scotia, 2010).

El porcentaje de K en compost es recomendable que se encuentre entre el 0,5 y 1,5%. El método tradicional muestra un valor adecuado de K. Sin embargo, el método Takakura supera el 1,5%, por lo que es probable que se deba a que este método utilizó los residuos de alimentos como verduras y frutas en la solución salada. El potasio es importante para la resistencia a las enfermedades vegetales y afecta el color y el sabor de las verduras y frutas (Government of Nova Scotia, 2010).

b. Nutrientes secundarios

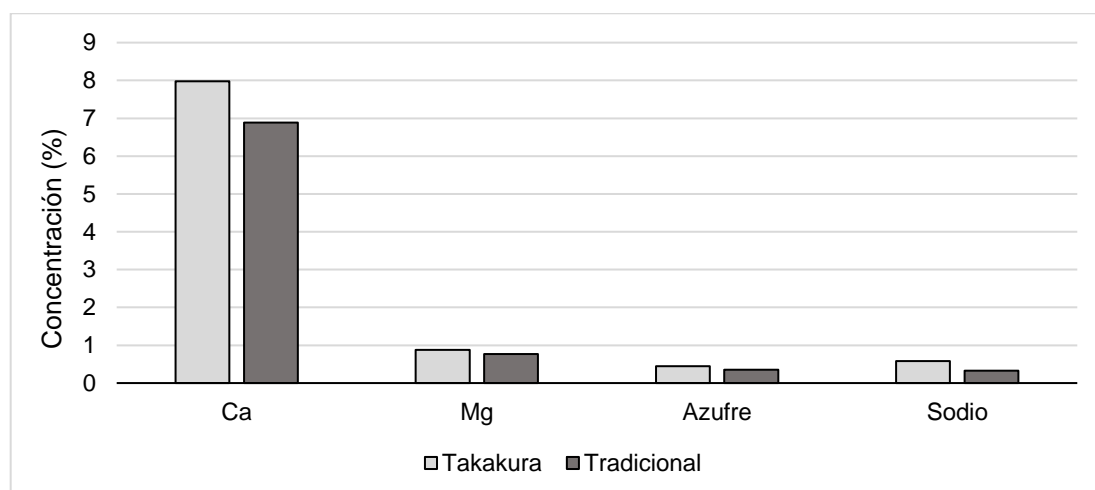
En cuanto a la composición de los nutrientes secundarios, tenemos al calcio, magnesio, azufre y sodio, en la Tabla 14 se puede observar que no existe una gran diferencia entre el método Takakura y el método tradicional.

Tabla 16. Composición de nutrientes secundarios en los dos tratamientos.

Tratamientos	Calcio (%)	Magnesio (%)	Azufre (%)	Sodio (%)
Takakura	7,98	0,88	0,45	0,58
Tradicional	6,89	0,77	0,35	0,33

Se observa en la figura 35 que el compostaje con ambos tratamientos obtuvo unos porcentajes similares de micronutrientes y que los mismos están dentro de los rangos adecuados, con la excepción del porcentaje de magnesio, el cual mostró una ventaja sobre el método Takakura que indicaba una relación adecuada de Mg y K, con respecto al método tradicional.

Figura 35. Concentración de nutrientes secundarios en los dos tratamientos.



El porcentaje de calcio adecuado en el compost debe estar en un rango de 6 a 15%. En los dos tratamientos el porcentaje de calcio están dentro del rango óptimo. El método Takakura tiene un porcentaje ligeramente mayor de Ca que el método tradicional. El calcio es importante para la nutrición celular y ayuda a las plantas a responder mejor al estrés ambiental y de enfermedades (Junta de Andalucía, 2012).

Tomando en cuenta esta relación, el método Takakura muestra una ventaja ya que tiene un porcentaje de potasio de 1,99% y de magnesio de 0,88%, es decir que tiene una relación de Mg y K adecuada. Por el contrario, el método tradicional cuenta con un porcentaje de potasio menor al 1% y de magnesio mayor a 0,75% el cual no indica un parámetro adecuado para el crecimiento de la planta. El magnesio tiene un rol en la fotosíntesis de las plantas y ayuda a remover el fósforo de las plantas. El porcentaje de magnesio en el compost debe ser entre el 0,2 al 0,5%. Cuando el

porcentaje de magnesio excede el 0,75% y el porcentaje de potasio es menor a 1,5%, existe un desequilibrio que puede afectar el crecimiento de la planta (Government of Nova Scotia, 2010) .

Los dos tratamientos exceden estos parámetros adecuados, sin embargo, se ha demostrado que el porcentaje de sodio en el compost debe ser menor a 0,6% los compost no representan un peligro para los cultivos, aunque se debería tomar las medidas de precaución adecuada.

En cuanto al azufre, se recomienda un porcentaje entre 0,25 a 0,8%, dado que los dos tratamientos se encuentran en este rango, se puede concluir que no necesita añadir S al cultivo para el correcto crecimiento de la planta (Sullivan, 2022). El sodio no es un nutriente importante para las plantas, sin embargo, en porcentajes elevados puede causar daño. Un rango adecuado de Na esta entre el 0,04 y 0,24% (Government of Nova Scotia, 2010).

c. Micronutrientes

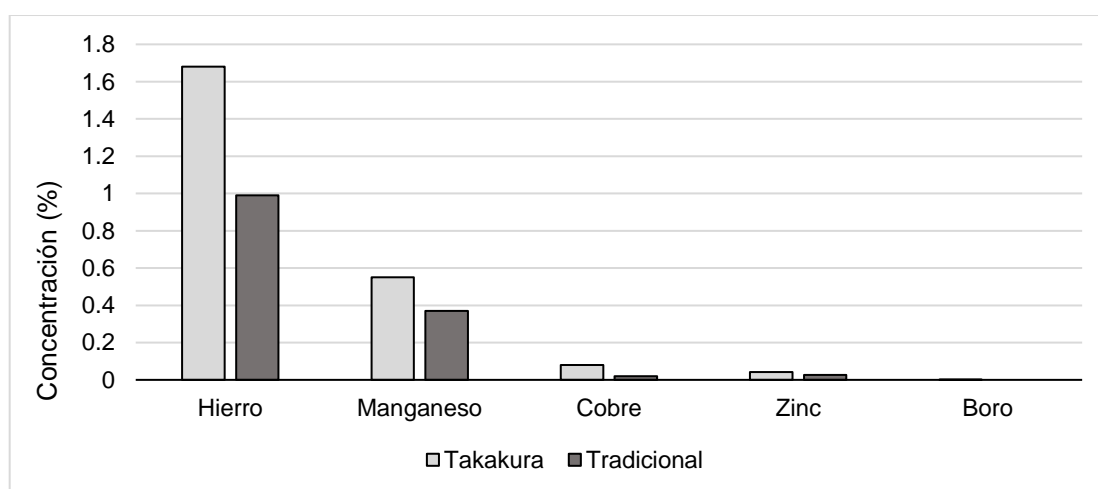
Como micronutrientes en la tabla 15 se observa al hierro, manganeso, cobre, zinc y boro.

Tabla 17. Composición de micronutrientes en los dos tratamientos.

Tratamientos	Hierro (%)	Manganeso (%)	Cobre (%)	Zinc (%)	Boro (%)
Takakura	1,68	0,55	0,08	0,042	0,001
Tradicional	0,99	0,37	0,02	0,027	0

El manganeso, cobre, zinc y boro en los dos tratamientos es muy similar en su porcentaje de concentración. Sin embargo, en la Figura 36 se puede observar que el hierro tiene una concentración mayor en el método Takakura.

Figura 36. Micronutrientes presentes en los dos tratamientos de compost.



Las concentraciones de los micronutrientes en el método Takakura es ligeramente mayor que al método tradicional como se muestra en la figura 36. Es probable que se deba a que en el

método Takakura se utilizan en las soluciones distintos vegetales, frutas y otro tipo de materias primas orgánicas que contienen estos micronutrientes en mayor cantidad.

El hierro, manganeso, cobre, zinc y boro ayudan a la fijación de nitrógeno, a la germinación de semillas y desarrollo de las raíces (Junta de Andalucía, 2012). Los rangos en un compostaje adecuado de hierro es 1,4 a 2,6%, donde se puede identificar que el método Takakura se acerca mucho a esta concentración ideal; a comparación del método tradicional que es menor al 1%, está por debajo del rango establecido. Asimismo, en la investigación de Maisincho (2015) estableció que la cantidad de micronutrientes es inferior al 1%.

En cuanto al manganeso ambos tratamientos sobrepasan el porcentaje ideal que es de 0,029%. El cobre debería estar en un porcentaje aproximadamente de 0,011%. El método Takakura se acerca mucho a esta concentración, sin embargo, el método tradicional se puede identificar que es deficiente de cobre. La concentración de zinc debería estar aproximadamente en 0,024% que es muy similar al tratamiento tradicional; el método Takakura presenta una mayor concentración. Finalmente, el boro se recomienda un 0,051% y en ambos métodos presenta una deficiencia de boro.

d. Ácidos húmicos y fúlvicos

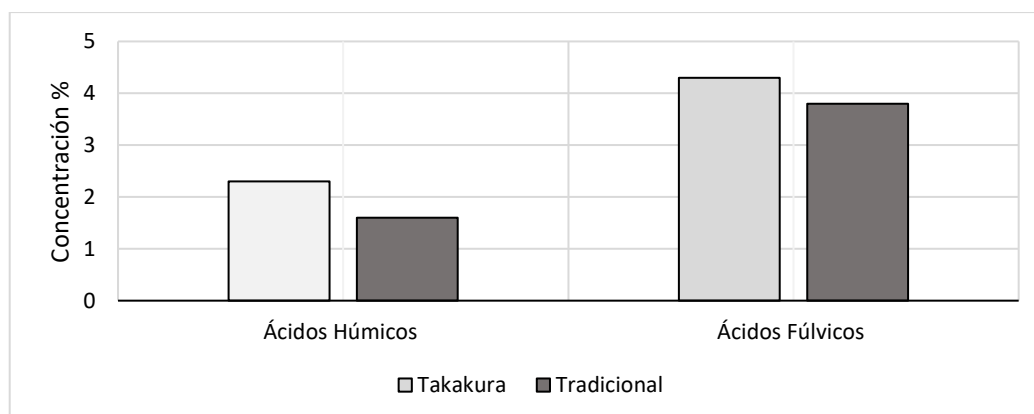
El tratamiento Takakura presentó una mayor cantidad de ácidos húmicos y fúlvicos en comparación con el tratamiento tradicional como se indica en la Tabla 16.

Tabla 18. Ácidos presentes en los dos tratamientos.

Tratamiento	Ácidos Húmicos (%)	Ácidos Fúlvicos (%)
Takakura	2,3	4,3
Tradicional	1,6	3,8

Los ácidos húmicos tienen una concentración 1,3% mayor en el método Takakura en comparación con el tradicional (Figura 37).

Figura 37. Ácidos húmicos y fúlvicos en los dos tratamientos.



Los ácidos húmicos y fúlvicos influyen en la fertilidad del suelo contribuyendo a su estabilidad, favoreciendo la absorción de nutrientes, en consecuencia, en el desarrollo de la planta (Ramos, 2019). Es importante determinar la cantidad de ácidos fúlvicos ya que estos constituyen una serie de macromoléculas constituidos principalmente de compuestos fenólicos que pueden estar disponibles fácilmente para la planta por su característico peso molecular bajo (Conde-Cid, 2019). Las sustancias húmicas son más activos bioquímicamente y además tienen un alto potencial en el sector agrícola, debido a que su aplicación en el suelo mejora el balance nutricional y el aprovechamiento del fósforo y microelementos.

e. Materia Orgánica

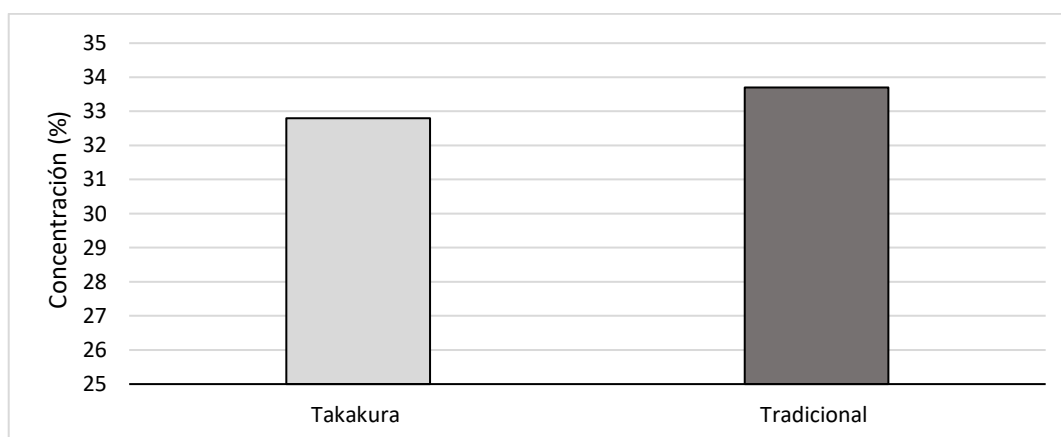
El porcentaje de materia orgánica del tratamiento fue mayor en comparación con el tratamiento Takakura, en la Tabla 17. La concentración de compost debe ser igual o mayor a 25% para que su uso sea directamente al suelo. El tratamiento Takakura y el tradicional cumplen con este parámetro ya que ambas son mayores a 30%.

Tabla 19. Composición de la materia orgánica en los dos tratamientos.

Tratamientos	Materia Orgánica (%)
Takakura	32,8
Tradicional	33,7

Según el Consejo Provincial de Guitko (2020) los porcentajes de materia orgánica inferiores al 30% indican que el compost está compuesto de tierra, cenizas y otros compuestos minerales. En este caso, los dos tratamientos al superar este valor cumplen con los parámetros requeridos de un compost de calidad (Figura 38).

Figura 38. Materia orgánica en los dos tratamientos.



f. Conductividad Eléctrica

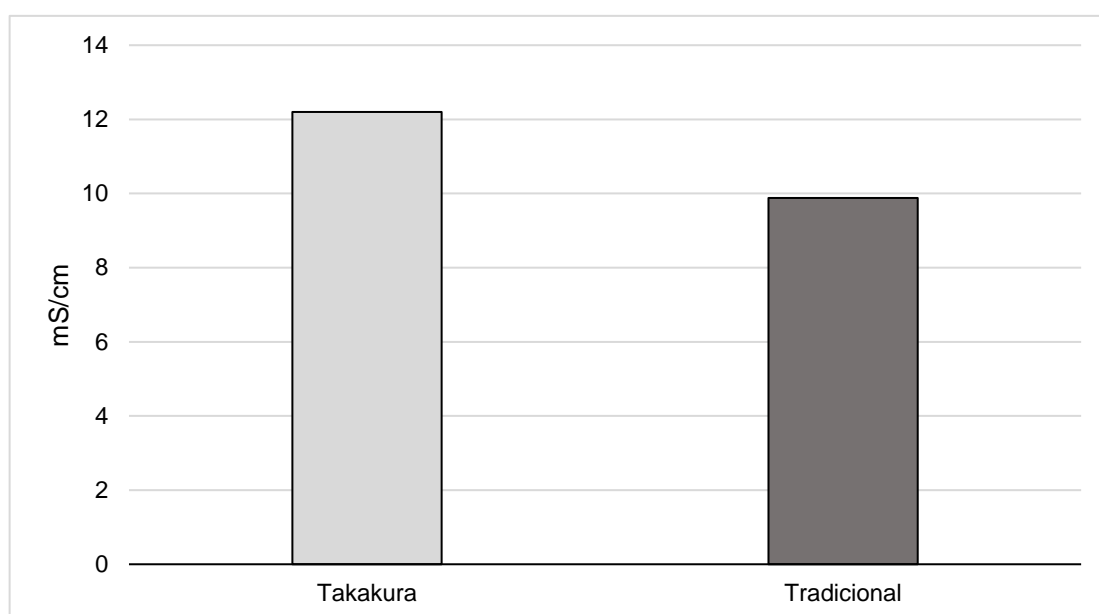
Como se indica en la Tabla 18 la conductividad eléctrica del tratamiento Takakura es mayor en un 2,32 en comparación con el tratamiento tradicional.

Tabla 20. Concentración de la conductividad eléctrica en los dos tratamientos.

Tratamientos	Conductividad Eléctrica (mS/cm)
Takakura	12,2
Tradicional	9,88

La conductividad eléctrica según la norma chilena de compost clasifica en dos tipos: el tipo A debe ser menor a 3 mS/cm y el tipo B menor a 8 mS/cm (Iliquín, 2015). Por lo tanto, tomando en cuenta estos parámetros los dos compost superan los 8 mS/cm, es así como se puede concluir que ambos tratamientos no cumplen con la conductividad eléctrica adecuada (Figura 39).

Figura 39. Conductividad eléctrica en los dos tratamientos.



La conductividad eléctrica se trata de un indicador de contenido de sales solubles. Los niveles altos de sal pueden dañar las plantas, siendo más susceptibles a lesiones. Una vez aplicado el compost las sales por lo general se van hacia el suelo por lixiviación (Al-Turki et al., 2013). Sin embargo, cuando el agua de riego mueve las sales puede dañar las plantas.

Es necesario tomar en cuenta este parámetro cuando la conductividad eléctrica es alta para evitar la salinización del suelo y problemas de toxicidad de las plantas. Un valor alto de CE puede evitar la germinación de semillas (Sullivan, 2022).

g. Capacidad de Intercambio Catiónico

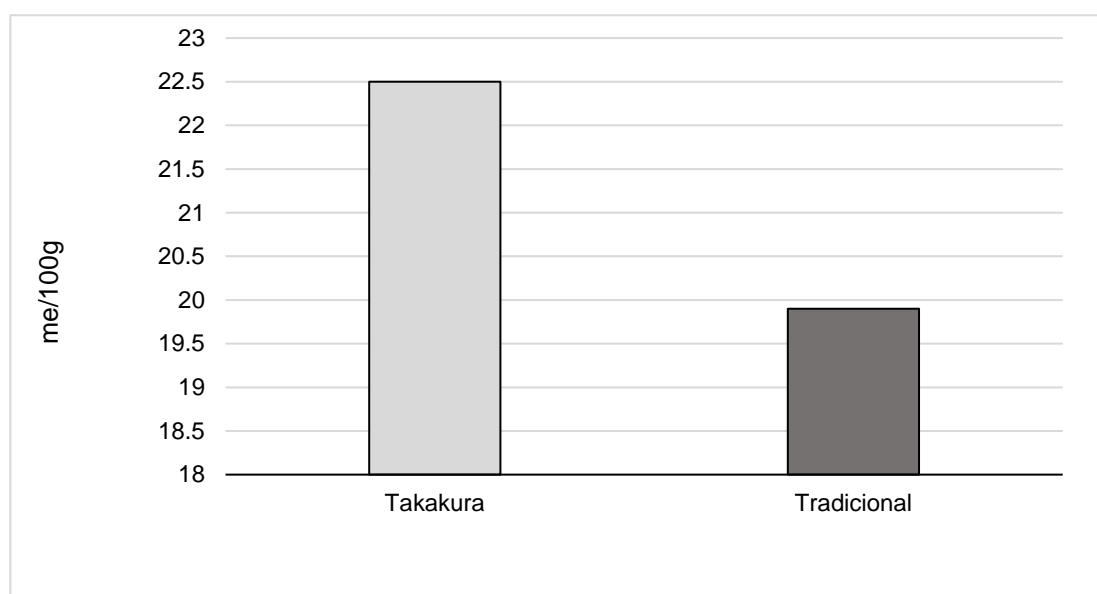
Los rangos de la CIC óptimo en un compost de calidad deberían estar entre los 23 y 32 me/100g. El compost elaborado con el método Takakura es muy cercano al valor óptimo. Sin embargo, se puede identificar un CIC deficiente en el método tradicional Tabla 19.

Tabla 21. CIC en los dos tratamientos.

Tratamientos	CIC (me/100g)
Takakura	22,5
Tradicional	19,9

Estos datos se pueden observar en la Figura 40.

Figura 40. Conductividad eléctrica en los dos tratamientos.

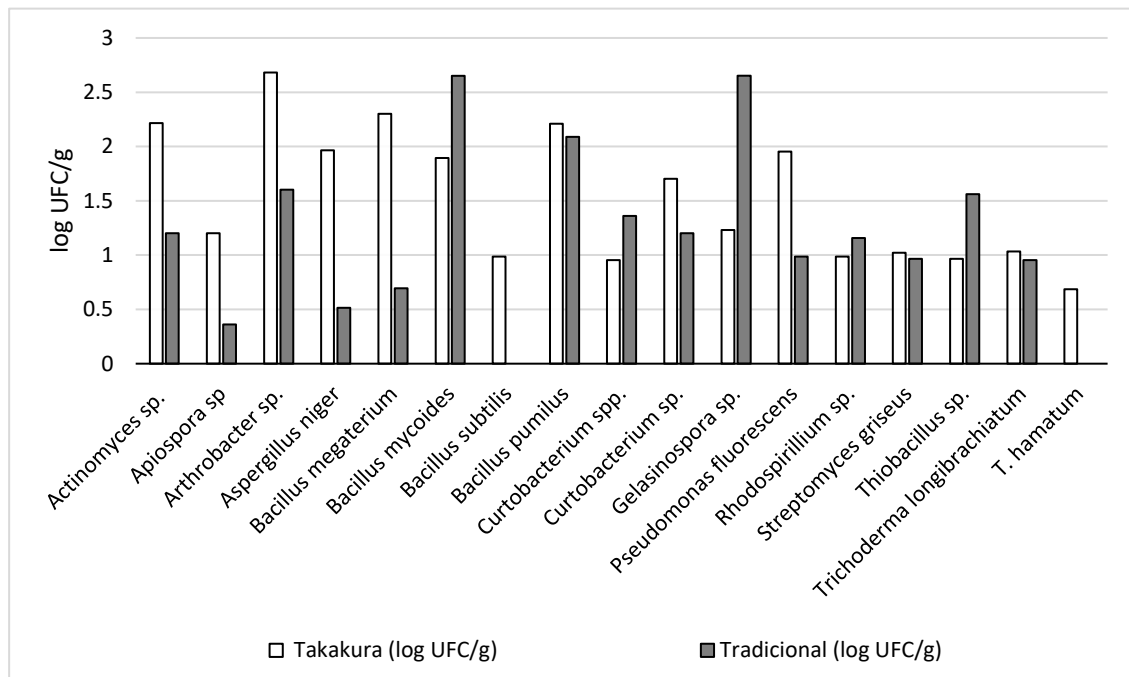


La capacidad de intercambio catiónico se trata de una medida de las cargas negativas presentes en el compost y este valor simboliza la cantidad de cationes que las superficies pueden reservar NH_4 , Mg, K, Na, K, Ca, etc. Los mismos serán intercambiados por otros iones de hidrógeno o a su vez otros cationes presentes en el suelo y liberados por las raíces. Un nivel adecuado de CIC refleja la habilidad del compost de conservar nutrientes para que estén disponibles para la planta, en este caso el mejor nivel de CIC presentó el tratamiento Takakura.

4.2.4 Características microbiológicas

Los microorganismos son fundamentales durante el compostaje ya que ellos son los que permiten la evolución de la materia orgánica mediante la fermentación y la transformación de macro y micronutrientes en elementos biodisponibles para la planta. El compostaje es considerado una sucesión biotecnológica de fermentación en estado sólido. Este proceso biológico es aerobio y termofílico. En el Anexo 6 se encuentran los microorganismos identificados en el compost en el método Takakura y en el método tradicional de compostaje. Las unidades de estos datos están representadas en el logaritmo de las unidades formadoras de colonia por cada gramo de compostaje y se observa en la Figura 41.

Figura 41. *Microorganismos identificados en los dos métodos de compostaje.*

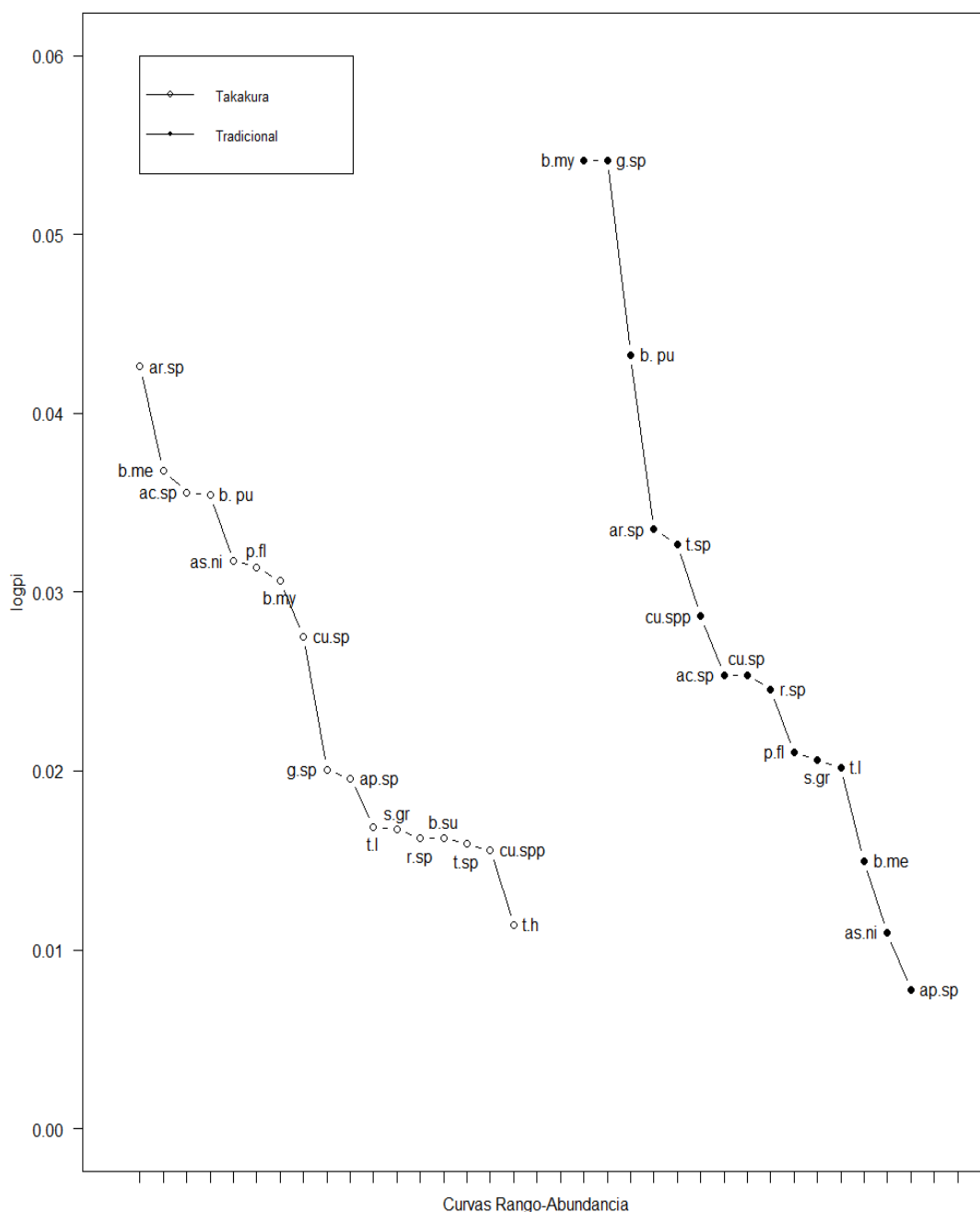


En la figura 41. se pueden identificar que existe una cantidad mayor de *Actinomyces sp.*, *Apiospora sp.*, *Arthrobacter sp.*, *Aspergillus niger*, y *Bacillus megaterium*. *Bacillus subtilis* y *T. hamatum* que únicamente están presentes en el compost llevado a cabo por el método Takakura. Los actinomicetos y los hongos (*Apiospora sp.*, *Aspergillus niger* y *T. hamatum*) son conocidos por su capacidad de metabolizar celulosa, quitina y pectina en el proceso de compostaje. Es probable que se encuentren en mayor cantidad en el método Takakura por que se utilizó hojarasca como materia prima. Además, *T. hamatum* es un hongo fitopatígeno que se utiliza como control biológico en ciertas enfermedades de plantas. *Arthrobacter sp.* y *Bacillus megaterium* son bacterias gram positivas que se utilizan como agentes de control biológico contra diversos fitopatógenos y control de algas y mosquitos, respectivamente.

Por otra parte, a diferencia del método Takakura, en el método tradicional se encuentran en una mayor cantidad *Bacillus mycoides*, *Gelasinospora sp.* *Curtobacterium spp.* y *Thiobacillus sp.* Las bacterias *Bacillus mycoides*, *Curtobacterium spp.* y *Thiobacillus sp.* son bacterias que principalmente se localizan en el suelo y están relacionadas a la reducción de salinidad sódica y pueden ser patógenas.

Por otro lado, las bacterias *Bacillus pumilus*, *Rhodospirillum sp.*, *Streptomyces griseus* y el hongo *Trichoderma longibrachiatum* se encuentran en una concentración similar en ambos tratamientos. Estas bacterias están presentes en los suelos y posibilitan la activación de las defensas de las plantas y permiten su crecimiento. Mientras que el hongo sirve como control biológico evitando enfermedades causadas por otros hongos o nematodos (Hoitink & Madden, 2006). Se puede inferir que ambos tratamientos tienen una diversidad biológica beneficiosa para los cultivos vegetales.

Figura 42. Curva de Rango abundancia de los microorganismos identificados en los dos tratamientos.



La figura 42 se trata de una gráfica de abundancia relativa donde se puede observar la abundancia de mayor a menor para los dos tratamientos. En el método Takakura se identificó que los microorganismos con mayor abundancia son *Arthrobacter sp.*, *Bacillus megaterium*, *Actinomyces sp.* y *Bacillus pumilus*. En el caso del método tradicional los microorganismos con más abundancia están *Bacillus mycoides*, *Gelasinospora sp.* y *Bacillus pumilus*.

4.3 Crecimiento vegetativo del maíz

Para analizar el crecimiento vegetativo del maíz se tomó como parámetros de medición: longitud de la raíz, altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas.

4.3.1 Altura de la panta

Las derivaciones de la altura de las 28 plantas en los 7 tratamientos se encuentran en la tabla 20. Aquellas plantas donde no germinó la semilla se colocó el valor de 0.

Tabla 22. Datos de la altura en cm de las plantas en los diferentes tratamientos.

Repetición	Altura (cm)						
	Takakura			Tradicional			Testigo
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
R1	48	43	47	40	47	44	32
R2	41,7	51	32	48	0	37	0
R3	40	43	34,2	35	30	41	0
R4	50,5	43,8	38	48	43,1	41	23,5

Para conocer si existía alguna diferencia de la altura de las plantas en los distintos tratamientos se realizó un ANOVA (Tabla 21).

Tabla 23. Resultados de ANOVA de una vía para la altura de la planta.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	FC	P
Repeticiones	6	3045,69	507,616		
Error	21	2565,99	122,190	4,15	0,0066
Total	27	5611,68			

Debido a que el valor de p es de 0,0066 y es menor a 0,05 se puede concluir que la media de crecimiento de al menos un tratamiento es diferente. Por esta razón, se ejecutó una prueba de LSD de Fisher para identificar que tratamiento es diferente. Los resultados de este análisis se indican en la Tabla 22.

Tabla 24. Prueba de Fisher de la altura de la planta.

Método	Dosis	Tratamiento	Mediana	Grupos
Takakura	2%	T2	45,2	A
Takakura	1%	T1	45,05	A
Tradicional	1%	T4	42,75	A
Tradicional	3%	T6	40,75	A
Takakura	3%	T3	37,8	A
Tradicional	2%	T5	30,02	AB
Testigo	NA	T7	13,87	B

En la prueba de Fisher (tabla 22) se puede observar que la altura del tratamiento 5 correspondiente a una dosificación del 2% de compost tradicional y el testigo son diferentes. Se puede observar que todos los tratamientos con dosificaciones diferentes del compost, ya sea tradicional o Takakura, tienen un mayor crecimiento de la planta frente al testigo. Además, se identifica que las plantas que recibieron una dosificación de 1% y 2% de Takakura tuvieron un mayor crecimiento en comparación con los demás tratamientos. Se puede identificar que el compost utilizando el tratamiento Takakura beneficia al crecimiento de las plantas de maíz.

4.3.2 Número de hojas

Los resultados del número de hojas en los siete tratamientos se detallan en la tabla 23.

Tabla 25. Datos del número de hojas de las plantas de los siete tratamientos.

Número de hojas (cm)							
Repetición	Takakura			Tradicional			Testigo
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
R1	4	4	4	4	4	4	4
R2	4	4	3	4	0	4	0
R3	4	4	3	3	3	4	0
R4	4	4	3	4	4	4	3

Para comprobar si existía alguna desigualdad significativa en la cantidad de hojas en cada uno de los tratamientos se aplicó un ANOVA de una vía (tabla 24).

Tabla 26. ANOVA de una vía para el número de hojas.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	FC	P
Repeticiones	6	1,4286	2,90476		
Error	21	25	1,19048	2,44	0,06
Total	27	42,42			

Según este análisis se puede concluir que no existen diferencias significativas en el número de hojas en los diferentes tratamientos. Es probable que el compost, aunque puede beneficiar en el crecimiento de la altura de la planta como se demostró anteriormente, no influyó en la cantidad de hojas que desarrollaba las plantas.

4.3.3 Longitud de raíz

Los resultados de la longitud de la raíz se destacan en la tabla 25.

Tabla 27. Datos de la longitud de raíz de las plantas en los siete tratamientos.

Longitud de raíz (cm)							
Repetición	Takakura			Tradicional			Testigo
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
R1	15	33	47	26,5	23	30	27
R2	29	32	19	18,5	0	31	0
R3	30	30	26,6	17	13,8	26	0
R4	30	23,3	28,8	29,5	21,5	27,5	19

De igual manera, para comprobar si existía alguna diferencia significativa en el crecimiento de la raíz en cada uno de los tratamientos se aplicó un ANOVA de una vía (tabla 26).

Tabla 28. ANOVA de una vía para la longitud de la raíz.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	FC	P
Repeticiones	6	1360,99	226,83		
Error	21	1661,02	79,096	2,87	0,0335
Total	27	3022,01			

Debido a que el valor de p es de 0,03 y es menor a 0,05 se puede concluir que la media de crecimiento de la raíz de al menos un tratamiento es diferente. Por esta razón, se efectuó una prueba de LSD de Fisher para identificar que tratamiento es diferente. Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 27.

Tabla 29. Prueba de Fisher de la longitud de la raíz.

Método	Dosis	Tratamiento	Mediana	Grupos
Takakura	3%	T3	30,35	A
Takakura	2%	T2	29,57	A
Tradicional	3%	T6	28,62	A
Tradicional	1%	T1	26	AB
Takakura	1%	T4	22,87	ABC
Tradicional	2%	T5	14,57	BC
Testigo	NA	T7	11,5	C

Según el resultado de la prueba de Fisher se puede observar que el T3, T2 y T6, tuvieron mayor crecimiento de la raíz. Las plantas con mayor dosificación del compost con el método Takakura, tuvieron un mejor enraizamiento, por lo que es probable que las plantas tenían la

posibilidad de obtener una mayor cantidad de nutrientes. Por otro lado, T4 correspondiente a la menor dosificación de Takakura, el T5 correspondiente al tradicional y el testigo tuvieron una menor longitud de raíz. Así como en el crecimiento del tallo, se puede apreciar que el compost realizado con el tratamiento Takakura favorece el desarrollo de la raíz.

4.3.4 Diámetro del tallo

Los resultados del diámetro del tallo se observan en la tabla 28.

Tabla 30. Datos diámetro del tallo de las plantas en los siete tratamientos.

Diámetro del tallo (cm)							
Repeticiones	Takakura			Tradicional			Testigo
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
R1	0,41	0,33	0,43	0,35	0,41	0,4	0,36
R2	0,375	0,42	0,28	0,34	0	0,35	0
R3	0,34	0,345	0,305	0,28	0,25	0,32	0
R4	0,39	0,3	0,29	0,38	0,38	0,3	0,18

De igual manera, para comprobar si existía alguna diferencia significativa en el crecimiento de la raíz en cada uno de los tratamientos se aplicó un ANOVA de una vía (tabla 29).

Tabla 31. ANOVA de una vía para el diámetro del tallo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	FC	P
Repeticiones	6	0,16475	0,02746		
Error	21	0,22976	0,01094	2,51	0,0545
Total	27	0,39450			

Debido a que el valor de p es de 0,0545 y es mayor a 0,05 se puede concluir que la media de los diámetros del tallo es similar en todos los tratamientos, es decir no hay una diferencia significativa en el desarrollo del ancho del tallo en todos los tratamientos.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

El porcentaje de transformación de masa fue superior en el tratamiento Takakura, es decir, mediante este proceso con la intervención de microorganismos fermentativos se logró degradar los residuos agropecuarios de una manera más efectiva, reduciendo la carga medioambiental por la mala gestión y contaminación de los mismos.

Dentro de los parámetros de seguimiento se encuentran la temperatura, pH y humedad, mismos que se monitorearon en el periodo establecido de 89 días. La temperatura en el T1 alcanzó los 52° permitiendo que los actores biológicos termófilos actúen degradando la materia y intervengan en la eliminación de microorganismos patógenos, mientras que el T2 llegó a 41° que permitió la acción de actores termófilos en una menor cantidad; además, cada una de las unidades experimentales presentaron variaciones significativas por acción de la radiación solar, finalmente en los dos tratamientos se concentró en un promedio de 23°. En relación al pH se determinó que en el T2 mantuvo un compost ácido, mientras que T1 se mantuvo neutro ideal para que se produzca el proceso de transformación. La humedad en los dos tratamientos dependió netamente de las condiciones climáticas, así se concluye que Takakura cumple con un proceso eficaz para acelerar y obtener compost de calidad.

En cuanto a las características físico químicas, se determinó que el compost T1 con aplicación de microorganismos fermentativos logró un mejor resultado en comparación con el T2, la textura, color y olor del compost final indicó que el proceso de maduración culminó, obteniendo un compost con concentraciones ricas en nutrientes favoreciendo a las plantas, que permite mejorar su crecimiento y desarrollo adecuado. En este sentido, se identificó que el porcentaje de nitrógeno obtenido en el T1 permitirá evitar el uso de suplementos de nitrógeno en los cultivos en relación con el T2,

En el T1 se observó que existe una cantidad mayor de *Actinomyces sp.*, *Apiospora sp.*, *Arthrobacter sp.*, *Aspergillus niger*, y *Bacillus megaterium*. *Bacillus subtilis* y *T. hamatum* únicamente, mismos que degradan celulosa y carbohidratos complejos. A diferencia del T2, se identificó en una mayor cantidad *Bacillus mycoides*, *Gelasinospora sp.* *Curtobacterium spp.* y *Thiobacillus sp.*, estas son bacterias que se encuentran en el suelo. La presencia de la actividad microbiana en los dos tratamientos permitió la reducción de la materia orgánica, de una manera más significativa en el T1.

En relación al crecimiento vegetativo del maíz se determinó que, con la aplicación del compost obtenido de ambos métodos de compostaje, se favoreció el desarrollo de las plantas frente al testigo que no contenía ningún tipo de compost. En la evaluación de los parámetros se comprobó que el T1 benefició al crecimiento del tallo, raíz, y diámetro en diferentes concentraciones. Las plantas que recibieron una dosificación de 1% y 2% Takakura tuvieron un mayor crecimiento en comparación con los demás tratamientos.

Los dos tratamientos cumplieron con los parámetros de un compost de calidad, el T1 presentó una mayor concentración de macro y micronutrientes dando como resultado un mejor desarrollo de la planta de maíz. La aplicación de esta técnica de compostaje con la ayuda de microorganismos fermentativos permite transformar los residuos en un compost útil y estabilizado, mismo que sirve como enmienda ambiental.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar el método Takakura con dosis diferentes ya que permitirán determinar su eficiencia en la transformación de los residuos orgánicos.

Sería necesario realizar un examen físico químico inicial del compost para identificar las características en los distintos tratamientos y comparar con un análisis final de laboratorio.

Es recomendable realizar un análisis específico de los microorganismos que se identificaron únicamente en el método Takakura, para conocer su origen y el papel que juega en la fermentación.

Se recomienda analizar el crecimiento del maíz en cada una de las diferentes etapas con los distintos tratamientos.

Se recomienda la aplicación de esta enmienda orgánica a suelos degradados, o erosionados que permitan identificar su beneficio como parte de restauración del medio.

Sería conveniente realizar un análisis de costo – beneficio, con fines de determinar la rentabilidad de invertir dinero y darles un valor agregado a estos residuos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adejumo, I., & Adebisi, O. (2012). Agricultural Solid Wastes: Causes, Effects, and Effective Management. Strategies of Sustainable Solid Waste Management *Intech*. Nigeria. <http://dx.doi.org/10.1039/C7RA00172J%0Ahttps://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>
- Al-khadher, S., Abdul, A., Al-Gheethi, A., & Azhari, N. (2021). Takakura composting method for food wastes from small and medium industries with indigenous compost. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(46), 65513–65524. Malaysia. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15011-0>
- Aguilar, S., Enríquez, M., Uvidia, H. Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *Axioma* 27, 5-10. Ibarra, Ecuador. <https://axioma.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/803/690>
- Asamblea General. (2008). *Constitución De La Republica Del Ecuador*. Obtenido de Quito, Ecuador. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Asamblea Nacional. (2018). *Código Orgánico del Ambiente*. Ecuador. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Azim, K. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, 8, 1-18. Morocco. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>
- Bernal, M., Sommer, S., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L., & Michel, F. (2017). Chapter Three - Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic, Environmental, and Human Health Benefits. *Academic Press*, 144, 143–233. China. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.002>
- Bonilla, x., & Urbina, J. (2020). *Estudio comparativo de dos técnicas de descomposición de los residuos orgánicos del restaurante-cafetería del Campus José Ruben Orellana*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional] Quito, Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20954/1/CD%2010452.pdf>
- Céspedes, C. (2004). *Bases técnicas para la producción de Compost*, Chile. [https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6129/NR32011.pdf?sequence=1#:~:text=RELACI%C3%93N%20CARBONO%20NITR%C3%93GENO%20La%20relaci%C3%B3n,*N2\)%20%2B%20](https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6129/NR32011.pdf?sequence=1#:~:text=RELACI%C3%93N%20CARBONO%20NITR%C3%93GENO%20La%20relaci%C3%B3n,*N2)%20%2B%20)
- Chávez, R., Campos, R., Brenes, L., & Jiménez, M. (2019). Compostaje de residuos sólidos biodegradables del restaurante institucional del Tecnológico de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 32(1), 39-53. Costa Rica. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i1.4117>
- Comité Técnica de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018) Norma Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018, México. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-180-SCFI-2018.pdf>

- Correa, M., & Grace, D. (2014). Livestock Agriculture. *Academic Press*, 113–121. EEstados Unidos. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00161-3>
- Dewilda, Y., Aziz, R., & Handayani, R. (2019). The effect of additional vegetables and fruits waste on the quality of compost of cassava chip industry solid waste on takakura composter. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 602(1). Indonesia. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/602/1/012060>
- FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile. <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
- FAO. (2018). *Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta*. <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>
- FAO. (2023). *Portal de Suelos de la FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/es/>
- FOEN. (2019). *Federal Office For the Enviroment FOEN*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/waste/guide-to-waste-a-z/biodegradable-waste/types-of-waste/agricultural-waste.html>
- Government of Nova Scotia. (2010). *Understanding a Compost Test Report. Nova Scotia Agriculture*. Canadá. <https://novascotia.ca/agri/documents/lab-services/analytical-lab-manure-compost-report.pdf>
- Harrison, R. B. (2008). Composting and Formation of Humic Substances. In S. E. Jørgensen & B. D. Fath *Encyclopedia of Ecology*, 713–719. Estados Unidos. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00262-7>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. México. http://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/wp-content/uploads/2019/02/RUDICSv9n18p92_95.pdf
- Hibino et al. (2020). *Operation Manual for Small-to-Medium Scale Compost Centres Using the Takakura Composting Method*. Japan. https://www.iges.or.jp/en/publication_documents/pub/training/en/10774/Bandung_compost_manual_en.pdf
- Hoitink, H., & Madden, L. D. (2006). Systemic Resistance Induced by Trichoderma spp.: Interactions Between the Host, the Pathogen, the Biocontrol Agent, and Soil Organic Matter Quality. *Phytopathology*, 96(2), 186–189. Ohaio. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0186>
- Honobe, Y. (2013). *El Metodo Takakura, herramienta de responsabilidad ambiental*. Ecuador. <http://www.fonag.org.ec/web/imagenes/paginas/fondoeditorial/17.pdf>
- Hubbe, M., Nazhad, M., & Sánchez, C. (2010). Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. *BioResources*, 5(4), 2808–2854. México. <https://doi.org/10.15376/biores.5.4.2808-2854>
- Iliquín, R. (2015). Elaboración de compost utilizando residuos orgánicos aplicando los métodos takakura y em-compost. *Agroindustrial Science*, 4(2), 109–118. Perú. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/793/721>
- INAMHI. (2023). *Pronóstico por localidades LITORAL Ecuador*. <https://www.inamhi.gob.ec/pronostico/PronosticoEcuador.pdf>

- Iqbal, N., Agrawal, A., Dubey, S., & Kumar, J. (2020). Role of Decomposers in Agricultural Waste Management. *IntechOpen*. Sao Paulo. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93816>
- Junta de Andalucía. (2012). *Use El Compost: En Agricultura Viveros Y Paisajismo*. España. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Calidad_Ambiental/Gestion_De_Los_Residuos_Solidos/compost/Uso_Compost.pdf
- Instituto Nacional de Normalización (2004) Norma Chilena Oficial - NCH2880, Chile. https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh_2880_Compost_Clasificaci%C3%B3n.pdf
- La Madriz, J. (2019). *Metodología de la investigación*. México. <http://repositorio.cidecuador.org/bitstream/123456789/75/1/Metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf>
- Laca, A., Herrero, M., & Díaz, M. (2011). Life Cycle Assessment in Biotechnology. *Academic Press*. 2;839–851. España. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00140-9>
- Lobo, M., & Dorta, E. (2019). Utilization and Management of Horticultural. Waste *Woodhead Publishing*, 639–666. España. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00019-5>
- López, E., Andrade, A., Herrera, M., González, O., & García, A. (2017). Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. *Centro Agrícola*, 44(3). Cuba. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000300007
- López, W. (2010). *Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol* [Tesis de Grado, Instituto Politécnico Nacional] México. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/6940/1/TESIS%20WENNDY%20LOPEZ%20WONG.pdf>
- Loyon, L. (2018). Overview of Animal Manure Management for Beef, Pig, and Poultry Farms in France. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2; 1-10. Canada. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00036>
- Maisincho, J. C. (2015). *Evaluación fisicoquímica e identificación microbiológica de salmonella sp., shigella sp. Y echerincha coli, de tres abonos orgánicos producidos por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la provincia de Loja de aprovechamiento de los residuos sólido*. [Tesis de Maestría, Universidad de Las Fuerzas Armadas] Ecuador. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11582/1/T-ESPE-049542.pdf>
- Mejía, E., & Ramos, S. (2019). *Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de la Empresa Pública Municipal Mancomunada De Aseo De Los Cantones Colta, Alausi Y Guamote, mediante tratamientos biológicos. Compostaje, cocompostaje, vermicompostaje y takakura*. [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] Chimborazo-Ecuador. <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/10799/1/236T0430.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Agua (2020) Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales, Ecuador. <https://www.ambiente.gov.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>

- Mohanty, A., Seydibeyoglu, M., Sahoo, S., & Misra, M. (2011). Matching Crops for Selected Bioproducts. *Academic Press*, 101–109. Canadá. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00259-2>
- Nhamo, N., Kintche, K., & Chikoye, D. (2017). Advancing Key Technical Interventions Through Targeted Investment *Academic Press*, 39–79. Sur África. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810521-4.00003-7>
- Nuzir, F., Hayashi, S., & Takakura, K. (2019). Takakura Composting Method (TCM) as an Appropriate Environmental Technology for Urban Waste Management. *International Journal of Building, Urban, Interior and Landscape Technology (BUILT)*, 13, 67–82. Tailandia. <https://doi.org/10.14456/built.2019.6>
- Pinos, J., Garcia, J., Pena, L., Rendon, J., Gonzalez, C., & Tristan, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia* 46(4); 359-370 México. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004&nrm=iso
- Rynk, R., Cooperband, L., Oshins, C., Wescott, H., Bonhotal, J., Schwarz, M. Why compost? *Academic Press*, 1–26. Estados Unidos. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85602-7.00001-7>
- SafeOpedia. (2018). *SafeOpedia*. <https://www.safeopedia.com/definition/573/agricultural-waste>
- Secretaría Técnica del Medio Ambiente. (2006). *Norma técnica estatal ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006*. México. https://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma_pdf_ntea_006_sma_rs_2006.pdf
- Sharifi, M., Lynch, D., Hammermeister, A., Burton, D., & Messiga, A. (2014). Effect of green manure and supplemental fertility amendments on selected soil quality parameters in an organic potato rotation in Eastern Canada. Nutrient Cycling in Agr. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 100(2), 135–146. Canadá. <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9633-x>
- Soriano, J. (2016). *Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú] Perú. http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3487/Soriano_Vilcahuman.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Speight, J. (2020). Remediation technologies. *Butterworth-Heinemann.*, 263–303. Estados Unidos <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803810-9.00008-5>
- Stamatelatou, K., Pakou, C., & Lyberatos, G. (2011). Occurrence, Toxicity, and Biodegradation of Selected Emerging Priority Pollutants in Municipal Sewage Sludge. *Academic Press*, 473–484. Grecia. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00496-7>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & De Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Roma. <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>
- Sullivan, D. M. (2022). *Interpreting Compost Analyses*. Oregon State University Extension Service. Oregon. <https://catalog.extension.oregonstate.edu/em9217>
- Universidad de Murcia. (2020). *Biomasa*. Murcia. <https://www.um.es/web/campusostenible/ambiental/energia/energias-renovables/biomasa>

Whalen, J., Thomas, B., & Sharifi, M. (2019). Novel Practices and Smart Technologies to Maximize the Nitrogen Fertilizer Value of Manure for Crop Production in Cold Humid Temperate Regions. *In Advances in Agronomy* , 1(135). Canadá.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.09.002>

ANEXOS

Anexo 1. Registro de peso inicial y final de cada pila de compost.

Tratamientos	Repeticiones	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)
Takakura (T1)	R1	115	80
	R2	115	74
	R3	115	75
	R4	115	61
Tradicional (T2)	R1	115	91
	R2	115	88
	R3	115	83
	R4	115	88

Anexo 2. Registro del crecimiento vegetativo del maíz.

Tratamiento	Repetición	Altura (cm)	Número de hojas (u)	Longitud de la raíz (cm)	Diámetro del tallo (cm)
1	R1	48	4	15	0,41
	R2	41,7	4	29	0,375
	R3	40	4	30	0,34
	R4	50,5	4	30	0,39
2	R1	43	4	33	0,33
	R2	51	4	32	0,42
	R3	43	4	30	0,345
	R4	43,8	4	23,3	0,3
3	R1	47	4	47	0,43
	R2	32	3	19	0,28
	R3	34,2	3	26,6	0,305
	R4	38	3	28,8	0,29
4	R1	40	4	26,5	0,35
	R2	48	4	18,5	0,34
	R3	35	3	17	0,28
	R4	48	4	29,5	0,38
5	R1	47	4	23	0,41
	R2	0	0	0	0
	R3	30	3	13,8	0,25
	R4	43,1	4	21,5	0,38
6	R1	44	4	30	0,4
	R2	37	4	31	0,35
	R3	41	4	26	0,32
	R4	41	4	27,5	0,3
7	R1	32	4	27	0,36
	R2	0	0	0	0
	R3	0	0	0	0
	R4	23,5	3	19	0,18

Anexo 3. Registro de temperatura de cada pila de compost.

Semanas	Días	Takakura °C				Tradicional °C			
		T1R1	T1R2	T1R3	T1R4	T2R1	T2R2	T2R3	T2R4
1	30-jun-22	41	40	40	36	36	29	34	33
	1-jul-22	45	47	46	39	38	27	36	38
	2-jul-22	49	45	47	43	35	30	42	51
	3-jul-22	50	47	49	47	38	33	45	49
	4-jul-22	53	51	53	52	39	35	45	46
	5-jul-22	45	44	42	44	38	37	46	42
	6-jul-22	33	36	37	39	37	41	47	40
2	7-jul-22	35	36	36	38	38	38	44	40
	8-jul-22	33	36	36	35	34	36	40	36
	9-jul-22	32	36	35	31	33	34	35	33
	10-jul-22	31	34	35	32	33	34	35	34
	11-jul-22	31	35	33	30	31	33	35	33
	12-jul-22	30	34	32	31	32	32	35	31
	13-jul-22	30	34	32	30	35	32	34	30
3	14-jul-22	32	35	34	32	32	30	34	33
	15-jul-22	28	29	32	27	26	30	31	33
	16-jul-22	29	30	33	30	32	31	30	30
	17-jul-22	30	30	32	31	34	33	34	35
	18-jul-22	32	31	30	32	36	36	38	37
	19-jul-22	31	31	30	31	36	36	37	37
	20-jul-22	30	28	30	31	37	34	36	35
4	21-jul-22	32	33	32	33	41	39	37	36
	22-jul-22	32	32	31	30	36	39	36	35
	23-jul-22	27	27	28	30	33	29	26	32
	24-jul-22	28	27	31	29	33	30	29	34
	25-jul-22	29	30	32	32	34	34	29	37
	26-jul-22	28	30	31	30	36	36	35	37
	27-jul-22	33	32	34	30	38	34	31	39
5	28-jul-22	30	30	29	27	33	31	31	35
	29-jul-22	27	28	28	25	32	27	32	33
	30-jul-22	28	28	30	28	33	33	31	32
	31-jul-22	29	29	32	30	33	33	32	33
	1-ago-22	30	31	32	32	32	31	32	33
	2-ago-22	30	32	33	32	34	32	34	34
	3-ago-22	29	31	33	32	30	32	32	32
6	4-ago-22	27	30	31	32	30	30	32	31
	5-ago-22	33	30	29	30	32	31	28	30
	6-ago-22	33	32	27	30	31	31	30	27
	7-ago-22	31	30	28	30	30	31	30	27
	8-ago-22	29	28	30	29	30	30	29	27
	9-ago-22	28	28	27	30	30	31	30	28
	10-ago-22	28	29	27	29	29	31	30	28
	11-ago-22	26	28	26	27	26	28	27	26

7	12-ago-22	26	27	25	27	25	27	26	25
	13-ago-22	25	27	27	26	27	25	24	24
	14-ago-22	26	27	27	28	27	24	26	26
	15-ago-22	26	25	24	28	27	27	28	27
	16-ago-22	27	28	26	25	27	26	24	26
	17-ago-22	28	29	29	28	29	28	27	27
8	18-ago-22	29	31	29	27	28	29	27	28
	19-ago-22	27	28	27	26	28	27	27	27
	20-ago-22	27	28	26	26	27	26	25	27
	21-ago-22	25	27	24	24	25	22	24	23
	22-ago-22	25	25	22	23	23	22	23	22
	23-ago-22	25	26	22	23	22	22	22	23
	24-ago-22	26	25	24	23	22	23	23	23
	25-ago-22	26	27	23	22	22	23	22	22
9	26-ago-22	26	24	23	22	23	22	23	23
	27-ago-22	25	24	23	23	23	23	23	24
	28-ago-22	25	24	23	23	24	23	23	24
	29-ago-22	25	25	24	24	23	23	23	24
	30-ago-22	25	23	23	23	22	22	22	22
	31-ago-22	25	25	24	23	22	23	22	23
10	1-sep-22	25	25	23	25	23	23	23	23
	2-sep-22	26	25	24	25	24	24	24	25
	3-sep-22	25	26	25	24	23	24	24	25
	4-sep-22	24	25	24	24	23	24	24	25
	5-sep-22	24	25	24	24	24	24	24	24
	6-sep-22	24	25	24	24	22	23	24	24
	7-sep-22	25	26	24	24	23	22	23	24
	8-sep-22	26	26	24	25	24	24	24	24
11	9-sep-22	26	26	25	25	24	24	25	24
	10-sep-22	27	26	26	25	24	25	26	26
	11-sep-22	26	26	25	25	24	23	24	24
	12-sep-22	27	27	26	26	25	26	25	25
	13-sep-22	28	28	27	27	26	27	27	28
	14-sep-22	28	27	27	27	25	26	27	27
12	15-sep-22	29	27	27	27	25	25	26	27
	16-sep-22	26	28	27	26	24	24	25	25
	17-sep-22	26	26	25	25	23	23	24	25
	18-sep-22	24	26	25	25	22	23	23	24
	19-sep-22	27	27	26	25	24	24	24	26
	20-sep-22	27	27	26	26	23	23	23	25
	21-sep-22	26	27	25	27	24	23	23	25
13	22-sep-22	27	26	26	26	24	24	24	25
	23-sep-22	24	23	24	24	24	23	24	24
	24-sep-22	24	24	24	24	24	24	24	25
	25-sep-22	23	22	24	22	24	22	24	23
	26-sep-22	24	22	23	24	23	22	23	23

Anexo 4. Registro de pH de cada pila de compost.

Semanas	Días	Takakura (pH)				Tradicional (pH)			
		T1R1	T1R2	T1R3	T1R4	T2R1	T2R2	T2R3	T2R4
1	30-jun-22	7	7	7	7	7	7	7	6,5
	1-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	6
	2-jul-22	7	7	7	7	6,5	7	7	6
	3-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	6,5
	4-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	6,5
	5-jul-22	7	6,5	7	7,5	7	7	7	6,5
	6-jul-22	7	6	7	7	7	7	7	7
2	7-jul-22	7	7,5	7	7,5	6,5	7	7	6,5
	8-jul-22	7	7,5	7	7,5	6,5	7	7,5	7
	9-jul-22	7	7	7	7	6,5	7	7,5	7
	10-jul-22	7,5	7	7	7	6,5	7	7	7
	11-jul-22	7	7	7	7	6	6,5	7,5	7
	12-jul-22	7	7,5	7	7	5,5	5	7	7
	13-jul-22	7	7,5	7,5	7,5	4,5	4,5	7,5	7
3	14-jul-22	7	7	7	7	7	5,5	7	6,5
	15-jul-22	7	7	7	7	7	6,5	4,5	5,5
	16-jul-22	7	7,5	7	7	7	6	7	4,5
	17-jul-22	7	7,5	7	7	6,5	6,5	7	4,5
	18-jul-22	7	7	7	7	6	7	7,5	4,5
	19-jul-22	7	7	7	7	6,5	7	7	5
	20-jul-22	7	7	7	7	7	7,5	7,5	4,5
4	21-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	6,5
	22-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	23-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	24-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	25-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	26-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	27-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	7
5	28-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	29-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	30-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	31-jul-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	1-ago-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	2-ago-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	3-ago-22	7	7	7	7	7	7	7	7
6	4-ago-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	5-ago-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	6-ago-22	7,5	7	7	7,5	7	6,5	7,5	7
	7-ago-22	7,5	7	7	7	6	7	7,5	7
	8-ago-22	7	7	7	7,5	6,5	6,5	7	7
	9-ago-22	7,5	7,5	7	7	6,5	7	7,5	6,5
	10-ago-22	7	7	6,5	7	7,5	6,5	7	7
	11-ago-22	7	7	7	7	6,5	6,5	6	6

7	12-ago-22	7	7	7,5	7	5	6	4,5	6,5
	13-ago-22	7,5	7	7	7,5	7	5	7,5	6,5
	14-ago-22	7	7,5	7	7	6,5	6,5	7,5	5
	15-ago-22	7	7	7	7	6,5	6,5	7	6,5
	16-ago-22	7	7,5	7,5	7,5	6	6,5	7	6,5
	17-ago-22	7	7	7,5	7	7	6,5	7	7
	18-ago-22	7	7	7	7	6,5	6	7	7
8	19-ago-22	7	7	7	7,5	6,5	6,5	7	6,5
	20-ago-22	7	7	7	7,5	7	6	7,5	7
	21-ago-22	7	7	7	7	6,5	6,5	6	5
	22-ago-22	7	7	7	7,5	6	5	7	4,5
	23-ago-22	7	7	7	7	7	7	7	6
	24-ago-22	7	7	7	7,5	5,5	7	7	6
	25-ago-22	7	7	7	7	7	7	7	7
9	26-ago-22	7	7,5	7,5	7	7	7,5	7	7
	27-ago-22	7	7	7	7	7	6	7	7
	28-ago-22	7,5	7,5	7	7	7	4,5	7	6,5
	29-ago-22	7	7	7	7	7	7	7	6,5
	30-ago-22	7	7,5	7,5	7	6	7	7	6,5
	31-ago-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	1-sep-22	7	7,5	7,5	7	6	7	7	7
10	2-sep-22	7	7,5	6	7	6,5	7	7	6,5
	3-sep-22	7	7,5	7	7,5	7	7	7	7
	4-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	5-sep-22	7,5	7	7,5	7	7	7	7	7
	6-sep-22	7,5	7	7	7	6,5	7	6	7
	7-sep-22	7	7,5	7,5	7,5	7	6,5	7	7
	8-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
11	9-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	10-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	11-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	6
	12-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	13-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	14-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	15-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
12	16-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	17-sep-22	7	7	7,5	7,5	6,5	7	7	7
	18-sep-22	7,5	7,5	7	7	6,5	7	7,5	7
	19-sep-22	7	7	7	7	7	6,5	7	7
	20-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	21-sep-22	7	7	7	7	7	7	7,5	7
	22-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
13	23-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	24-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	25-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7
	26-sep-22	7	7	7	7	7	7	7	7

Anexo 5. Análisis físico químico de los métodos Takakura y tradicional.



ANÁLISIS PSL 355. ANÁLISIS DE CONTENIDOS QUÍMICO DE ABONO

Remitente: Valeria Cobos	Localidad: no reportado
Telf.:	email:
Muestra: sustrato orgánico	Estado de la muestra: optimo
Orden de trabajo: psl 355	Factura No.: 4968
Fecha de recepción: 31.08.2022	Fecha de resultados: 27.10.2022

RESULTADOS

PARAMETRO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	METODO
Humedad	18,4 %	12,77 %	Gravimétrico (NTC 5167)
Cenizas	38,2 %	28,9 %	Gravimétrico (NTC 5167)
Carbono orgánico Oxidable	12,7 %	11,33 %	Walkle y Black (NTC 5167)
pH	6,87	7,2	Potenciometro
Densidad	0,51 g ml ⁻¹	0,22 g ml ⁻¹	Gravimétrico (NTC 5167)
ce	12,2 mS/cm	9,88 mS/cm	Conductivimetro
CIC	22,5 me/100g	19,9 me/100g	Volumétrico (NTC 5167)
C/N	2,48	2,76	
N orgánico TOTAL	5,12 %	4,1 %	Kjeldhal (NTC5167)
P	13,99 %	11,23 %	Colorimétrico (NTC5167)
K	1,99 %	0,92 %	Abs. Atómica (NTC5167)
Ca	7,89 %	6,89 %	Abs. Atómica (NTC5167)
Mg	0,88 %	0,77 %	Abs. Atómica (NTC5167)
S	0,45 %	0,35 %	Turbidimétrico (NTC5167)
Fe	1,68 %	0,99 %	Abs. Atómica (NTC5167)
Mn	0,55 %	0,37 %	Abs. Atómica (NTC5167)
Cu	0,08 %	0,02 %	Abs. Atómica (NTC5167)
Zn	0,042 %	0,027 %	Abs. Atómica (NTC5167)
B	0,001 %	n.d.	Colorimétrico (NTC5167)
Na	0,58 %	0,33 %	Emisión de llama (NTC 5167)
Residuo total insoluble en acido	12,7 %	11,73 %	Gravimétrico (NTC 5167)
Color	3/4/5YR	3/4/5YR	Munsell
Textura	Húmica	Húmica	Cualitativa
Materia orgánica	32,8 %	33,7 %	Walkle y Black (NTC 5167)
Ácidos Húmicos	2,3 %	1,6 %	Cromatografía UV/VIS
Ácidos Fulvicos	4,3 %	3,8 %	Cromatografía UV/VIS

Carlos Falconi Borja PhD
 BIONIKA-PSL labs
 0999796977 www.bdki.eu

Anexo 6. Análisis microbiológico de los métodos Takakura y tradicional.



Fecha de Muestreo: 31.08.2022
 Fecha de Laboratorio: 27.10.2022
 Solicitado por: Sta. Valeria Cobos
 Orden de trabajo: psi 355
 Sustrato: compost
 Tipo de Análisis: BIOGRAMA MICROBIANO BIOCATALITICO
 Factura No: 4968
 Localización Geográfica: Prov. Azuay

METODOLOGIA
 Observación directa (OD).
 Colorimetría de muestras de estados inducidos (CMES).
 Análisis en Microplots (AMP: MA, APD, NA, KB, KA).
 Microscopia N/CO.
 Cámara Microscópica Infiltrada (CMI).
 Difusión Microscópica Normanski (DMN)
 Reacción Enzimática Microbiana (REM)

MICROORGANISMOS GENERO/ESPECIE	MUESTRA 1	MUESTRA 2	EVALUACIONES BIOCATALITICAS
	log cfu g-1	log cfu g-1	
<i>Actinomyces</i> sp.	2,2154751	1,2012487	productor de antibióticos, en materia orgánica mineralizada, se visualizan como colonias de color blanco cremoso, cuando maduro
<i>Apiospora</i> sp	1,2012547	0,3625143	ascomiceto, formador de micelas, polímeros quelatantes de material mineral originario de la mineralización de la materia orgánica
<i>Arthrobacter</i> sp.	2,6821498	1,6012478	biocatalizador de materia orgánica, desdoblador de ligno y celulítico biocatalizador de S, con mecanismos acidificadores del medio.
<i>Aspergillus niger</i>	1,9652147	0,5147845	biocatalizador de vitaminas en lechos de compost, con exudaciones de color amarillo crema, metabolitos eficientes para el cultivo.
<i>Bacillus megaterium</i>	2,3012011	0,6957482	saprotífico, solubilizador de componentes potásicos del suelo, eficiente productor de biopolímeros
<i>Bacillus mycoides</i>	1,8957897	2,6514875	antagonista potencial de fitopatógenos, importante sanitizante fitopatógeno, tolera altas temperaturas, desarrolla endosporas
<i>Bacillus subtilis</i>	0,9865478	n.d.	eficiente productor de antibióticos iturínicos y surfatínicos y amplia fama de biopolímeros con diferentes estructuras moleculares
<i>Bacillus pumilus</i>	2,2101475	2,0895478	poblaciones dependientes de condiciones de pH ácidos y alta temperatura especialmente al inicio de la fase de alta temperatura
<i>Curtobacterium</i> spp.	0,9532147	1,3621481	saprotífico identificado dentro de las poblaciones de regulación de maduración de compost, deben disminuir por ser maduras
<i>Curtobacterium</i> sp.	1,7024831	1,2004785	bacteria transiente (t) de suelo, esporádica, con alta capacidad metabólica en todos los estadios de producción de compost
<i>Gelasinospora</i> sp.	1,2301253	2,6521472	micorriza especialmente importante en la última fase de la producción de compost de apariencia blaquecina filamentosa
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1,9548575	0,9854751	bacteria beneficiosa, localizada especialmente en procesos de quelación de hierro, se la considera como una bacteria BPC
<i>Rhodospirillum</i> sp.	0,9865171	1,1564782	levadura saprotífica, biocataliza biomoléculas orgánicas complejas, biocompleja lignosulfatos con minerales edáficos.
<i>Streptomyces griseus</i>	1,0215485	0,9652178	desdoblador de materia orgánica en todas las fases de transformación, notoria es su producción de ácidos húmicos y fúlvicos
<i>Thiobacillus</i> sp.	0,9652474	1,5621741	biocatalizador y predigestor de azufre, materia básica en la formación de proteínas complejas.
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	1,0320543	0,9532122	desdoblador de materia orgánica, construye quelatos tipo sulfónicos con acción de metabolitos de <i>Thiobacillus</i>
<i>T. hamatum</i>	0,6854758	n.d.	forma complejos alelopáticos microbianos alrededor de sus colonias de color verdoso blanco púrpura con gutulas

CONCLUSIONES.

1. El biograma (BGRM) muestra la factibilidad de implementar o comprobar tecnologías de BIOCATALIZACION en materia de bioremediación o aplicación agrícola
2. Se considera que los agentes de Biocatalización son nativos de la zona, resistentes a la presión de selección agroquímica tradicional y con desarrollo paralelo al microorganismos nativos.
3. El BGRM, muestra el tipo de sistema orgánico en estudio, donde cinética de producción de abonos es sincrónica en todas las fases de producción, amplia capacidad de respuesta a procesos de adaptación sensibilidad agroquímica, agresividad, tolerancia, adaptación, etc.
4. El soporte nutricional de los componentes del microcosmos puntualizados en este análisis son exclusivamente expresados por el sustrato donde la mayor destreza de consumo lo muestran la versatilidad de los biocatalizadores, la expresión bioquímica es sincrónica a la población microbiana existe un equilibrio entre la materia prima y el resultado de la biocatalización de estos.
5. La Biocatalización continúa con la mejora del medio donde se programa su aplicación con beneficio bioquímico, microbiológico, biofísico y mineral. con la bufferización microbiana mineral de suelo donde la mayoría de elementos se hacen mucho más disponibles por efecto de mecanismos hacen mucho más disponibles por efecto de mecanismos de quelatización, sideroforización de elementos nutricionales.

Carlos Falconi Borja Ph.D.
 BIONIKA Laboratorios
 www.bdk.eu
 plantspherelab@biosoftware.de
 098508315-099773664

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Karen Valeria Cobos Cajamarca portadora de la cédula de ciudadanía N.º 1400960728. En calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “CALIDAD DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS AGROPECUARIOS CON EL MÉTODO TAKAKURA, Y SU EFECTO EN EL DESARROLLO DE LA PLANTA DE MAIZ EN SU FASE INICIAL” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 28 de marzo de 2023

F:

Karen Valeria Cobos Cajamarca

1400960728