



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

**COMPARACIÓN DE DOS TIPOS DE COMPOST
TRATADOS CON DIFERENTES ACELERADORES
BIOLÓGICOS APROVECHANDO LOS RESIDUOS
ORGÁNICOS DEL SECTOR DE PIANGUAPÍ –
ESMERALDAS**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTORA

KAROL ANDREA ZAMORA LOOR

ASESOR

MGT. FREDDY HERNÁN QUIROZ PONCE

ESMERALDAS – NOVIEMBRE, 2018

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado el cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCE-SE previo a la obtención del título de INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Presidente Tribunal de Graduación

Lector 1

Mgt. Nelson Alencastro Guerrero

Lector 2

Mgt. Sonia Mateos Marcos

PhD. Jorge Velazco Vargas

Coordinador de la Carrera de Gestión Ambiental

Mgt. Freddy Quiroz Ponce

Director de Tesis

Esmeraldas,..... de..... de 2018

AUTORÍA

Yo, Karol Andrea Zamora Loor, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica de la autora y de la PUCE-ESMERALDAS

Karol Andrea Zamora Loor
C.I.080459005-7

DEDICATORIA

Llena de alegría, esperanza y amor, dedico este proyecto en primer lugar a Dios; quien siempre fue mi fortaleza en este proceso de aprendizaje, dirigiéndome en todo momento por el sendero correcto llegando a convertirse en la guía del destino de mi vida.

También, dedico este logro a mis padres, quienes fueron mis guías terrenales, brindándome todo el tiempo su apoyo y confianza incondicional.

A mis hermanos, por la motivación en todo momento a ser una mejor persona fomentando en mí el deseo de superación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por prestarme vida y darme sabiduría para culminar este proceso en mi vida. A mis padres por ser siempre ese pilar fundamental para no decaer en ningún momento, a mi asesor Freddy Quiroz Ponce por la constante predisposición y dedicación brindada.

A mis lectores Sonia Mateos y Nelson Alencastro, por toda la atención y apoyo brindado durante el proceso de desarrollo de este proyecto, donde su ayuda fue una parte fundamental para poder cumplir con mi meta.

A mis amigos Karen Padilla, Hider Gaspar y Carlos Castro, quienes siempre estuvieron dispuestos a brindarme su apoyo incondicional en todo momento, convirtiéndose así en piezas claves para cumplir mis objetivos y poder dar fin a este proceso de aprendizaje.

Al señor Mario Cheme Chere, presidente del sector de Pianguapí con quien quedo eternamente agradecida por su amabilidad y gran corazón al permitir ejecutar el proyecto de investigación en sus predios; y a toda la comunidad en general del sector por el apoyo y atención brindada.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORÍA.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	13
Presentación de la investigación.....	13
Planteamiento del problema	14
Justificación del problema.....	14
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	17
Bases teórico- científicas.....	17
Antecedentes	28
Marco Legal	29
CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
Área de Estudio	31
Recolección de datos	31
Análisis de laboratorio	45
Análisis de datos.....	46
CAPITULO II: RESULTADOS	47
Variables Respuestas en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento	47
Temperatura durante el proceso de compostaje.....	48
pH durante el proceso de compostaje.....	50
Humedad durante el proceso de compostaje	52

Densidad Aparente durante el proceso de compostaje	54
Análisis Químico.....	56
Análisis costo/beneficio	61
Costo de inversión.....	61
Costo de operación y mantenimiento	62
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....	63
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	67
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS.....	73

ABREVIATURAS

Art.: Artículo

°C: Grados centígrados

gr: Gramo

kg: Kilogramo

>: Mayor que

<: Menor que

EMA's: Microorganismos autóctonos eficientes

mmhos/cm: milimhos sobre centímetro - unidad de medición de la conductividad eléctrica

ppm: Partes por millón

%: Porcentaje

RVS-MERE: Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas

C/N: Relación carbono/nitrógeno

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases durante el proceso de compostaje y pH. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Roca ⁽¹⁵⁾	24
Figura 2. Mapa del Sector de Pianguapí. Fuente: Karol Zamora.....	31
Figura 3. Diseño y medidas en cm de los lechos. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Larreátegui ⁽⁹⁾	36
Figura 4. Diseño de la parte inferior de los lechos. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Larreátegui ⁽⁹⁾	37
Figura 5. Ubicación y separación en cm de los lechos en el terreno. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Larreátegui ⁽⁹⁾	38
Figura 6. Ubicación de los diferentes elementos para la obtención de EMA´s. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Larreátegui ⁽⁹⁾	40
Figura 7. Organización de las capas en cada lecho de compostaje. Fuente: Larreátegui ⁽⁹⁾	43
Figura 8. Porcentaje de residuos recolectados en el sector de Pianguapí.....	47
Figura 9. Medias aritméticas de la temperatura en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento.....	48
Figura 10. Medias aritméticas del pH en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento	50
Figura 11. Medias aritméticas de humedad en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento	52
Figura 12. Medias aritméticas de la densidad aparente en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento.....	54
Figura 13. Porcentaje de Materia Orgánica y Carbono en función al tiempo de operación y tipo de tratamiento.....	57
Figura 14. Porcentaje de relación C/N en función al tiempo de operación y tipo de tratamiento	58
Figura 15. Porcentaje de concentraciones NPK en función al tiempo de operación y tipo de tratamiento.....	58
Figura 16. Porcentaje de concentraciones de óxido de calcio y óxido de magnesio en función al tiempo de operación y tipo de tratamiento	59
Figura 17. Conductividad eléctrica en función al tiempo de operación y tipo de tratamiento	60
Figura 18. Resultados del análisis inicial y final del sustrato.....	73
Figura 19. Continuación del análisis inicial y final del sustrato	74
Figura 20. Formato de registro de asistencia que se utilizó en la capacitación impartida en el sector de Pianguapí	75
Figura 21. Ficha de campo para la recolección de los residuos orgánicos en el sector de Pianguapí	75
Figura 22. Ficha de campo de la variable temperatura durante el proceso de compostaje	76
Figura 23. Ficha de campo de la variable humedad durante el proceso de compostaje.....	76

Figura 24. Datos de la variable temperatura durante la semana 1	77
Figura 25. Datos de la variable temperatura durante la semana 2	77
Figura 26. Promedios de temperatura durante las siete semanas de investigación	78
Figura 27. Promedios de pH durante las siete semanas de investigación	78
Figura 28. Promedios de humedad durante las semanas de investigación	79
Figura 29. Promedios de densidad aparente durante las semanas de investigación	79
Figura 30. Análisis post-hoc-Tukey de la variable temperatura en función del tipo de acelerador.....	80
Figura 31. Preparación de material para la captura de los EMA´s	81
Figura 32. Entierro de las tarrinas para la captura de los EMA´s	81
Figura 33. Cubierta de las tarrinas con hojarasca para la captura de los EMA´s	82
Figura 34. Resultado de la captura de EMA´s	82
Figura 35. Mezcla para obtener la solución madre	83
Figura 36. Solución aceleradora lista para ser diluida	83
Figura 37. Capacitación impartida a la población del sector de Pianguapí.....	84
Figura 38. Entrega de fundas para la recolección de los residuos orgánicos	84
Figura 39. Triturado de los residuos orgánicos.....	85
Figura 40. Preparación del acelerador a base de levadura más gaseosa.....	85
Figura 41. Primera capa del lecho-material leñoso seco	86
Figura 42. Capa de material orgánico húmedo	86
Figura 43. Suministración de sustancia aceleradora	87
Figura 44. Culminación de armado de los lechos de compostaje	87
Figura 45. Toma de datos de las variables analizadas.....	88
Figura 46. Apunte de datos de las variables respuestas	88
Figura 47. Volteo de los lechos de compostaje	89
Figura 48. Volteos.....	89
Figura 49. Proceso de compostaje.....	90
Figura 50. Toma de muestra para el análisis de laboratorio	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Residuos apropiados para compostar y sus diferentes efectos. Fuente: Román, Martínez y Pantoja. ⁽⁴⁾	20
Tabla 2. Indicadores de la evolución del proceso de compostaje. Fuente: Román et al. ⁽⁴⁾	21
Tabla 3. Posibles problemas, causas y soluciones durante el proceso de compostaje. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾	26
Tabla 4. Descripción de los diferentes niveles y factores empleados en el proceso de experimentación de compostaje. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾	32
Tabla 5. Diseño experimental de los diferentes tratamientos a utilizar. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾	33
Tabla 6. Diseño experimental con los diferentes tratamientos a utilizar. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾	33
Tabla 7. Distribución del material a ser compostado por capas. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾	43
Tabla 8. Promedio de residuos generados a diario por hogar dentro del sector de Pianguapí.....	47
Tabla 9. Diferencias significativas de la variable temperatura en relación al tipo de residuos y aceleradores mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.	49
Tabla 10. Diferencias significativas de la variable pH en relación al tipo de residuo y acelerador mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.	51
Tabla 11. Diferencias significativas de la variable humedad en relación al tipo de residuo y acelerador mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.	53
Tabla 12. Diferencias significativas de la variable densidad aparente en relación al tipo de residuo y acelerador mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.	55
Tabla 13. Resultados de análisis químico del estado inicial y final del suelo.....	56
Tabla 14. Costo de inversión inicial para la producción de compost.....	61
Tabla 15. Producción total en base a la inversión inicial.....	62
Tabla 16. Proyección de ganancia con la producción de 1520kg de compost.....	62

RESUMEN

La presente investigación se establece para contrarrestar la problemática existente en el sector de Pianguapí en cuanto a la recolección de los residuos sólidos, mediante la producción de un abono orgánico denominado compost. El objetivo de este estudio fue comparar dos tipos de compost a base de vegetales y frutas, tratados con diferentes aceleradores biológicos para determinar el de mejor calidad, aprovechando los residuos orgánicos generados en el sector de Pianguapí-Esmeraldas. Para la investigación se llevó a cabo un diseño experimental factorial completo aleatorio el cual constó de dos factores y dos niveles, siendo el factor uno los residuos orgánicos a utilizar (vegetales y frutas), y el factor dos los tipos de aceleradores biológicos (EMA's y levadura con gaseosa), formando seis diferentes combinaciones (vegetales + EMA's; vegetales + levadura y gaseosa; frutas + EMA's; frutas + levadura y gaseosa; y los dos últimos destinados a grupo control, quedando el tratamiento cinco de vegetales y el seis de frutas), para cada tratamiento se realizaron tres réplicas estableciendo un total de 18 lechos para un periodo de siete semanas, durante todo el proceso de compostaje se llevaron controles semanales a las variables temperatura, pH, humedad y densidad aparente, y un análisis de laboratorio al estado inicial del sustrato y otro al final del proceso para conocer los nutrientes aportados al suelo. En los resultados obtenidos el tratamiento a base de vegetales y EMA's reportó los rangos más óptimos durante el proceso de compostaje, alcanzando a diferencia de los demás tratamientos la mayor temperatura con 56 °C, garantizando una higienización del producto final y un adecuado nivel de macro y micronutrientes necesarios para recuperar la fertilidad y estructura del suelo. Además, se comprobó que la utilización de soluciones aceleradoras disminuye hasta un 50% del tiempo requerido para producir compost, puesto que los grupos controles al finalizar el proceso de compostaje se mantenían en la segunda fase (termófila). Por lo tanto, se concluyó que el tratamiento más eficaz para obtener un compost de calidad es a base de vegetales y EMA's, debido a las óptimas condiciones reportadas durante todo el proceso de compostaje y a los resultados del análisis de laboratorio.

Palabras claves: compost, aceleradores biológicos, EMA's.

ABSTRACT

This research is established to counteract the existing problem in the sector of Pianguapí regarding the collection of solid waste, through the production of an organic fertilizer called compost. The objective of this study was to compare two types of compost based on vegetables and fruits, treated with different biological accelerators to determine the best quality, taking advantage of organic waste generated in the sector of Pianguapí-Esmeraldas. For the investigation, a randomized complete factorial experimental design was carried out, which consisted of two factors and two levels, being the factor one the organic residues to be used (vegetables and fruits), and the factor two the types of biological accelerators (EMA' and yeast with soda), forming six different combinations (vegetables + EMA's, vegetables + yeast and soda, fruits + EMA's, fruits + yeast and soda, and the last two destined to control group, leaving the treatment five of vegetables and six fruit), for each treatment three replications were made establishing a total of 18 beds for a period of seven weeks, throughout the composting process weekly controls were taken to the variables temperature, pH, humidity and bulk density, and a laboratory analysis to the initial state of the substrate and another at the end of the process to know the nutrients contributed to the soil. In the results obtained the plant-based treatment and EMA's reported the most optimal ranges during the composting process, reaching, unlike the other treatments, the highest temperature with 56 ° C, guaranteeing a sanitation of the final product and an adequate level of macro and micronutrients necessary to recover soil fertility and structure. In addition, it was found that the use of accelerator solutions decreases up to 50% of the time required to produce compost, since the control groups at the end of the composting process remained in the second phase (thermophilic). Therefore, it was concluded that the most effective treatment to obtain a quality compost is based on vegetables and EMA's, due to the optimal conditions reported during the whole composting process and the results of the laboratory analysis.

Keywords: compost, biological accelerators, EMA's.

INTRODUCCIÓN

Presentación de la investigación

A nivel mundial los residuos se han convertido en una gran dificultad para la población a consecuencia de factores como el crecimiento poblacional y el acelerado consumo, que a su vez han contribuido a la acumulación de miles de toneladas de residuos por año.⁽¹⁾ La falta de avances tecnológicos en algunos países, se ha convertido en la principal causa del inadecuado manejo de los residuos sólidos tales como: la combustión a cielo abierto y la disposición final de los mismos en vertederos, lo cual está provocando grandes afectaciones tanto en el ámbito político, como socio ambiental.⁽²⁾

Así mismo, existen otras acciones del ser humano como el arrojo de residuos que resultan ser perjudiciales para el medio ambiente y la belleza paisajística de un determinado lugar, produciendo incluso olores ofensivos a causa de la liberación de gases, de igual manera, es evidente la contaminación de suelos y aguas debido a la producción de lixiviados, facilitando a su vez la proliferación de vectores que provocan afecciones en la salud de las personas.⁽³⁾ Han sido muchos los intentos por aprovechar los residuos orgánicos, sin embargo, a causa de la carencia de espacios adecuados para estos residuos el destino final es la quema, entierro y arrojo de los mismos al exterior hasta su degradación.⁽⁴⁾ Uribe ⁽⁵⁾, citado por Rojas *et al.*^(3 p11), menciona que actualmente han surgido medidas para contrarrestar esta problemática, con la producción de abonos orgánicos mediante la utilización de ciertos residuos resultantes de la agroindustria y agricultura, que a su vez permiten convertir estos residuos en nutrientes para el suelo. Cabe recalcar, que en la actualidad una de las alternativas más utilizadas a nivel nacional como internacional es el compost, debido a las inmensas propiedades que le genera al suelo y a la capacidad que tiene de incrementar la productividad y calidad del suelo mediante el aprovechamiento de la descomposición de los componentes orgánicos por la actividad microbiana presente en el proceso. ^(1,6) Torres ⁽⁷⁾, menciona que el compostaje es un proceso que se da en condiciones controladas mediante la descomposición de los residuos orgánicos (hojas, estiércol, restos de frutas y vegetales), a través de la transformación microbiana dando origen a un abono natural (compost) de gran utilidad para los suelos, en especial los que quedan devastados luego de un cultivo, es decir, que mediante la utilización del compost se recupera la fertilidad y estructura del suelo, debido a la mejora que realiza en las

propiedades biológicas, físicas y químicas del mismo. De igual manera, el compost incrementa la capacidad para retener nutrientes, humedad, regula el pH y controla enfermedades que puede padecer el suelo a consecuencia de las actividades antropogénicas.⁽⁸⁾

Por otra parte, es importante reconocer que el compost es una manera sencilla y barata para darle un aprovechamiento a los residuos orgánicos que son descartados en las actividades domésticas.⁽⁹⁾ Así pues, este estudio tiene como objetivo comparar dos tipos de compost a base de vegetales y frutas, tratados con diferentes aceleradores biológicos para determinar el de mejor calidad, aprovechando los residuos orgánicos generados en el sector de Pianguapí, a fin de generar resultados en cuanto a la materia orgánica y acelerador biológico necesario para la obtención de un compost de calidad, que aporte con los nutrientes necesarios para recuperar cualquier tipo de suelo, y que a su vez permita impulsar el aprovechamiento de los residuos orgánicos resultantes de las actividades domésticas, y poder evitar que se continúen realizando quemas y arrojados directamente de estos residuos al Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas (RVSMERE) y a un brazo del río Esmeraldas.

Planteamiento del problema

¿La manipulación de dos tipos de compost mediante el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el sector de Pianguapí, aplicando diferentes aceleradores biológicos, tendrá resultados beneficiosos en la obtención de compost de calidad?

Justificación del problema

Las actividades domésticas son una de las principales acciones generadoras de residuos orgánicos, capaces de producir impactos ambientales como consecuencia de la inadecuada manipulación de estos residuos, sobre todo en su disposición final debido que en su mayoría son depositados en rellenos sanitarios o vertederos ⁽¹⁰⁾, produciendo afectaciones que van desde la generación de gases y líquidos (lixiviados) hasta problemas en la salud humana.⁽¹¹⁾ Es así, que Ecuador no está exento de estas afectaciones, a causa que existe una sobresaturación de los rellenos sanitarios, convirtiendo estos espacios en

botaderos a cielo abierto con una gran acumulación de residuos que han traído consigo grandes afectaciones al ambiente. ⁽⁹⁾

Ahora bien, en cuanto al sector de Pianguapí, éste es una división adyacente al Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas (RVS-MERE) y a un brazo del río Esmeraldas; su población asentada presenta un serio problema en la recolección de los residuos sólidos y por ende en el manejo de los mismos, por motivo que el carro recolector de basura acude al lugar cada 15 días, forzando a la población a deshacerse de los residuos generados mediante quemas y arrojados directamente al manglar y río, tomando en cuenta que la acumulación de estos residuos genera vectores y malos olores, contribuyendo todas estas condiciones al deterioro del paisaje como a la contaminación del ambiente.

Dentro de lo que se denomina residuos sólidos domiciliarios en el sector, la mayor parte son residuos orgánicos que pueden ser aprovechados, sin embargo, existe la falta de iniciativas en la ciudad de Esmeraldas hacia el aprovechamiento de los residuos orgánicos, por tal motivo, será útil el presente estudio como línea base para una adecuada gestión que conlleve a la producción de un compost, ya que esta medida resulta factible y accesible debido a su bajo costo. Es decir, por su factibilidad se podrán aprovechar estos residuos orgánicos resultantes de las actividades domésticas. Asimismo, la producción agrícola del sector de Pianguapí se beneficiaría con la cosecha de productos orgánicos, puesto que no tendrían la necesidad de utilizar químicos para su producción. Además, obtendrían beneficios en cuanto al enriquecimiento del suelo con todas las aportaciones de nutrientes que hace el compost, extendiendo el tiempo de fertilidad del suelo. Al mismo tiempo, la producción de compost reduciría el arrojado directo de los residuos orgánicos al recurso hídrico y manglar adyacente, contrarrestando la presencia de vectores y malos olores en el sector, a causa de la descomposición de los residuos. De igual manera, se disminuiría la quema al aire libre de los residuos orgánicos que la población del sector de Pianguapí ejecuta ante la necesidad de deshacerse de sus residuos, y mejoraría su economía, ya que el resultado de esta contribución ambiental sería un producto rico en nutrientes con gran acogida en el mercado por su alto valor nutricional y su bajo costo.

Objetivos

Objetivo General

Comparar dos tipos de compost a base de vegetales y frutas, tratados con diferentes aceleradores biológicos para determinar el de mejor calidad, aprovechando los residuos orgánicos generados en el sector de Pianguapí-Esmeraldas.

Objetivos Específicos

- Divulgar el proyecto con la población del sector de Pianguapí mediante capacitaciones de aprovechamiento y separación de los residuos orgánicos generados en el hogar.
- Producir un acelerador biológico a base de microorganismos eficientes autóctonos y otro de levadura más gaseosa para su utilización durante el proceso de compostaje.
- Elaborar dos tipos de compost con diferentes aceleradores mediante una descomposición aeróbica para aprovechar los residuos orgánicos del sector de Pianguapí - Esmeraldas.
- Evaluar la validez de los procesos de compostaje basados en sus parámetros físico - químicos.
- Identificar el tipo de residuo orgánico y acelerador biológico para la obtención de compost de calidad, mediante un análisis comparativo de los productos finales.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

Bases teórico- científicas

Residuos Orgánicos

Se define como residuo orgánico a todo resto animal o de planta (verduras y frutas) que tenga la capacidad de ser degradado fácilmente, y que con una mínima cantidad de esfuerzo pueda convertirse en un abono o fertilizante capaz de nutrir y mejorar las condiciones del suelo sin causar perjuicios al medio ambiente.⁽¹²⁾

Abonos orgánicos

Son productos naturales que se obtienen de la descomposición de los residuos orgánicos, y tienen la capacidad de aportar nutrientes y contribuir en la fertilidad del suelo, promoviendo un mejor desarrollo de las plantas e incrementando su habilidad productiva.⁽⁹⁾

Población Microbiana

Según Díaz ⁽⁸⁾, para que se lleve a cabo una buena descomposición de los residuos orgánicos es indispensable la presencia de microorganismos, puesto que durante la fase inicial (mesófila) predominan los hongos y bacterias. A diferencia de la fase secundaria (termófila) que es donde existen actinomicetos, bacterias y hongos termo tolerantes, es decir, soportan temperaturas mayores a los 40 °C.

Aceleradores Biológicos (Bioactivadores)

Son fuentes productoras de microorganismos que aceleran la descomposición del material durante el proceso de compostaje por medio de la interacción que estas realizan.⁽⁹⁾

Compostaje

Díaz ⁽¹³⁾, menciona que el compostaje es un proceso que se da en condiciones controladas mediante la descomposición de los residuos orgánicos (hojas, estiércol, restos de frutas y

verduras), a través de la producción microbiana que permite la liberación de elementos químicos presentes en los residuos tales como: Azufre (S), Fósforo (P), Carbono (C), Nitrógeno (N) y Potasio (K), y la degradación más sencilla de sustancias como la proteína y celulosa sin que haya presencia de malos olores.

Existen dos métodos de descomposición; aeróbico y anaeróbico:

- **Aeróbico (proceso rápido):** Rodríguez *et al.*⁽¹⁴⁾ citado por Larreátegui⁽⁹⁾ menciona que esta clase de descomposición se da en presencia de oxígeno y pequeñas cantidades de agua. No produce malos olores debido a que está en constantes volteos, de igual manera, genera altas temperaturas (fase termófila). Involucra microorganismos como los hongos, actinomicetos y bacterias. Es importante mencionar que para obtener un compost útil para el suelo (maduro) se lleva alrededor de tres a seis meses, dependiendo del seguimiento que se le dé al proceso de descomposición. En este estudio se utilizará el método aeróbico debido a todos los beneficios y facilidades de trabajo que aporta.
- **Anaeróbico (proceso lento):** Rodríguez *et al.*⁽¹⁴⁾ citado por Larreátegui⁽⁹⁾ menciona que la descomposición por medio de este método se da en ausencia de oxígeno, razón por la cual la obtención del producto final (compost) tarda de 6 a 12 meses, a consecuencia de la carencia de oxígeno no ocurre una rápida degradación provocando el retraso de los microorganismos en efectuar su trabajo. Es común que esta técnica sea utilizada para producir metano.⁽¹⁵⁾

Compost

Es el producto final del proceso de descomposición de los residuos orgánicos (compostaje). Una compost adecuadamente transformado bajo condiciones controladas y en presencia de microorganismos tiene una coloración oscura y es libre de malos olores.⁽⁸⁾

Beneficios del uso de compost

La aplicación del compost al suelo directamente tiene gran provecho, pero el beneficio incrementa si es mezclado con agua debido a la facilidad que otorga el compuesto para ser absorbido a través de las propiedades que tienen los iones minerales o nutrientes de

absorción. Los beneficios que presta este producto a plantas y suelos se especifican a continuación ⁽⁷⁾:

- Incremento de nutrientes y materia orgánica.
- Disminución del uso de fertilizantes en los cultivos y mejora de la calidad del suelo.
- Mejora la estructura del suelo y reduce la compactación presente en el mismo.
- Obtención de cultivos de calidad.
- Reduce el riesgo de erosión.
- Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo.
- Mejora la capacidad de intercambio de cationes.
- Controla enfermedades que padece el suelo, especialmente si son ocasionadas por la descomposición de las raíces de las plántulas.
- Incremento de la actividad microbiana.

Proceso de compostaje

Para que se lleve a cabo el proceso de compostaje es necesaria la interacción de los microorganismos debido a que éstos consumen agua y oxígeno al momento que se alimentan de los residuos orgánicos presentes en la producción del compost, Valenzuela ⁽⁸⁾ menciona que ese consumo “*produce un alto grado de calor y vapor de agua en forma de dióxido de carbono como resultado de la actividad realizada por los microorganismos*” ^(8 p6). Por consiguiente, es de vital importancia mencionar que el peso total del material a compostar se reduce hasta un 50% por la pérdida de agua durante el proceso en el que interaccionan los microorganismos, reduciendo así el volumen y peso del material a compostar. ⁽⁸⁾ Logrando obtener un producto rico en nutrientes con una gran cantidad de microorganismos que facilitan el desarrollo de las plantas en el suelo. ⁽⁸⁾

Factores a cuidar en el proceso de compostaje

Durante el proceso de compostaje es de vital importancia combatir cierto microorganismos que pueden llegar a interferir en la calidad del producto final como ⁽¹⁶⁾:

- **Patógenos:** Este tipo de microorganismos (*Escherichia coli* y *Brucella abortus*) se encuentran cuando el proceso del compostaje mantiene temperaturas inferiores a los 55 °C, debido a que su propagación se da en temperaturas bajas, es decir, a

mayores temperaturas menor índice de patógenos dentro del proceso de compostaje debido a que su mortalidad se da en condiciones relativas al tiempo y temperatura.

- **Coliformes fecales:** Estas son bacterias que se encuentran presentes en los hombres y animales. Se inactivan en condiciones desfavorables como lo son las altas temperaturas (>55 °C) debido que por medio del mismo se elimina parcialmente la presencia de Coliformes fecales dentro del proceso de compostaje.
- **Salmonella spp.** Este tipo de microorganismo se contrae a través del consumo de alimentos (frutas y vegetales) en malas condiciones, por lo que resulta imprescindible tener cuidado con los residuos que se van a incorporar en los lechos, debido que su presencia puede afectar en la calidad del producto final. Es de suma importancia que el proceso alcance temperaturas superiores a los 55 °C para destruir este tipo de microorganismos.

Materiales que se pueden compostar

Es necesario conocer el tipo de residuos que se pueden compostar para mantener un adecuado proceso de compostaje, puesto que el material a utilizar es fundamental al momento de la descomposición para prevenir efectos negativos durante el proceso.⁽⁴⁾ La tabla 1 muestra la materia prima apropiada para iniciar un adecuado proceso de compostaje.

Tabla 1. Residuos apropiados para compostar y sus diferentes efectos. Fuente: Román, Martínez y Pantoja.⁽⁴⁾

RESIDUO	EFEECTO
COCINA	
<ul style="list-style-type: none"> • Restos de verdura y fruta • Restos de carne y pescado u otro tipo de mariscos. • Huesos • Pasta y arroz hervido • Cascara de huevo • Productos lácteos • Bolsas de infusión y posos de café • Ceniza de madera no tratada • Serrín 	<ul style="list-style-type: none"> • Descomposición rápida. No genera problemas • Puede causar olores o atraer insectos o animales • Descomposición lenta. Mejoran la estructura • Causa compactación si se incorpora mucha cantidad • Descomposición lenta. Aporta calcio • Pueden causar olores en mucha cantidad • No genera problemas en cantidades habituales • Aporta minerales al compost • Descomposición lenta. Absorbe humedad
JARDIN Y HUERTA	
<ul style="list-style-type: none"> • Recortes de césped • Restos de poda, pifia, hojas secas • Restos de cosecha de la huerta 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede producir compactación, si no hay equilibrio en la mezcla de materiales • Descomposición lenta. Mejoran la aireación • Descomposición rápida

Indicadores de la evolución del proceso de compostaje

Román *et al.*⁽⁴⁾ señala que es necesario conocer la evolución del proceso de compostaje, para ello es importante mantener un control de los diferentes parámetros fisicoquímicos presente en el proceso (Tabla 2).

Tabla 2. Indicadores de la evolución del proceso de compostaje. Fuente: Román *et al.*⁽⁴⁾

Indicador	Rango en fase mesófila I (semana 1)	Rango ideal en fase termófila II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost madura (3-6 meses)
C/N	30:1	25:1 - 20:1	10:1 – 20:1
Temperatura	Temp. ambiente hasta 40°C	40°C - 60°C	Temp. ambiente
Humedad	40% - 60%	40% - 60%	40% - 60%
pH.	<7	>8	Neutro =7
Densidad aparente	0,25 – 0,40 g/mL	<0,70 g/mL	<0,70 g/mL

La Tabla 2 muestra los rangos ideales que se deben mantener durante el proceso de compostaje, tales como:

Humedad: Durante el transcurso de compostaje el rango de humedad no debe superar los límites establecidos que van desde el 40% al 60%, incluyendo la etapa inicial y final del proceso. Cuando el porcentaje de humedad supera los rangos máximos (60%) el agua provoca una putrefacción en la materia orgánica que interacciona en el proceso de compostaje, y a su vez se torna anaeróbico provocando olores desagradables y lentitud en la velocidad del proceso. Sin embargo, cuando las condiciones son todo lo contrario, es decir, los rangos son menores a los ideales, el proceso se vuelve lento, pero no por la putrefacción de los residuos sino por la actividad microbiana que disminuye, sin dejar de mencionar que los niveles óptimos de humedad dependen de la cantidad de residuos a compostar.⁽⁹⁾

Relación C/N: La relación existente de C/N durante el proceso de compostaje es de gran importancia, debido a la interacción permanente de los microorganismos en el material

orgánico, puesto que son los principales actores dentro del transcurso y requieren 30 partes de Carbono para 1 de nitrógeno (30/1 C/N), ya que la relación debe de ser equilibrada.⁽¹⁷⁾ La velocidad del proceso depende de la relación adecuada de C/N, si la relación sobrepasa los límites, la actividad biológica reducirá, por lo contrario, si los productos a ser compostado contienen una relación C/N baja surgirá un efecto de rapidez como consecuencia de la pérdida de carbono, a causa del exceso de nitrógeno que provoca la formación de amoníaco, por lo cual el producto final será escaso en nutrientes sin dejar beneficios en las diferentes actividades (cultivos) que será utilizado. Una relación equilibrada de C/N garantiza la presencia de nutrientes como Fósforo, Potasio, Azufre y Calcio en cantidades adecuadas para ser aportadas al suelo.⁽⁴⁾

Tamaño de partícula: El tamaño de la partícula no debe ser ni muy ancha ni muy fina, puesto que si la partícula es muy grande o pequeña la fermentación (aeróbica) se dará en una zona específica (superficie); dando como resultado la producción de malos olores, y por ende la degradación de la materia prima será muy lenta. Es decir, se debe mantener rangos óptimos en la producción de compost, rangos que van desde 1 a 3 cm.⁽¹⁷⁾

Temperatura: Para que se lleve a cabo un buen proceso de descomposición es necesario que se mantenga rangos óptimos, debido que la temperatura juega un papel importante en la descomposición e higienización de la materia orgánica. Los rangos adecuados de temperatura van desde 55 °C hasta los 60 °C, considerando que el nivel de temperatura mantendrá variaciones dependiendo de la fase en la que se encuentre.⁽⁴⁾

pH: Dependerá únicamente de los residuos orgánicos a compostar. Los rangos óptimos de pH durante el proceso de compostaje varían de 4,5 a 8,5, dependiendo de la fase en que se encuentre. Es importante mantener rangos óptimos debido que la conservación y sobrevivencia de los microorganismos depende del pH.⁽¹⁷⁾

Densidad aparente: Determina la relación existente entre el peso y el volumen del sustrato.⁽⁹⁾ Representa un indicador de humedad dado que a menor densidad aparente mayor humedad; y a mayor densidad menor humedad, es decir, existe la presencia de resequedad. Según Gordillo y Chávez ⁽¹⁸⁾, el rango óptimo de densidad aparente en un proceso de compostaje va desde 0,40 g/mL a 0,70 g/mL, al mismo tiempo se garantiza la presencia de una adecuada humedad.

Fases del proceso de compostaje

En el transcurso de la elaboración del compost se generan temperaturas que dan lugar a 3 fases esenciales en este proceso, además de una fase de maduración con periodos variables (Figura 1).

- **Mesofílica:** Primera fase de la elaboración del compost, se caracteriza por iniciar con temperatura ambiente y a los pocos días e incluso en horas sufrir aumentos de temperatura alcanzado hasta 40 °C ⁽¹⁹⁾, todo esto como consecuencia de la existencia de hongos y bacterias al inicio del proceso ⁽²⁰⁾, que al emplear fuentes sencillas de carbono (C) y nitrógeno (N) producen calor.⁽⁴⁾ Cabe recalcar que la notable disminución del pH (4,5 – 6,5) resulta de la interacción existente entre la actividad microbiana y la descomposición de estos compuestos solubles generando a su vez ácidos orgánicos.⁽¹⁹⁾ El tiempo de duración de esta fase es de aproximadamente 2-8 días.⁽⁴⁾
- **Termófila:** En esta fase la temperatura sufre cambios que van desde los 40 °C hasta 60 °C, ocasionando a su vez que los microorganismos presentes en temperaturas intermedias (microorganismos mesófilos) sean sustituidos por los microorganismos que se desarrollan en temperaturas superiores (termófilos) ⁽¹⁹⁾, tomando en cuenta que estas bacterias son caracterizadas por facilitar la descomposición de fuentes más complejas de carbono (celulosa y lignina).⁽⁴⁾ Otro cambio importante, es el efecto que ejercen los microorganismos termófilos al convertir el N (nitrógeno) en NH₃ (amoníaco), mientras que el pH se incrementa convirtiéndose en alcalino.⁽⁹⁾ Al llegar a los 60 °C surgen bacterias, que se encargan de la descomposición de ceras, proteínas y otros compuestos de carbono ⁽²⁰⁾, el periodo de duración de esta fase puede variar desde pocos días hasta meses, lo cual dependerá de diferentes factores como el material de inicio y condiciones meteorológicas del lugar.⁽¹⁹⁾ El calor generado produce la destrucción de bacterias como de contaminantes fecales (*Escherichia coli* y *Salmonella spp.*).⁽⁴⁾
- **Enfriamiento:** La temperatura vuelve a disminuir como consecuencia de la materia orgánica que es consumida por los microorganismos ⁽⁹⁾, evidenciando la aparición de hongos como resultado de la continua degradación de polímeros

(celulosa).⁽¹⁹⁾ Por otro lado, en presencia de temperaturas bajas a 40 °C, los organismos mesófilos inician nuevamente su actividad y a su vez se da una leve disminución del pH.⁽⁴⁾ El periodo de duración de esta fase es de dos a cinco semanas.

- **Maduración:** Como última fase, se evidencia una temperatura ambiente y un pH lo más neutro posible; se producen pequeños cambios y variaciones caracterizados por la aparición de macromoléculas resultantes de la degradación de la celulosa y lignina.⁽⁴⁾ Se debe tomar en cuenta que estas macromoléculas, generan reservas de N (nitrógeno) tanto a mediano como largo plazo, todo esto a través de la composición bacteriana.⁽¹⁹⁾ Finalmente, cierta parte del nitrógeno amoniacal se convierte en nitrato, permitiendo mejorar las particularidades agrarias del compost, generando ciertos olores como consecuencia de las transformaciones que experimenta la materia orgánica durante todo el proceso.⁽⁴⁾ Esta última fase puede tardar aproximadamente unos 20 a 30 días.⁽²⁰⁾

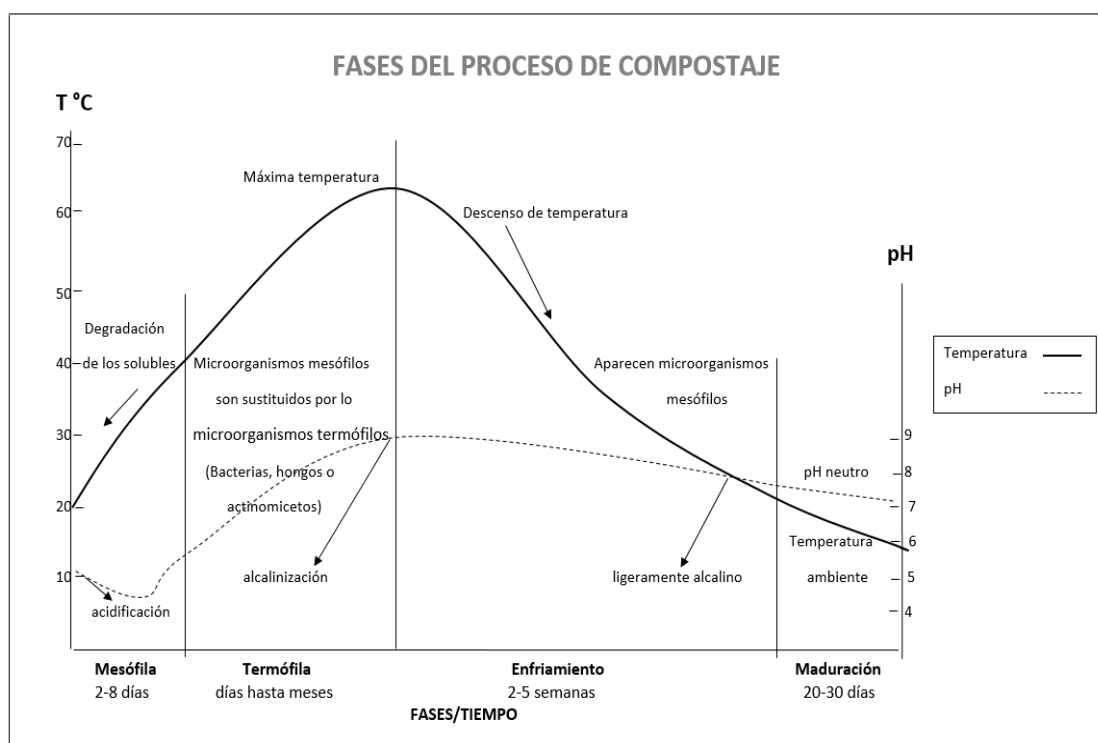


Figura 1. Fases durante el proceso de compostaje y pH. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Roca.⁽¹⁵⁾

Sistemas de compostaje

Los sistemas de compostajes son diversos y pueden variar, dependiendo de la necesidad de cada persona; van desde cajas hasta montones con varias capas de materiales secos (hojarascas, brozas, etc.) en las cuales también se les puede agregar materiales húmedos (restos de alimentos o poda, etc.). Así mismo, se debe tener en cuenta la cantidad de aire requerido al momento de poner en ejecución un lecho, debido que la cantidad dependerá del tamaño del lecho. El material para compostar debe tener como mínimo 50 cm de altura y máximo dos metros. Si es muy grande no facilitará la aireación dentro del lecho, y si es muy pequeño habrá exceso de aireación, teniendo como consecuencia una lenta descomposición de los residuos al no alcanzar las condiciones necesarias para llevar a cabo su proceso. ⁽⁴⁾

Los sistemas de compostaje se clasifican en abiertos y cerrados:

- **Sistemas Abiertos:** Este sistema se lleva a cabo al aire libre o por medio de hileras o pilas; puesto que para llegar a una buena fermentación aeróbica es necesario realizar volteos constantes, los cuales aportaran la cantidad necesaria de oxígeno que requiere la pila para llevar a cabo un proceso rápido de descomposición. ⁽⁹⁾
 - **Pilas Simples:** Sin duda alguna este sistema es el más aconsejable para la producción de compost, debido a sus bajos costos y su alta efectividad, y en consideración a las condiciones del lugar donde se realizará el estudio. ⁽⁹⁾ Sin embargo, al momento de tener los materiales dentro de la pila es necesario realizar constantes volteos y mantener controles permanentes de los parámetros físico-químicos ⁽⁹⁾, para lograr oxigenar los materiales y conseguir una eficaz vigilancia de los niveles de humedad y calor, ya que por medio de los volteos la mezcla se homogeneiza. ⁽⁹⁾
- **Sistemas Cerrados:** Este tipo de sistema requiere de mayor tiempo (seis a nueve meses), al darse en espacios cerrados y realizar su proceso en ausencia de oxígeno (anaeróbico) provoca malos olores y es un atractivo de vectores (moscas, insectos, ratas), forzando al productor a buscar métodos de ventilación a consecuencia de ejecutarse el proceso en sistemas cerrados como túneles, pilas totalmente cerradas, contenedores, tanques, entre otros. ⁽⁹⁾

Cuidados que requieren los lechos de compostaje

Se debe mantener un cuidado permanente de la temperatura, que no sobrepase los rangos de la fase termófila que van desde los 45 °C hasta 60 °C. ⁽⁷⁾ Además, es importante cuidar la humedad puesto que si existe un exceso de agua se producen lixiviados, condiciones anaeróbicas y malos olores debido a la proliferación de ciertos hongos. Por otro lado, si el material se seca retrasa el proceso de descomposición ya que los microorganismos no pueden interactuar, produciendo invasiones de ácaros y hormigas. ⁽⁷⁾

De igual manera, se debe voltear el material que está siendo compostado para evitar malos olores durante todo su proceso, puesto que los volteos permiten penetrar aire a todo el material que está en la pila. ⁽⁷⁾ Por lo cual, es importante realizar el primer volteo pasada las dos primeras semanas de haber puesto en marcha el proceso de compostaje para no interrumpir el proceso de la primera fase (mesófila). De tal manera, que los volteos posteriores se deben realizar cada semana, a fin que se establezca una descomposición uniforme y se obtenga un compost de calidad como producto final. ⁽⁷⁾

Posibles problemas y soluciones durante el proceso de compostaje

Durante el proceso de compostaje es común que se presenten inconvenientes por lo cual en la Tabla 3 se detallan los más comunes con sus respectivas soluciones.

Tabla 3. Posibles problemas, causas y soluciones durante el proceso de compostaje. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
Malos olores	Gran cantidad de humedad (muchas agua)	Se debe agregar materiales secos a fin de que pueda absorber la humedad que está en exceso. (Remover)
Olor a amoníaco	Carencia de aire a consecuencia de un exceso de compactación	Dar al lecho espacios de aire, además, es importante añadir trozos de ramas de diferentes tamaños para su posterior mezcla.

	Exceso de residuos verdes (residuos de frutas, verduras, hojas verdes)	Para combatir el exceso de residuos verdes es necesario agregar residuos cafés (hojas secas, rastrojo, restos de podas de árboles secos o pasto cortado seco).
Bajos grados de temperatura	Bajos rangos de humedad	Se debe agregar agua (sin excederse) en el proceso de mezcla hasta lograr el rango óptimo de humedad.
	Poca aireación	Es necesario agregar trozos de material, siendo estos preferentemente de distintos tamaños. Para su posterior volteo.
	Invierno	Incrementar el tamaño de la pila. Para mantener calor en el proceso de compostaje, es necesario cubrir la pila compostadora con plástico perforado.
Elevados grados de temperatura	Lechos excesivamente grandes	Reducir el tamaño de la pila en la cual se está llevando a cabo el proceso.
Presencia de vectores alrededor dentro de los lechos	Desechos grasos y de origen animal dentro del lecho	Retirar los desechos que atraen los diferentes vectores (desechos de origen animal) y de inmediato cubrir la pila con hojas y tierra.
	Lecho extremadamente seco	Agregar agua a la pila o incrementar la cantidad de desechos que sean de origen húmedo, al lecho.
	Abundancia de humedad	Agregar y mezclar en la pila desecho café tales como: (hojarascas y ramas, entre otras).

Calidad del compost

Para determinar la calidad de un compost es necesario conocer los resultados del control/análisis de los siguientes parámetros ⁽²¹⁾:

- **Fisicoquímicos:** es determinada mediante el análisis a las variables más relevantes durante el proceso de compostaje (temperatura, humedad, pH y densidad aparente), y que se encuentren en los niveles óptimos según su fase.
- **Químicos:** el producto final (compost) debe contener en rangos óptimos todos los micro y macronutrientes necesarios para ser aportados al suelo.
- **Biológica:** el producto final deber carecer de malas semillas, patógenos, bacterias y microorganismos malignos (son eliminados a temperaturas mayores de los 50 °C).

Antecedentes

A nivel mundial se ha experimentado un incremento poblacional, dado que para el 2014 se alcanzó aproximadamente 7,400 millones de habitantes, de igual manera, el continente americano y el Caribe no están exentos de estos aumentos puesto que la media de ese mismo año fue de 607.000.000 habitantes. Además, se estima que la población urbana para el 2050 representará el 68,7% de la población mundial.⁽²²⁾ Por ende, es evidente que el crecimiento poblacional está relacionado con la creciente generación de residuos, como consecuencia de las diferentes actividades humanas y el acelerado consumo que han contribuido a la generación de residuos. Mientras se siga con medidas descontroladas como las quemas y disposición de residuos en botaderos a cielo abierto, la contaminación al ambiente, a la salud y propagación de vectores continuará en aumento.⁽²²⁾

Por otra parte, no fue sino hasta hace poco que se empezó a reconocer el impacto que generan estos residuos y a entender las repercusiones que se van teniendo como consecuencia de su inadecuada disposición, lo cual ha conllevado a la búsqueda de alternativas de gestión de manejo de residuos, logrando encontrar como una medida beneficiosa la elaboración de compost, demostrando de esta manera una mejora tanto en la calidad como fertilidad del suelo. Es así que, desde los años 30 se ha iniciado estudios empíricos que han consistido en realizar mezclas de diferentes residuos durante un aproximado de tres a seis meses, empleando diferentes pruebas que con el paso del tiempo

han cambiado; desde el uso de distintos residuos, medidas, formas y hasta métodos de aireamiento.⁽²³⁾ Por otra parte, Toffey ⁽²⁴⁾, citado por Soto ⁽¹⁾ menciona que en Estados Unidos, se ha optado por el compostaje a través del método de pila de volteo, el mismo que es suministrado a los agricultores. En California para el año 2000 se emplearon 4,7 millones de toneladas de residuos orgánicos en la elaboración de compost como medida de aprovechamiento con fines agrícolas.⁽²⁵⁾ En el Ecuador, también se ha optado por esta medida de aprovechamiento de residuos, iniciando procesos de compostaje en el Tena durante el año de 2002, para ello se realizó la clasificación domiciliaria de los residuos orgánicos y se elaboró compost en lechos de hormigón, posteriormente a mediados del año 2005 en Azuay, Cañar, Loja y Tungurahua se empezó a elaborar el compost de manera empírica, utilizando malezas, estiércol, residuos vegetales y rastrojos, con el propósito de mejorar la fertilidad de sus suelos y obtener buenos productos, a través de la adición de compost como resultado de la modificación microbiana.⁽²⁶⁾

Por consiguiente, para darle un aprovechamiento a los residuos orgánicos según estudios realizados por Larreátegui en San Gabriel de Baba-Santo Domingo se ha demostrado que la producción de compost en compañía de aceleradores biológicos actúa como fuente de nutrientes y mejora la fertilidad del suelo, a fin de mantener la calidad del mismo y darle una mejor utilidad a los residuos que se generan de las actividades domésticas.⁽⁹⁾

Marco Legal

El Ecuador es un Estado soberano en el cual se pretende actuar con integralidad, transparencia y responsabilidad tomando como referencia el marco jurídico instaurado, respetando de igual manera sus normativas, la cual nos permitirá alcanzar una seguridad jurídica.⁽²⁷⁾ En el siguiente apartado se facilitará una breve revisión del marco legal ambiental que nos permita conocer las acciones legales que se deben tener presente para llevar a cabo la elaboración de un compost.

Aprovechamiento de residuos.

De acuerdo con la legislación ecuatoriana se establece en los Art. 14, 15 y 395 la importancia de alcanzar una relación equilibrada de hombre-ambiente que favorezca a la

población, además de ser responsabilidad del Estado el impulsar a las empresas públicas y privadas el uso de nuevas tecnologías y métodos que sean amigables con el ambiente.⁽²⁷⁾ Al mismo tiempo, en el Art. 2 de la Ley de Gestión ambiental se señalan las diferentes alternativas que se pueden emplear para el aprovechamiento de los residuos, recalcando el uso de tecnologías limpias, pero manteniendo a su vez la ejecución de prácticas convencionales.⁽²⁸⁾ Igualmente, el TULSMA libro VI del Art. 73 concuerda con lo establecido en la legislación ecuatoriana con respecto a la importancia que tiene la gestión de manejo de estos recursos y las responsabilidades de las empresas privadas y municipalidades de promover y realizar programas de aprovechamiento que le puedan dar un valor a estos residuos a través de métodos como el compostaje y reciclaje.⁽²⁹⁾

Control de contaminación de suelos

En consideración a la Ley de prevención y control de la contaminación ambiental se establece en los Art. 10, 12 y 13 las prohibiciones que se deben tener en cuenta al momento de arrojar residuos hacia el recurso suelo, ya que se pueden convertir en una amenaza para este recurso, además, serán los entes reguladores de su competencia quienes se responsabilicen de la manipulación y disposición final de dichos residuos.⁽³⁰⁾

Compost como generador de fertilidad del suelo

La normativa general para promover y regular la producción orgánica-ecológica-biológica en Ecuador, ha declarado en el Art. 18 al compost como una medida para mantener e incrementar la fertilidad del suelo, tomando en cuenta que al ser un proceso resultante de una descomposición biológica que involucra materiales orgánicos, esta normativa como tal indica que para la preparación del compost se deberá utilizar tanto especies vegetales como microorganismos.⁽³¹⁾

CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El presente estudio se realizó en el sector de Pianguapí, que está ubicado en la parroquia de Tachina, ciudad de Esmeraldas (Figura 2). Con un total de 784 habitantes en una extensión de 100 hectáreas.⁽³²⁾

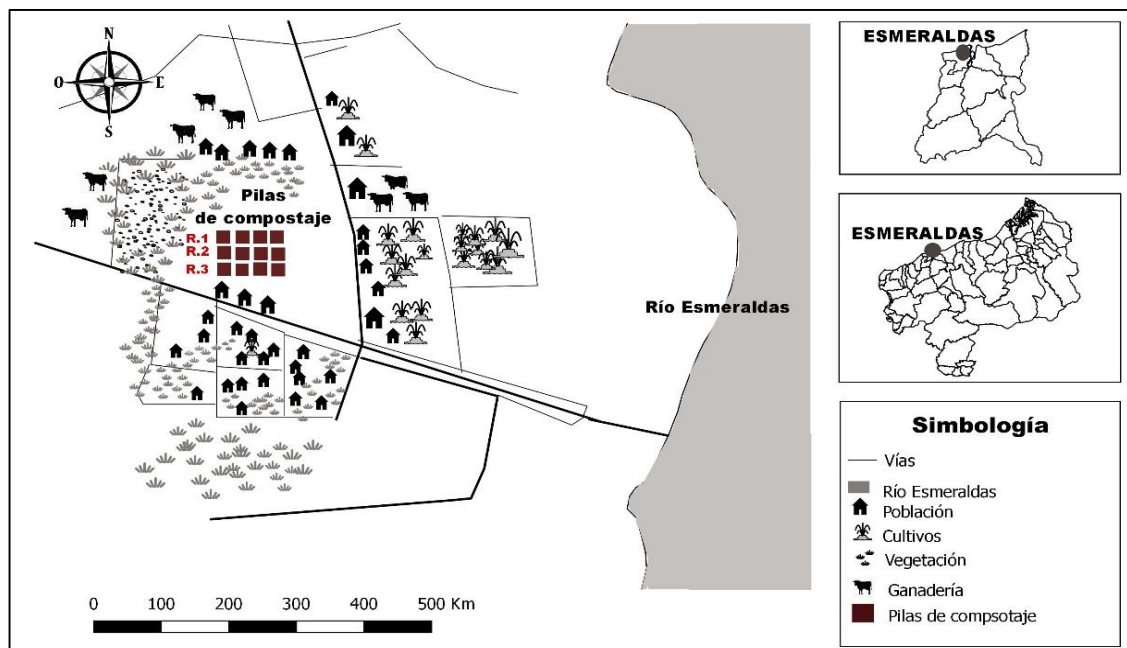


Figura 2. Mapa del Sector de Pianguapí. Fuente: Karol Zamora

Recolección de datos

Diseño experimental de los sistemas de compostaje

Se construyeron 6 lechos de compostaje, cada uno con sus respectivas 2 réplicas, dando un total de 18 lechos.⁽⁹⁾ Durante el proceso, los lechos fueron analizados para conocer su evolución respecto al tiempo de experimentación mediante controles constantes de los factores implicados⁽⁹⁾:

- Humedad
- Temperatura
- pH

- Densidad aparente
- Relación C/N

El diseño experimental que se ejecutó se detalla en la Tabla 4, dónde se determinaron los niveles y factores para poder realizar las diferentes combinaciones de los tratamientos.⁽⁹⁾

Tabla 4. Descripción de los diferentes niveles y factores empleados en el proceso de experimentación de compostaje. Fuente: Larredátegui.⁽⁹⁾

Factores		F1	F2
Niveles de Factores	-	Vegetales (-1)	EMA´s (-1)
	+	Frutas (+1)	Levadura + gaseosa (+1)

El diseño factorial completo aleatorio es un experimento que consta de factores y dos o más niveles, que a su vez permite todas las combinaciones posibles entre los mismos.⁽³³⁾ Es así, que en este estudio el diseño factorial es $2^2 = 4$, ya que describe los dos factores (F1; F2) y los dos niveles de factores (-;+) por los que está compuesto este diseño.⁽⁹⁾ Por tanto, es necesario conocer acerca de la representación que tiene cada factor; en donde F1=Tipo de residuos y F2=Tipo de bioacelerador que será agregado a la pila de compostaje.⁽⁹⁾

Al aplicar las combinaciones se buscaba identificar el método de compostaje más adecuado en cuanto al tipo de residuo (vegetales o frutas) como al acelerador (EMA´s o levadura con gaseosa) para su recomendación en el sector de Pianguapí.⁽⁹⁾ Aunque, para tener una mayor constancia de los resultados obtenidos se mantuvo un grupo control con vegetales y el otro con frutas, cada uno con sus respectivas replicas, a los cuales no se les aplicó ningún tipo de acelerador biológico. Por consiguiente, se trazó el siguiente diseño experimental (Tabla 5) donde se especifica las combinaciones.⁽⁹⁾

Tabla 5. Diseño experimental de los diferentes tratamientos a utilizar. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾

Tratamiento	Lecho	F1	F2	Combinación
1	A y A´	-1	-1	Vegetales + EMA´s
2	B y B´	-1	+1	Vegetales + levadura y gaseosa
3	C y C´	+1	-1	Frutas + EMA´s
4	D y D´	+1	+1	Frutas + levadura y gaseosa
5	E y E´	-1	-	Vegetales (grupo control)
6	F y F´	+1	-	Frutas (grupo control)

Por tanto, la distribución de cada lecho queda de la siguiente manera:

Lecho A y A´: Verduras + EMAs

Lecho B y B´: Verduras + Levadura y gaseosa

Lecho C y C´: Frutas + EMAs

Lecho D y D´: Frutas + Levadura y gaseosa

Lecho E y E´: Verduras (Grupo control)

Lecho F y F´: Frutas (Grupo control)

Se tomaron tres repeticiones de cada parámetro evaluado para obtener resultados más confiables. Al finalizar cada semana se calcularon las medias de las réplicas para cada lecho de los parámetros Temperatura (R_1), pH (R_2), Humedad (R_3) y Densidad Aparente (R_4) (Tabla 6).⁽⁹⁾

Tabla 6. Diseño experimental con los diferentes tratamientos a utilizar. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾

Tratamiento	Lecho	F1	F2	Factores Respuesta			
				Temperatura	pH	Humedad	Densidad Aparente
1	A y A´	-1	-1	R_{A1}	R_{A2}	R_{A4}	R_{A5}
2	B y B´	-1	+1	R_{B1}	R_{B2}	R_{B4}	R_{B5}
3	C y C´	+1	-1	R_{C1}	R_{C2}	R_{C4}	R_{C5}
4	D y D´	+1	+1	R_{D1}	R_{D2}	R_{D4}	R_{D5}
5	E y E´	-1	-	R_{E1}	R_{E2}	R_{E4}	R_{E5}
6	F y F´	+1	-	R_{F1}	R_{F2}	R_{F4}	R_{F5}

En donde la R, según Campbell y Stanley ⁽³⁴⁾ “*representa una asignación al azar o aleatorizada*”. Estos datos fueron utilizados para realizar un análisis de los diferentes parámetros durante el proceso de compostaje con el fin de determinar el método óptimo a ser implementado. ⁽⁹⁾

Determinación y cálculo del tamaño de la muestra poblacional

La muestra poblacional fue calculada a partir de los 784 habitantes del sector, para conocer el número exacto de hogares para el suministro de residuos orgánicos y de esa manera llevar a cabo el proceso de compostaje. ⁽⁹⁾

La fórmula para calcular el tamaño de la muestra es la siguiente:

$$n = \frac{k^2 \times N \times p \times q}{(e^2 \times (N-1)) + (k^2 \times p \times q)}$$

Fuente: Galindo ⁽³⁵⁾

Donde:

n= Tamaño de muestra

N= Universo

K=Valor de nivel de confianza, con el que se realiza la estimación, es una constante (1,96)

p= Parte conocida

q= Parte desconocida

(N-1) = Corrección para muestras mayores a 30

e= Error

Reemplazo de valores:

N= 780

k=1,96

p=0,5

q=0,5

e=0,05

Fórmula:

$$n = \frac{1,96^2 \times 784 \times 0,5 \times 0,5}{(0,05 \times (784 - 1)) + (1,96^2 \times 0,5 \times 0,5)}$$

n= 258 habitantes

La media de personas por cada vivienda de Pianguapí es cuatro ⁽³⁶⁾. Por tal motivo, para conocer el número de viviendas que suministró sus residuos orgánicos, se dividió el número de la muestra para la media de personas por vivienda.

$$n = \frac{258}{4}$$

n= 64,5 viviendas

Por tanto, 65 viviendas fueron las que facilitaron la recolección de residuos orgánicos para la producción del compost.

Ubicación de lechos de compostaje

El proceso de compostaje se llevó a cabo en la propiedad del presidente del sector de Pianguapí.

Construcción de lechos de compostaje

Para llevar a cabo la construcción y distribución de los lechos de compostaje fue necesario adecuar el terreno con anterioridad, es decir, se realizó una previa limpieza de todo el lugar. ⁽⁹⁾ El terreno donde se ejecutó el proyecto cuenta con dimensiones de 15 m de ancho x 20 m de largo.

La construcción de los lechos se llevó a cabo con los siguientes materiales ⁽⁹⁾:

- 20 cañas guaduas
- 18 tablas (0,5 m ancho x 1 m largo)
- 108 palos de madera (8 cm ancho x 1,3 m largo)

- 18 kg clavos medianos
- 18 metros de plástico (1 m ancho x 1 m de largo)

Para la ejecución del proyecto se construyeron 18 lechos de compostaje con las dimensiones que estipula Larreátegui ⁽⁹⁾ “0,5 metros de ancho, 1 metro de largo y 1 metro de alto”. Cada lecho constó de seis soportes de madera de 30 cm c/u, los mismos que sirvieron como vigas y permitieron la adaptación directa al sustrato sin tener que cavar. ⁽⁹⁾ Además, cada lecho fue construido con una pared de madera para facilitar el proceso de volteo, mientras que las tres paredes restantes fueron a base de caña guadua (Figura 3). ⁽⁹⁾ Así mismo, carecieron de base inferior para separar el lecho del suelo (Figura 4). ⁽⁹⁾

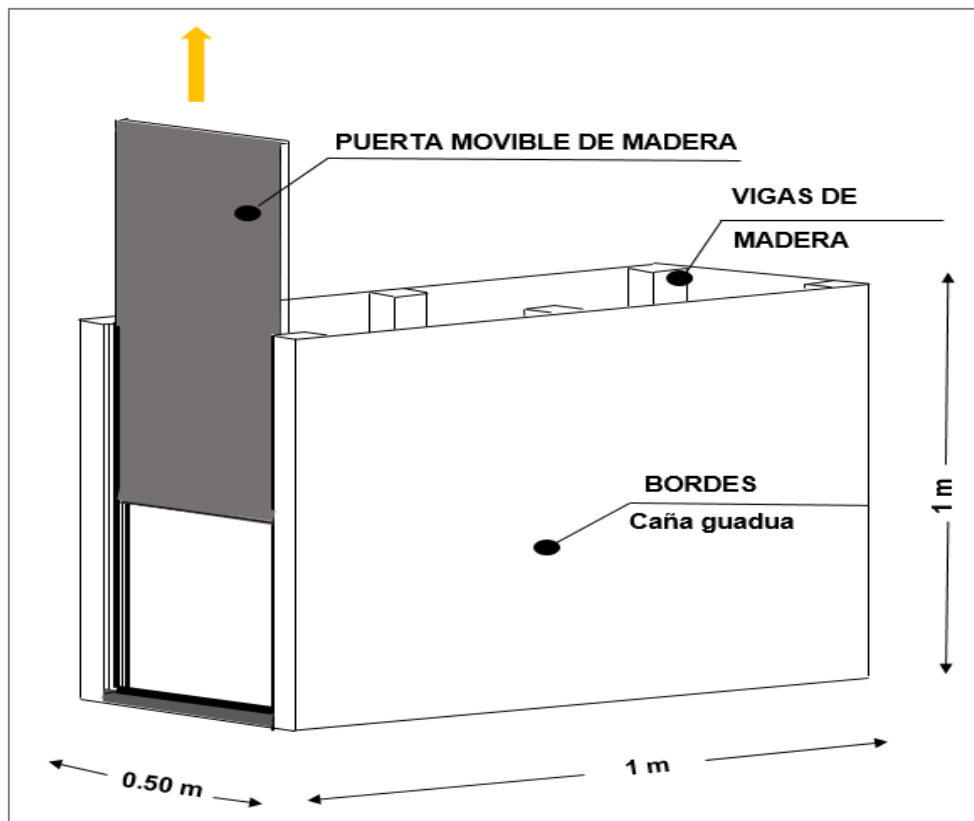


Figura 3. Diseño y medidas en cm de los lechos. Elaborado por Karol Zamora.
Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾

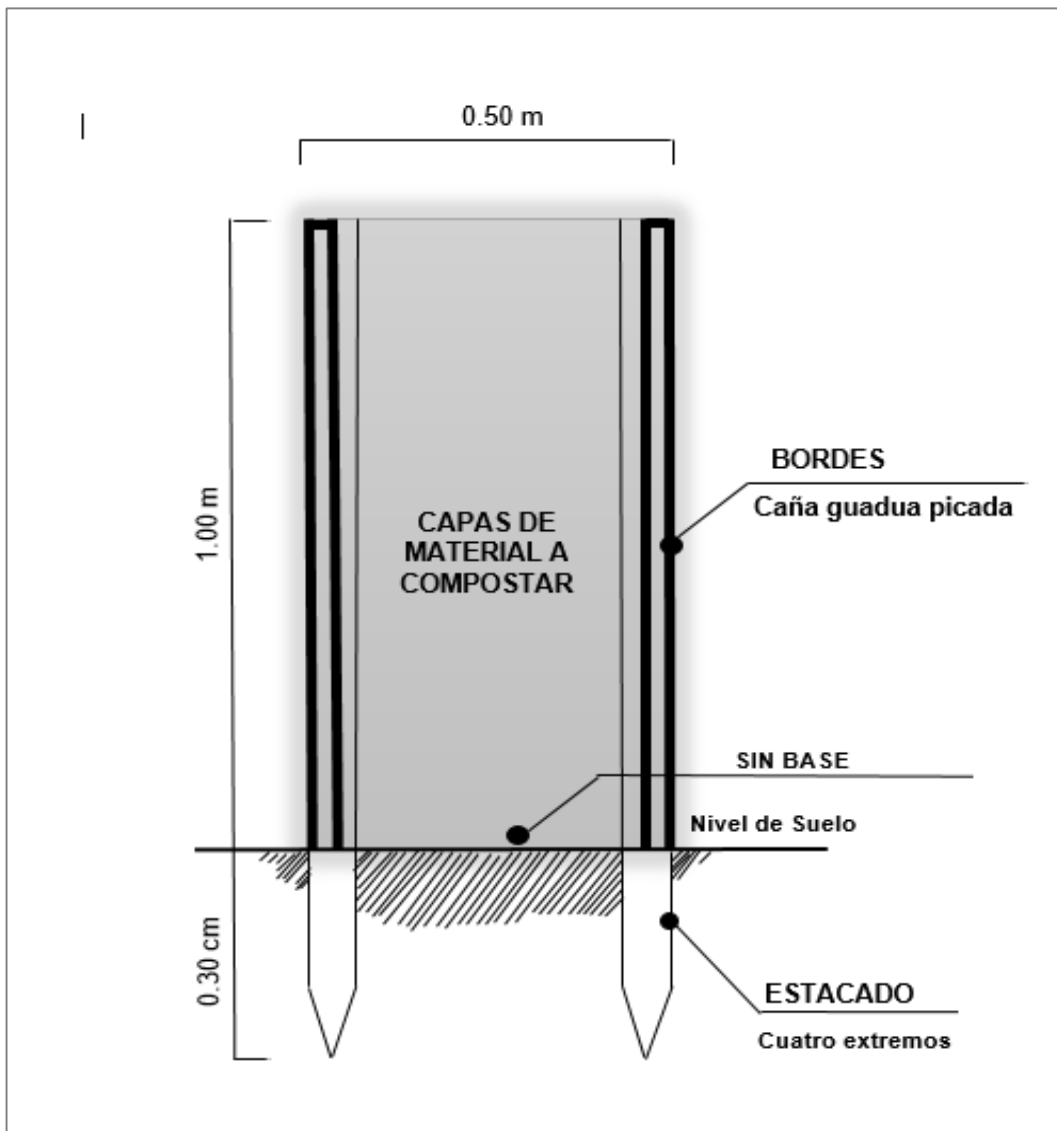


Figura 4. Diseño de la parte inferior de los lechos. Elaborado por Karol Zamora.
Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾

Los lechos fueron ubicados horizontalmente, es decir, los seis tratamientos en una hilera horizontal y sus réplicas de manera vertical, como lo muestra la Figura 5. La separación fue de 0,5 m entre lechos (horizontal) y 1 metro (vertical) para poder realizar los volteos (Figura 5).

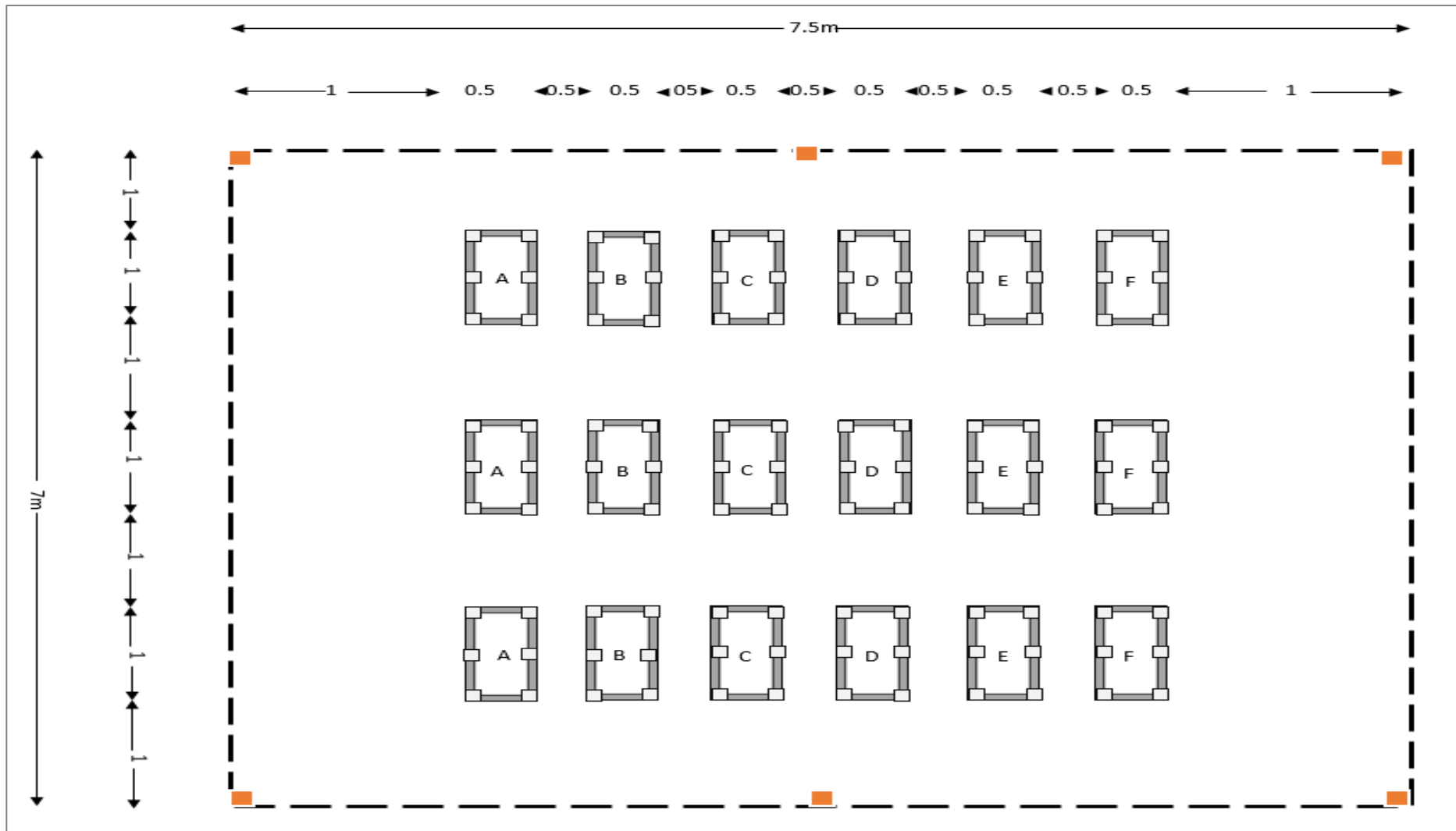


Figura 5. Ubicación y separación en cm de los lechos en el terreno. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾

Producción de Aceleradores Biológicos EMA's

El aislamiento de los microorganismos fue producido dentro de un bosque en Pianguapí.

Para ello se utilizaron los siguientes materiales ⁽⁹⁾:

- 12 tarrinas desechables (plástico)
- Nylon (tela)
- 12 tiras plásticas para presionar las tarrinas
- 1 ½ arroz cocido sin sal
- 1 litro de melaza
- 1 litro caldo de pescado
- 2 litros de agua

Para la obtención de los EMA's se colocó una fracción de arroz (cocido sin sal) junto con un poco de caldo de pescado en cada una de las tarrinas.⁽⁹⁾ Una vez ejecutado el primer paso se procedió a cubrir la parte superior de la tarrina con tela nylon, para sujetar la tela a la tarrina se utilizó una liga plástica y luego se colocó la tapa.⁽³⁷⁾ Se enterró la tarrina en el bosque que se encuentra en Pianguapí, quedando cubierto solo el cuerpo de la tarrina, es decir, que la parte superior (boca de la tarrina) permaneció al ras con el suelo y fue cubierta con hojarasca (figura 6).⁽⁹⁾ La mezcla se la dejó enterrada durante dos semanas aproximadamente, y para controlar alguna inundación por agua lluvia o que el proceso sea alterado por el ingreso de cualquier insecto se realizaron constantes monitoreos.⁽³⁷⁾ Al cabo de ese tiempo se procedió a desenterrar cada una de las tarrinas para su posterior destape. Al ser abiertas se observó un arroz húmedo con distintos tipos de microorganismos descomponedores como: bacterias lácticas, levaduras y actinomicetos.⁽⁹⁾ Sin embargo, para corroborar la presencia de los microorganismos en la cosecha, el arroz tuvo que tener una tonalidad naranja o verde (estilo lama) con olor a fermento (Anexo 9).⁽⁹⁾

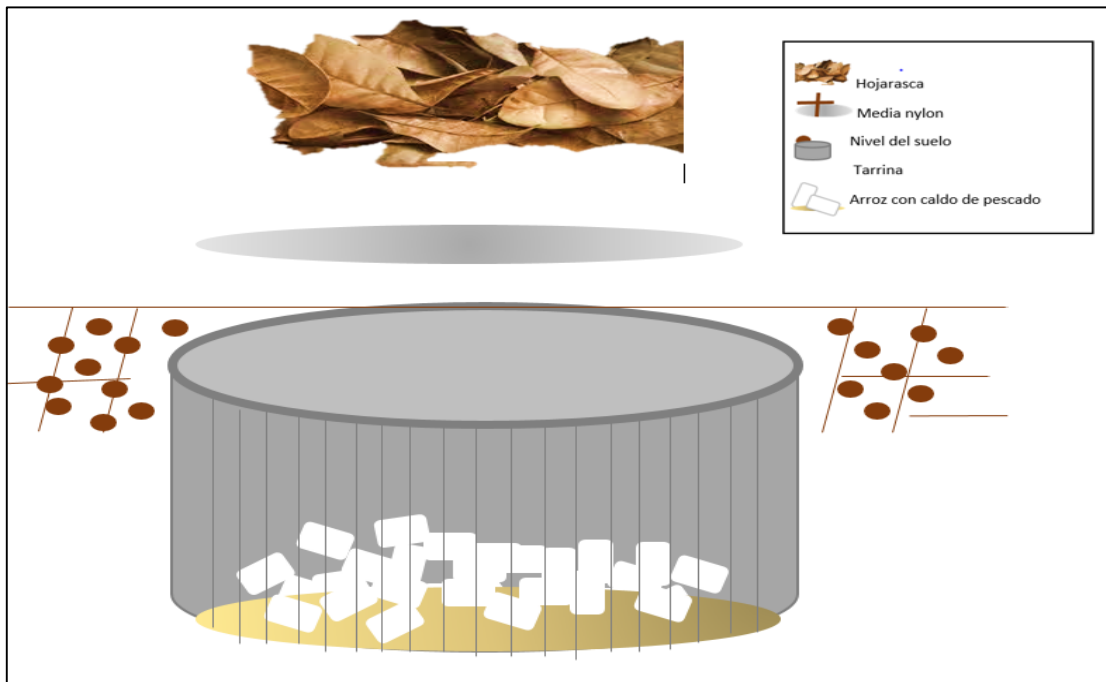


Figura 6. Ubicación de los diferentes elementos para la obtención de EMA's. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Larreátegui⁽⁹⁾

Para dar uso a la cosecha de EMA's y obtener una solución madre según la metodología de Larreátegui⁽⁹⁾ “se utilizó un tacho de 5 litros, al cual se le añadió la cosecha de la captura de EMA's, junto con 1 litro de melaza y para homogenizar la mezcla se le añadió 2 litros de agua”. Se mezcló hasta lograr una solución igualada. El resultado de la solución fue cernido y almacenado inmediatamente en un envase sellado y aislado por un periodo de 15 días hasta que se logró una buena fermentación.⁽⁹⁾

Para el uso de la solución aceleradora a base de EMA's se rebajó el contenido, mediante la combinación de 1 litro de solución con 20 litros de agua. Para su aplicación en los lechos, se usó por cada lecho 1050 mL (1,05 litros), se aplicó 175 mL por cada capa presente en el lecho.⁽⁹⁾

Acelerador a base de levadura y gaseosa

Para obtener el acelerador a base de levadura y gaseosa, según Larreátegui⁽⁹⁾ se mezcló 500 gr de levadura de pan de la marca Levapan, con 1 litro de gaseosa en conjunto con 20 litros de agua. Se revolvió hasta obtener una solución homogénea. En cuanto a la cantidad de solución a ser aplicada, al igual que el anterior acelerador se aplicó 175 mL por cada

capa en el lecho de compostaje, dando un total de 1050 mL (1,05 litro).⁽⁹⁾ De tal manera, que todas las capas aprovecharon esta solución.

Materiales para compostar

Para emplear el proceso de compostaje fue necesario utilizar una serie de métodos que se detallan a continuación:

- **Socialización a la muestra poblacional**

Para llevar a cabo la recolección de los residuos orgánicos en Pianguapí, se capacitó a los habitantes del sector de Pianguapí de manera aleatoria. Para ello se acudió al representante del sector con la finalidad de obtener su ayuda para las convocatorias, y así poder asegurar la asistencia de los moradores a las capacitaciones. Con el propósito de socializarles el proyecto a ejecutar y fuesen partícipes en la recolección y clasificación de los residuos orgánicos que se generaron en consideración con lo necesitado para el proceso de compostaje, debido que el aporte de los habitantes fue esencial para el óptimo resultado del proyecto. Cabe hacer mención que durante la capacitación se hizo entrega de trípticos con información relevante del compost (Anexo 10).

Contenidos tratados:

- Socialización del proyecto.
- Aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el hogar para producir compost de calidad.
- Métodos para realizar una buena separación de residuos orgánicos en la fuente.
- Relación C/N de cada uno de los residuos orgánicos generados en el hogar para mantener un equilibrio en los mismos.

Para mantener constancia de la capacitación impartida, los asistentes llenaron un registro (Anexo 2), y se tomaron fotografías durante el proceso de capacitación (Anexo 10).

- **Plan de recolección de los residuos orgánicos**

La recolección se realizó en 65 casas del sector de Pianguapí. Los residuos fueron recolectados a diario durante una semana, es decir, durante los primeros seis días se recolectaron residuos diarios de diez casas diferentes, y el último día a cinco casas.⁽⁹⁾ Para su recolección se entregó a cada vivienda dos fundas: roja para frutas y negra vegetales.⁽⁹⁾ Las fundas fueron facilitadas en la mañana y retiradas al día siguiente durante horarios matutino. Se mantuvieron registros diarios de los residuos recibidos (Anexo 10) para obtener información en cuanto a la cantidad de residuos generados en el sector durante el tiempo establecido en el presente estudio.

- **Armado de las pilas de compostaje**

En cuanto a la distribución de los materiales que fueron compostados fue necesario seguir los siguientes pasos:

- **Triturado de los residuos orgánicos:** Los residuos orgánicos fueron triturados con tijeras de podar para facilitar una mejor degradación. Mientras más pequeño es el tamaño de los residuos, menor es el tiempo para la obtención del compost.⁽⁹⁾
- **Conformación de la pila de compostaje:** En cuanto a la distribución de las capas dentro de la pila se mantuvo una relación 3:2:1 (15 cm de materia orgánica húmeda, 10 cm de materia orgánica seca y 5 cm de tierra y material leñoso) (Figura 7).⁽⁹⁾ De modo que, la primera capa estuvo conformada por material leñoso, debido que ayuda a prevenir la acumulación de lixiviados y contribuye con la aireación dentro del montón.⁽⁹⁾ Las distribuciones de las capas para conformar la pila de compostaje se detallan en la tabla 7.

Tabla 7. Distribución del material a ser compostado por capas. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾

CAPAS	MATERIAL	CANTIDAD
Capa 6	Tierra	5 cm
Capa 5	Materia orgánica húmeda	15 cm
Capa 4	Materia orgánica seca	10 cm
Capa 3	Materia orgánica húmeda	15 cm
Capa 2	Materia orgánica seca	10 cm
Capa 1	Material seco y leñoso	5 cm

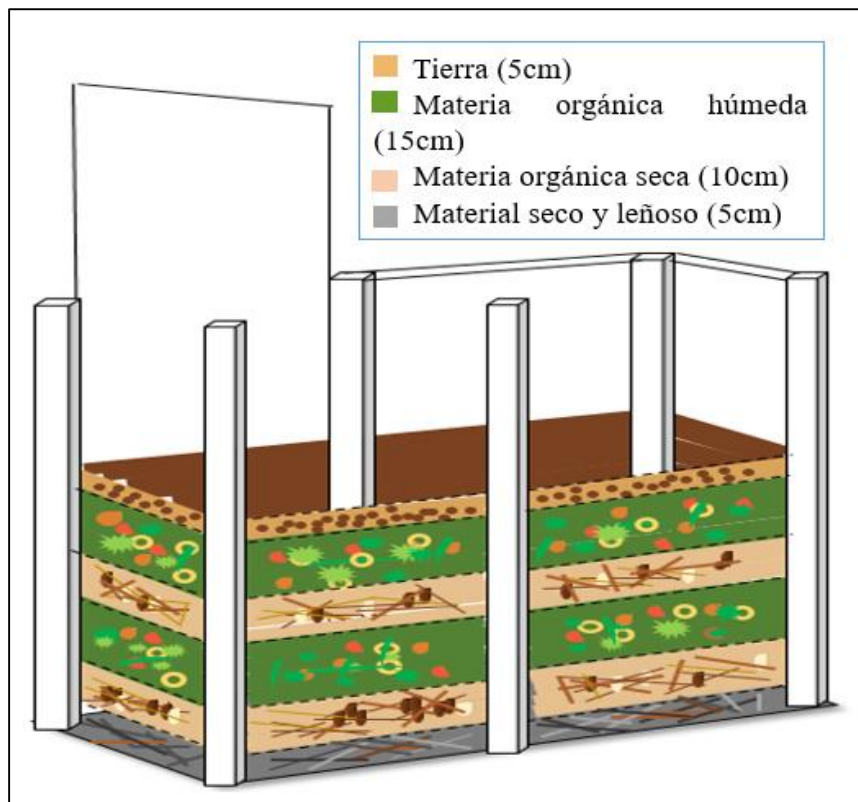


Figura 7. Organización de las capas en cada lecho de compostaje. Elaborado por Karol Zamora. Fuente: Larreátegui. ⁽⁹⁾

Cada una de las capas fue humedecida con la solución de acelerador correspondiente. Así mismo, para evitar posibles problemas de acidez por bajas de pH se añadió ceniza de madera o leña en la parte superior de las seis capas correspondientes. ⁽⁹⁾

El volteo inicial a las pilas se realizó pasado los primeros 15 días para no interrumpir las fases de compostaje, puesto que se debía alcanzar altas temperaturas (45 °C a 60 °C).⁽⁹⁾ Posterior al primer volteo se realizaron volteos una vez por semana en horarios matutinos hasta finalizar el tiempo establecido.

Control de factores durante el proceso

Durante todo el proceso de compostaje se llevó un registro de los parámetros a ser controlados mediante fichas de campo. Parámetros que son detallados a continuación:

- **Temperatura**

Mediante un termómetro para compost marca COOPER Dial 2”, se analizó la temperatura de cada pila en horarios matutinos. Para ello durante las primeras dos semanas se tomaron tres mediciones por día. Pasado ese tiempo se procedió a tomar tres mediciones al finalizar cada semana, durante las cinco semanas restantes del proceso de compostaje, datos que fueron registrados en fichas de campo (Anexo 3 y 4). El termómetro fue introducido al inicio, centro y final de cada lecho, verticalmente a una profundidad de 20 cm aproximadamente para obtener datos confiables.⁽⁹⁾

- **pH**

Con la ayuda de un medidor de pH “Soil pH-Moisture Meter”, se tomó una vez por semana tres medidas (que fueron promediados) a cada pila en horarios matutinos, durante un tiempo de siete semanas.⁽⁹⁾

- **Humedad**

Se calculó la humedad de cada pila con el aparato “Soil pH-Moisture Meter” a partir de la segunda semana que fue iniciado el proceso de compostaje, en el cual se tomó tres mediciones por cada lecho en horarios matutinos, mediciones que fueron promediadas para obtener resultados confiables.⁽⁹⁾

- **Densidad Aparente**

Para el cálculo de este factor se trabajó en el laboratorio de la escuela de Gestión Ambiental de la PUCE-Esmeraldas, para ello se tomó tres mediciones en cada pila en horarios matutinos, comenzado a partir de la segunda semana en periodos semanales. Por tanto, para determinar este factor se procedió a pesar una probeta vacía, seguido de esto

se llenó la probeta con el sustrato de cada pila, hasta alcanzar los 100 mL.⁽⁹⁾ Posteriormente, se pesó el valor que se obtuvo y se le restó el peso obtenido anteriormente de manera que se consiguió el peso de la masa del sustrato. Entonces el valor que se obtuvo fue dividido para los 100 mL, logrando así obtener la densidad aparente en mL.⁽⁹⁾

Análisis de laboratorio

Se tomaron dos muestras; una al estado inicial del suelo, y la otra al cabo de la séptima semana, las cuales fueron enviadas a un laboratorio de suelo donde utilizaron métodos de Colorimetría, Kjeldahl y Absorción Atómica ⁽⁹⁾, para poder determinar el estado inicial y final del sustrato y conocer los nutrientes que fueron aportados después del proceso de compostaje.

El sustrato para analizar fue tomado del lugar en el que se ubicaron los lechos de compostaje, de tal manera, que se pueda obtener el estado inicial del suelo y el estado al finalizar el proceso. Para ello, al inicio y al final del proceso se tomaron de 15 a 20 muestras del sustrato de 500 gr c/u a una profundidad de 20 cm, para ser colocadas y mezcladas en un tacho y tomar una sola muestra de 1 kg, que fue colocada en una funda correctamente sellada y etiquetada, tomando en cuenta los requisitos del laboratorio de suelo Agrobiolab – Grupo Clínica Agrícola, ciudad Quito; lugar en donde se hizo el análisis de las muestras. Cabe recalcar, que al final del proceso de compostaje se envió una sola muestra por cada tratamiento, es decir, se mezcló el producto final de las tres réplicas de cada tratamiento para obtener una sola muestra por tratamiento. Se realizó esta técnica debido al comportamiento semejante de cada tratamiento con sus respectivas réplicas durante todo el proceso de compostaje.

Cabe recalcar que se, analizaron los siguientes parámetros:

- Nitrógeno (N)
- Nitrato (NO₃)
- Óxido de fosforo (P₂O₅)
- Óxido de Potasio (K₂O)
- Óxido de Calcio (CaO)
- Óxido de Magnesio (MgO)
- Sodio (Na)

- Azufre (S)
- Zinc (Zn)
- Cobre (Cu)
- Hierro (Fe)
- Manganeso (Mn)
- Boro (B)
- Materia Orgánica (%)
- Carbono (C)
- Humedad %
- Conductividad eléctrica (C.E)
- C/N
- pH

Análisis de datos

Se realizó el análisis descriptivo con Microsoft Excel, para poder obtener las gráficas de la variable temperatura, pH, humedad y densidad aparente que fueron controladas durante el proceso de compostaje, observando así los altos y bajos que reportó cada variable en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento. Adicionalmente, se generaron gráficas para los elementos más relevantes del análisis de laboratorio del estado inicial y final del proceso.

A continuación, utilizando el programa SPSS 15.0 se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, debido que fue la prueba indicada para el tipo de variables y datos con los que se contaba, por lo cual se realizó un análisis individual para el tipo de residuo y acelerador. Además, se utilizó esta prueba como resultado a la ausencia de normalidad que presentaron los datos en la prueba de Shapiro Wilk. No obstante, es importante mencionar que los datos si presentaron homocedasticidad en la prueba de Levene.

Al mismo tiempo, se aplicó el análisis post hoc – Tukey (comparaciones múltiples) para conocer los subconjuntos homogéneos que se forman en consideración a los diferentes grupos.

CAPITULO II: RESULTADOS

Se realizó un promedio de la cantidad de residuos orgánicos recolectados en los hogares durante los 7 días en que se efectuó la recolección, calculando los siguientes porcentajes que se presentan en la Figura 8.



Figura 8. Porcentaje de residuos recolectados en el sector de Pianguapí

En relación a la suma total de los residuos orgánicos recolectados en el sector de Pianguapí, se identificó que la mayor cantidad de residuos corresponden a vegetales con un 66%, mientras que solo el 34% conciernen a frutas (Figura 7).

En cuanto a la cantidad de residuos orgánicos recolectados a diario por cada hogar, estos datos se representan en la siguiente tabla 8.

Tabla 8. Promedio de residuos generados a diario por hogar dentro del sector de Pianguapí

GENERACIÓN DIARIA POR HOGAR		
Tipo de residuo	Kilogramo (Kg)	Porcentaje (%)
Vegetales	1,59	66
Frutas	0,82	34

Variables Respuestas en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento

En la presente investigación se llevó un control de los siguientes parámetros determinantes: temperatura, pH, humedad y densidad aparente en las 18 pilas de compostaje durante un tiempo fijo de siete semanas (Ver Anexo 10, promedios semanales).

Temperatura durante el proceso de compostaje

Es importante mencionar que durante el proceso de compostaje la temperatura es el parámetro más significativo por controlar. Por lo tanto, los promedios de las semanas más importantes se detallan en la Figura 9.

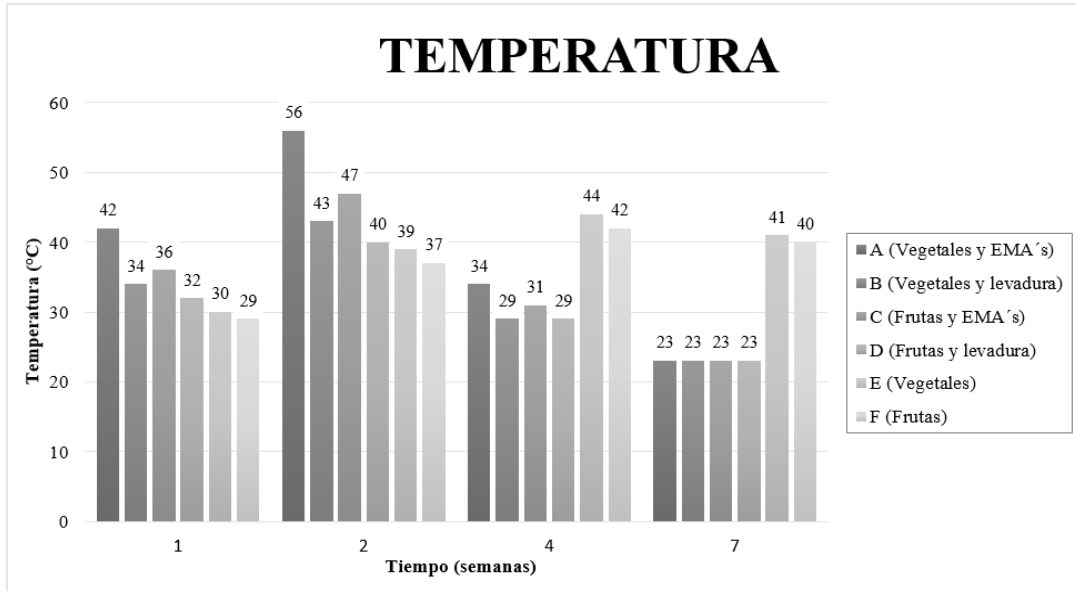


Figura 9. Medias aritméticas de la temperatura en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento

*Fase mesófila= Temp. ambiente hasta 40 °C, Fase termófila= 40 °C – 60 °C, Fase de enfriamiento= descenso hasta 30 °C, Fase de maduración= Temp. ambiente

Al cabo de la primera semana la temperatura se situó entre 29 °C – 42 °C, siendo el tratamiento A el que presentó mayores elevaciones. Mientras que en la segunda semana la temperatura registró promedios entre 37 °C – 56 °C, nuevamente el lecho A fue el único en superar los 50 °C. Y ya para la cuarta semana los lechos se encontraban en la fase de enfriamiento, debido a la disminución notable de la temperatura que se registró en los lechos A, B, C y D alcanzando promedios de 29 °C – 34 °C. Sin embargo, los lechos E y F se situaban en sus niveles más altos (fase termófila) con promedios de 44 °C para el lecho E, y para el F 42 °C. Durante las semanas siguientes los cuatro primeros lechos continuaron con el descenso de los niveles de temperatura, hasta alcanzar en la séptima semana su estabilización (fase de maduración) con un promedio de 23 °C. Sin embargo, los lechos E y F al finalizar las siete semanas continuaban en la segunda fase (termófila) quedando el lecho E con una temperatura de 41 °C y el F con 40 °C (Figura 9).

Tabla 9. Diferencias significativas de la variable temperatura en relación al tipo de residuos y aceleradores mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.

TEMPERATURA							
RESIDUOS							
	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem5	Sem6	Sem7
Chi-cuadrado	1,330	1,446	,794	,981	,524	,594	,073
gl	1	1	1	1	1	1	1
Sig. asintót.	,249	,229	,373	,322	,469	,441	,787
ACELERADORES							
	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem5	Sem6	Sem7
Chi-cuadrado	15,300	15,429	12,884	14,203	11,948	12,776	11,894
gl	2	2	2	2	2	2	2
Sig. asintót.	,000	,000	,002	,001	,003	,002	,003

Según los análisis estadísticos aplicando la prueba Kruskal-Wallis no se encontraron diferencias significativas en la variable temperatura para los tipos de residuos (vegetales y frutas) con valores $p > 0,05$. Sin embargo, se mostraron diferencias significativas entre los diferentes aceleradores $p < 0,05$.

El análisis post hoc – Tukey (comparaciones múltiples) formó subconjuntos homogéneos en consideración a los diferentes grupos para la variable aceleradores. Donde, para las semanas uno y dos agrupó dos subconjuntos diferentes, el primero conformado por sin acelerador y levadura más gaseosa y el segundo por EMA's. Sin embargo, para las semanas tres y cuatro se formaron tres subconjuntos (sin acelerador, EMA's y levadura más gaseosa). Mientras, que para las semanas cinco, seis y siete se formaron dos subconjuntos, quedando el primero con EMA's y levadura más gaseosa, y el segundo únicamente sin acelerador.

pH durante el proceso de compostaje

Los promedios de pH de las semanas más importantes durante el proceso de compostaje se detallan a continuación en la Figura 10.

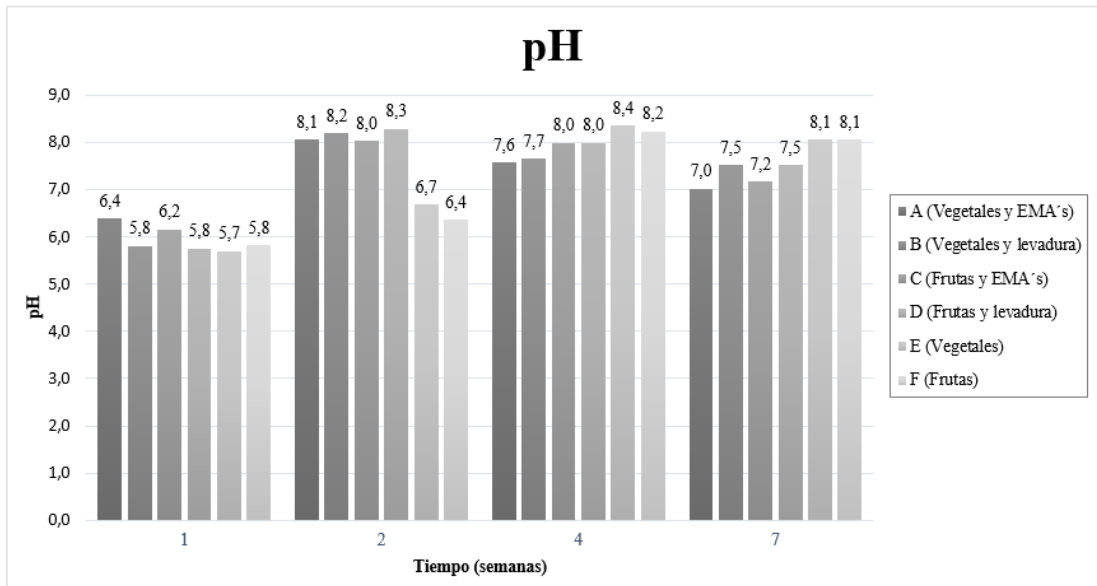


Figura 10. Medias aritméticas del pH en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento
*Ácido= <7, Neutro=7, Ligeramente alcalino= >7 - <8, Alcalino >8

En la primera semana el pH registró valores ácidos de 5,7 a 6,4 en todos los lechos. A partir de la segunda semana los lechos A, B, C y D presentaron un pH alcalino con rangos entre 8,0 a 8,3. No obstante, los lechos E y F continuaron con un pH ácido de 6,4 y 6,7. Durante la cuarta semana los lechos A y C mantuvieron los mejores rangos de pH - ligeramente alcalino, situado en 7,6 para el A, y 7,7 para el B, con lo cual se evidencia un notable descenso en el rango del pH. Mientras que los lechos C, D, E y F durante la cuarta semana presentaron rangos alcalinos de 8,0 a 8,4. En la séptima semana el lecho A alcanzó la mayor estabilidad con un pH neutro de 7,0 seguido del lecho C con 7,2, y los lechos B y D culminaron el proceso de compostaje con un pH ligeramente alcalino. Sin embargo, los lechos E y F finalizaron con un pH alcalino, ambos con un promedio de 8,1 (Figura 10).

Tabla 10. Diferencias significativas de la variable pH en relación al tipo de residuo y acelerador mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.

pH							
RESIDUOS							
	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem5	Sem6	Sem7
Chi-cuadrado	,032	,072	3,053	1,960	,644	,163	,051
gl	1	1	1	1	1	1	1
Sig. asintót.	,858	,789	,081	,161	,422	,687	,821
ACELERADORES							
	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem5	Sem6	Sem7
Chi-cuadrado	11,648	15,477	11,710	11,973	14,089	15,395	15,896
gl	2	2	2	2	2	2	2
Sig. asintót.	,003	,000	,003	,003	,001	,000	,000

De acuerdo con los análisis estadísticos aplicando la prueba Kruskal-Wallis no se encontraron diferencias significativas en la variable pH para los tipos de residuos (vegetales y frutas) con valores $p > 0,05$. No obstante, se identificaron diferencias significativas entre los diferentes aceleradores $p < 0,05$.

Por otro lado, el análisis post hoc – Tukey (comparaciones múltiples) formó subconjuntos homogéneos en consideración a los diferentes grupos para la variable aceleradores. Para la primera semana se formaron dos subconjuntos diferentes, el primero conformado por levadura más gaseosa y sin acelerador, y el segundo únicamente por EMA's. Así mismo, para las semanas dos, tres y cuatro se plasmaron dos subconjuntos con diferente distribución de manera que el primero está conformado solamente con aceleradores y el segundo por EMA's y levadura más gaseosa. Sin embargo, en las semanas cinco, seis y siete se formó un subconjunto para cada tipo de acelerador (sin acelerador, EMA's y levadura más gaseosa), es decir, se formaron 3 subconjuntos.

Humedad durante el proceso de compostaje

Los promedios de humedad de las semanas más relevantes se detallan a continuación en la Figura 11.

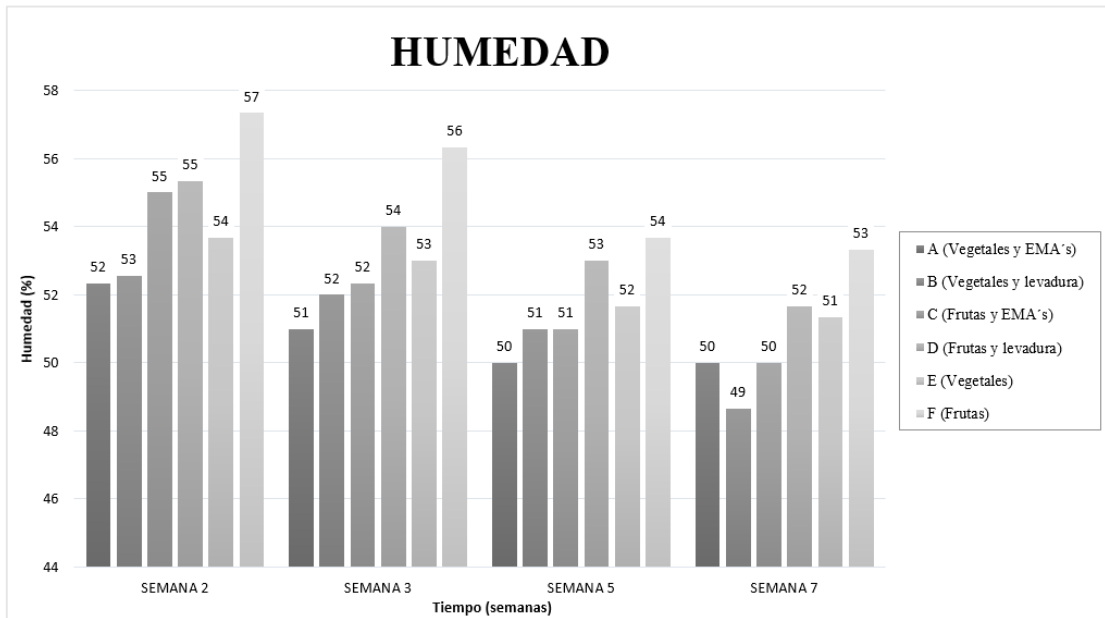


Figura 11. Medias aritméticas de humedad en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento

*Nivel óptimo= 45% - 60%

Al cabo de la segunda semana los lechos C, D y F, presentaron mayores porcentajes de humedad entre 55% - 57%, mientras que los lechos A, B y E, conservaron rangos entre 52% - 54%. En la tercera semana la humedad reportó los mayores rangos en los lechos D, E y F, con porcentajes entre 53% - 56%, sin embargo, los lechos A, B y C, se mantuvieron en un rango de 51% - 52% de humedad. La quinta semana reportó porcentajes entre 50% - 54%, de igual manera los lechos con mayor humedad fueron D, E y F. Al finalizar la séptima semana la humedad en todos los lechos redujo considerablemente en referencia a la segunda semana, presentando porcentajes entre 49% - 53%, donde los menores porcentajes en su mayoría fueron presentados por los lechos conformados por vegetales (Figura 11).

Tabla 11. Diferencias significativas de la variable humedad en relación al tipo de residuo y acelerador mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.

HUMEDAD						
RESIDUOS						
	Sem2	Sem3	Sem4	Sem5	Sem6	Sem7
Chi-cuadrado	13,283	7,312	3,645	6,349	5,628	4,710
gl	1	1	1	1	1	1
Sig. asintót.	,000	,007	,056	,012	,018	,030
ACELERADORES						
	Sem2	Sem3	Sem4	Sem5	Sem6	Sem7
Chi-cuadrado	2,609	8,966	10,666	9,208	8,299	8,390
gl	2	2	2	2	2	2
Sig. asintót.	,271	,011	,005	,010	,016	,015

Según los análisis estadísticos aplicando la prueba Kruskal-Wallis existen diferencias significativas en la variable humedad para los tipos de residuos (vegetales y frutas) en las semanas dos, tres, cinco, seis y siete con valores $p < 0,05$, siendo la cuarta semana en la única que no se encontraron diferencias significativas con valores $p > 0,05$. Sin embargo, en los diferentes aceleradores durante la segunda semana no se reportó diferencias significativas con valores $p > 0,05$, mientras que para las semanas tres, cuatro, cinco, seis y siete se reportaron diferencias significativas con valores $p < 0,05$.

El análisis post hoc – Tukey (comparaciones múltiples) formó subconjuntos homogéneos en consideración a los diferentes grupos para la variable aceleradores. Durante la segunda semana se formó un único subconjunto con los diferentes tipos de acelerador. De igual manera, para las semanas tres, cuatro, cinco y seis se formaron 2 subconjuntos: el primero conformado por EMA´s y levadura más gaseosa y el segundo únicamente sin acelerador, manteniendo una igualdad ambos subconjuntos con el acelerador a base de levadura más gaseosa. Al contrario, para la semana siete se formaron dos subconjuntos: el primero por EMA´s y levadura más gaseosa y el segundo únicamente sin acelerador.

Densidad Aparente durante el proceso de compostaje

Los promedios de densidad aparente de las semanas más importantes se detallan a continuación en la Figura 12.

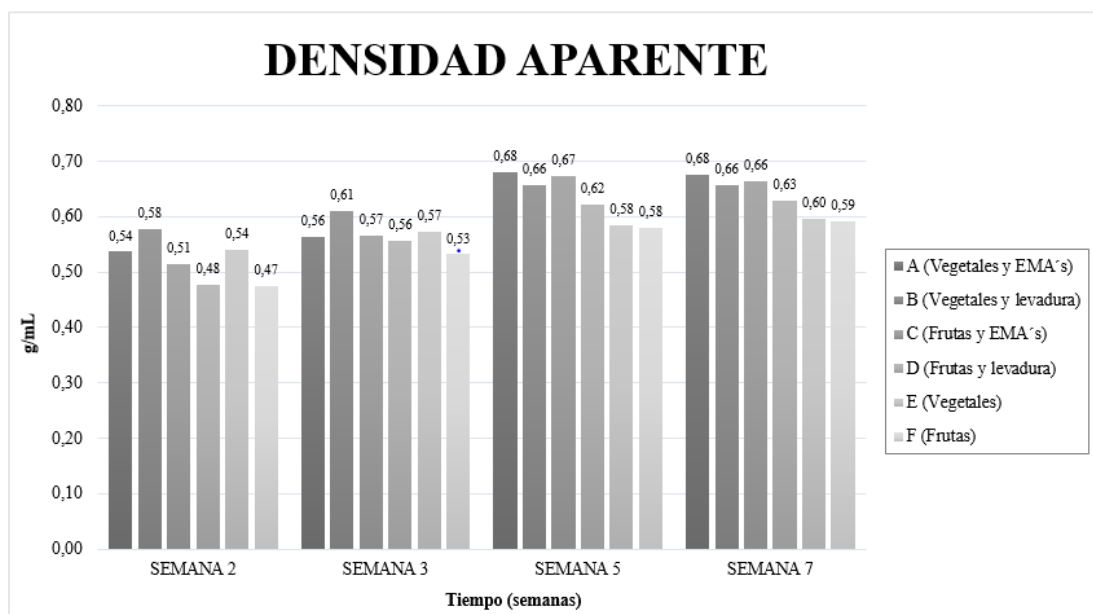


Figura 12. Medias aritméticas de la densidad aparente en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento

*Nivel óptimo= 0,40 g/mL – 0,70 g/mL

Para la segunda semana los lechos A, B y E, reportaron la mayor densidad aparente con medias aritméticas de 0,54 g/mL – 0,58 g/mL, mientras que los lechos C, D y F presentaron los menores rangos de 0,47 g/mL – 0,51 g/mL. Durante la tercera semana el lecho B registró la mayor densidad aparente con 0,61 g/mL, sin embargo, el lecho F presentó la media más baja con 0,53 g/mL, y los demás lechos conservaron medias entre 0,56 g/mL y 0,57 g/mL. En la quinta semana se registró un aumento en el lecho A con 0,68 g/mL, a diferencia de los lechos B, C y D que reportaron medias entre 0,62 g/mL – 0,67 g/mL, no obstante, los lechos E y F presentaron la densidad más baja de 0,58 g/mL. Al término de la séptima semana se registraron en los lechos A, B, C y D una densidad de 0,63 g/mL – 0,68 g/mL, mientras que en los lechos E y F se reportaron los valores más bajos, situándose la densidad para el lecho E en 0,60 g/mL, y para el lecho F 0,59 g/mL (Figura 12).

Tabla 12. Diferencias significativas de la variable densidad aparente en relación al tipo de residuo y acelerador mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.

DENSIDAD APARENTE						
RESIDUOS						
	Sem2	Sem3	Sem4	Sem5	Sem6	Sem7
Chi-cuadrado	12,991	7,202	,964	,398	1,358	1,457
gl	1	1	1	1	1	1
Sig. asintót.	,000	,007	,326	,528	,244	,227
ACELERADORES						
	Sem2	Sem3	Sem4	Sem5	Sem6	Sem7
Chi-cuadrado	,823	2,039	8,082	15,367	8,310	14,727
gl	2	2	2	2	2	2
Sig. asintót.	,663	,361	,018	,000	,016	,001

De acuerdo, al análisis estadístico aplicando la prueba Kruskal-Wallis existen diferencias significativas en la variable densidad aparente para los tipos de residuos (vegetales y frutas) en las semanas dos y tres con valores $p < 0,05$, mientras que en las semanas cuatro, cinco, seis y siete no se reflejan diferencias significativas con valores $p > 0,05$. No obstante, en los diferentes aceleradores durante las semanas dos y tres no se reportaron diferencias significativas con valores $p > 0,05$, mientras que para las semanas cuatro, cinco, seis y siete se reportaron diferencias significativas con valores $p < 0,05$.

El análisis post hoc – Tukey (comparaciones múltiples) formó subconjuntos homogéneos en consideración a los diferentes grupos para la variable aceleradores. Durante la semana dos y tres se formaron un único subconjunto que incluyen los tres aceleradores (sin acelerador, EMA's y levadura más gaseosa). Además, para la semana cuatro y seis se crearon dos subconjuntos: el primero por levadura más gaseosa y sin acelerador, y el segundo únicamente por EMA's. Finalmente para las semanas cinco y siete se creó un subconjunto para cada tipo de acelerador (sin acelerador, EMA's y levadura más gaseosa) formando de tal manera tres subconjuntos.

Análisis Químico

Se realizó un análisis químico al inicio y al final del proceso de compostaje para conocer la cantidad de elementos presentes al inicio (sin compost) y los que fueron aportados al obtener el abono orgánico (compost).

Se detallan los resultados obtenidos con todos los elementos analizados en la tabla 13.

Tabla 13. Resultados de análisis químico del estado inicial y final del suelo

Elementos analizados	Estado Inicial	Tratamiento A	Tratamiento B	Tratamiento C	Tratamiento D	Tratamiento E	Tratamiento F
N (%)	0,13	1,80	1,13	0,98	0,78	4,25	3,97
NO ₃ (ppm)	10,5	12,40	9,98	116,00	167,40	437,40	326,90
P ₂ O ₅ (%)	0,23	0,72	0,43	0,43	0,52	2,2	1,8
K ₂ O (%)	0,08	0,64	0,35	0,11	0,13	1,30	1,10
CaO (%)	0,48	2,16	1,98	1,12	1,35	2,80	3,85
MgO (%)	0,29	0,37	0,36	0,38	0,46	1,45	1,45
Na (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S (ppm)	4,92	64,45	42,45	51,34	62,13	100,50	143,00
Zn (ppm)	22,00	143,00	110,00	82,00	48,00	119,00	106,00
Cu (ppm)	17,000	23,000	18,000	21,000	17,000	40,000	40,000
Fe (ppm)	11.690,00	10450,00	1023,00	11543,00	12456,00	32160,00	30690,00
Mn (ppm)	137,00	185,00	165,00	198,00	203,46	294,00	260,00
B (ppm)	0,32	0,36	0,11	1,86	2,94	3,43	2,85
M.O. (%)	0,97	21,33	13,01	10,34	8,97	46,15	44,34
C (%)	0,56	12,87	10,76	8,86	5,02	18,32	17,24
Humedad (%)	26,85	50,87	49,34	49,65	50,14	42,87	53,45
C.E. (mmho)	0,65	1,01	1,60	2,40	2,20	4,51	5,07
C/N	4,33	16,65	10,12	13,85	10,02	26,58	23,76
pH.	7,1	7,4	7,7	7,3	7,6	8,3	8,2

En cada figura se detallan los rangos mínimos y máximos (rangos óptimos) que deben de tener los elementos químicos para que el compost sea considerado de calidad, según lo establecido por la norma de calidad de compost. ⁽³⁸⁾

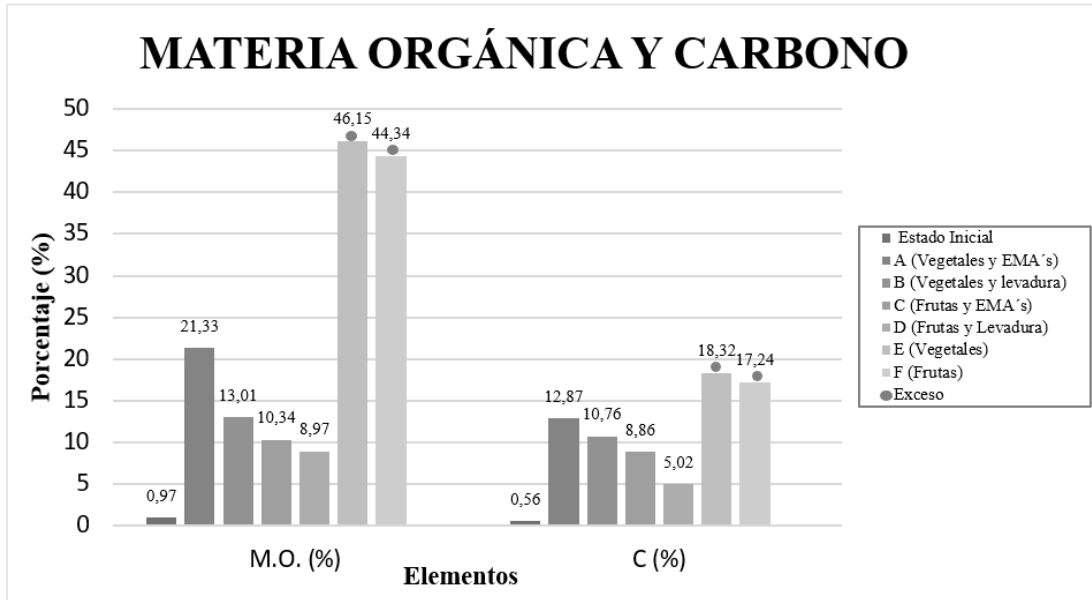


Figura 13. Porcentaje de Materia Orgánica y Carbono en función al tiempo de operación y tipo de tratamiento

*Rangos Mínimos y Máximos M. O= 20% – 40%, C= 5% – 15%

La materia orgánica inicial fue 0,97%, al finalizar el proceso de compostaje el lecho A alcanzó la mayor cantidad de materia orgánica dentro del rango óptimo con 21,33%, seguido de los lechos B, C y D con rangos entre 6,16% - 13,01%, sin embargo, los lechos E y F reportaron exceso en la cantidad de materia orgánica con 46,15% y 44,34%. Por otro lado, el porcentaje inicial de carbono fue 0,56%, al finalizar el proceso el lecho A volvió a registrar el porcentaje más alto dentro del rango óptimo 12,87%, seguido de los lechos B, C y D que alcanzaron valores entre 5,02% - 10,76%, a diferencia de los lechos E y F que registraron exceso de carbono con 18,32% - 17,24% (Figura 13).

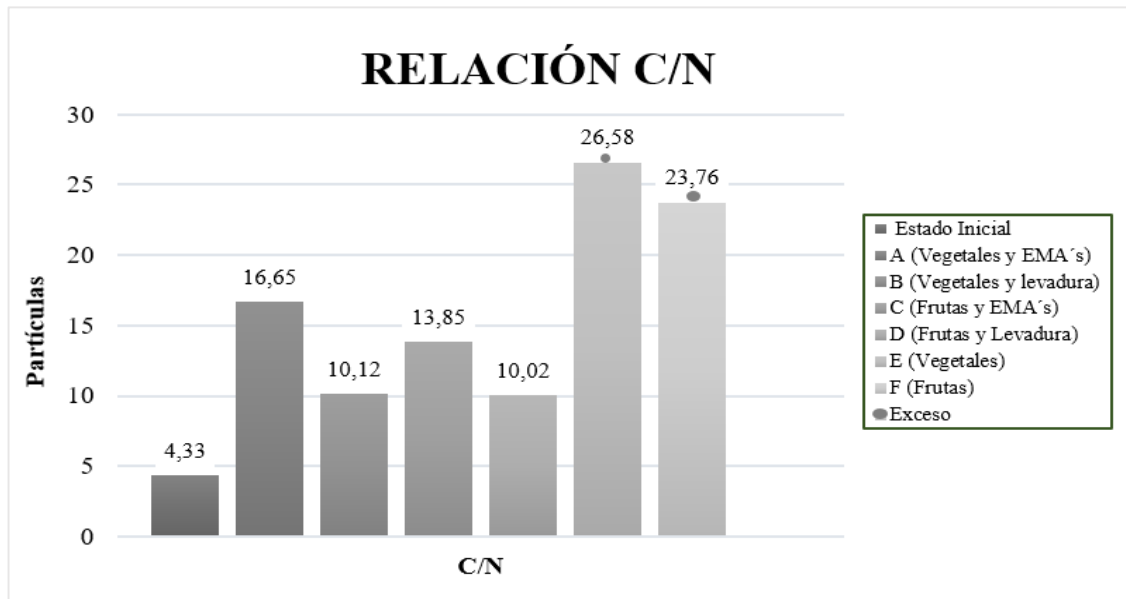


Figura 14. Porcentaje de relación C/N en función al tiempo de operación y tipo de tratamiento

*Rango Mínimo y Máximo: Relación C/N: 10 - 20

La relación C/N inicial fue 4,33, sin embargo, al cabo de las siete semanas el lecho A alcanzó el mayor rango con 16,65 dentro del nivel óptimo, mientras que los lechos B, C y D, se ubicaron en promedios desde 10,02 – 13,85, en cuanto a los lecho E y F, reportaron una elevada concentración de relación C/N con 26,58 para el lecho E, y 23,76 para el lecho F (Figura 14).

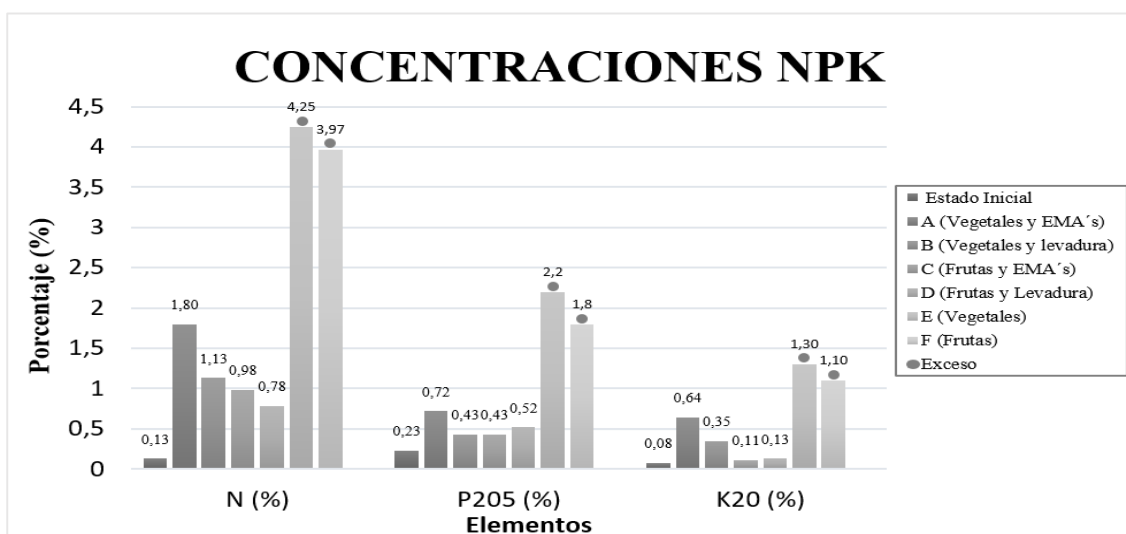


Figura 15. Porcentaje de concentraciones NPK en función al tiempo de operación y tipo de tratamiento

*Rangos Mínimos y Máximos: N= 1% - 2,5%; P₂O₅= 0,40% – 1,20%; K₂O=0,20% - 0,80%

El porcentaje inicial de nitrógeno (N) fue de 0,13%, al finalizar el proceso de compostaje el lecho A registró el mejor resultado dentro del nivel óptimo con 1,80%, seguido del lecho B con 1,13%. No obstante, los lechos E y F finalizaron con un exceso de nitrógeno con porcentajes entre 4,25% - 3,97%.

Por otra parte, el porcentaje inicial de óxido de fósforo (P_2O_5) fue de 0,23%, mientras que en el análisis final se constató que el lecho A obtuvo los mejores resultados dentro del nivel recomendable con 0,72%, y los lechos B, C y D registraron porcentajes entre 0,43% - 0,52%. Sin embargo, los lechos E y F reportaron exceso de P_2O_5 con 1,80% - 2,20%.

En cuanto, al porcentaje inicial de óxido de potasio (K_2O) fue de 0,08%, en cambio, al cabo de la séptima semana el lecho A obtuvo el mejor porcentaje dentro del rango ideal con 0,64% de óxido de potasio, seguido de los lechos B, C y D que lograron porcentajes entre 0,11% - 0,35%, mientras que los lechos E y F reportaron exceso de K_2O con porcentajes de 1,10% - 1,30% (Figura 15).

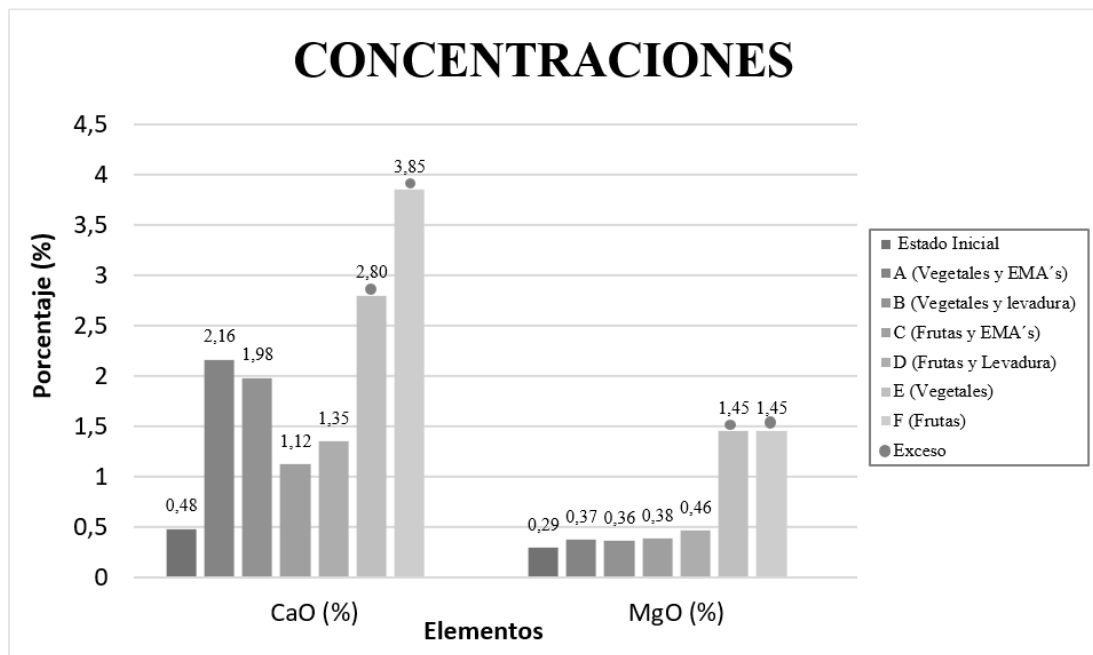


Figura 16. Porcentaje de concentraciones de óxido de calcio y óxido de magnesio en función al tiempo de operación y tipo de tratamiento

*Rangos Mínimos y Máximos: $CaO = 1\% - 3\%$; $MgO = 0,2\% - 0,5\%$

El porcentaje inicial de óxido de calcio fue 0,48%, mientras que al culminar el proceso los lechos A, B, C y D reportaron porcentajes de 1,12% - 2,16%. En cuanto a los lechos E y F presentaron los niveles más altos con 2,80% y 3,85%, saliéndose del rango óptimo.

El registro inicial de óxido de magnesio fue 0,29%, al finalizar el proceso los lechos A, B, C y D, obtuvieron porcentajes entre 0,36% - 0,46%, y los lechos E y F se salieron del rango óptimo, logrando porcentaje de óxido de magnesio con 1,45% (Figura 16).

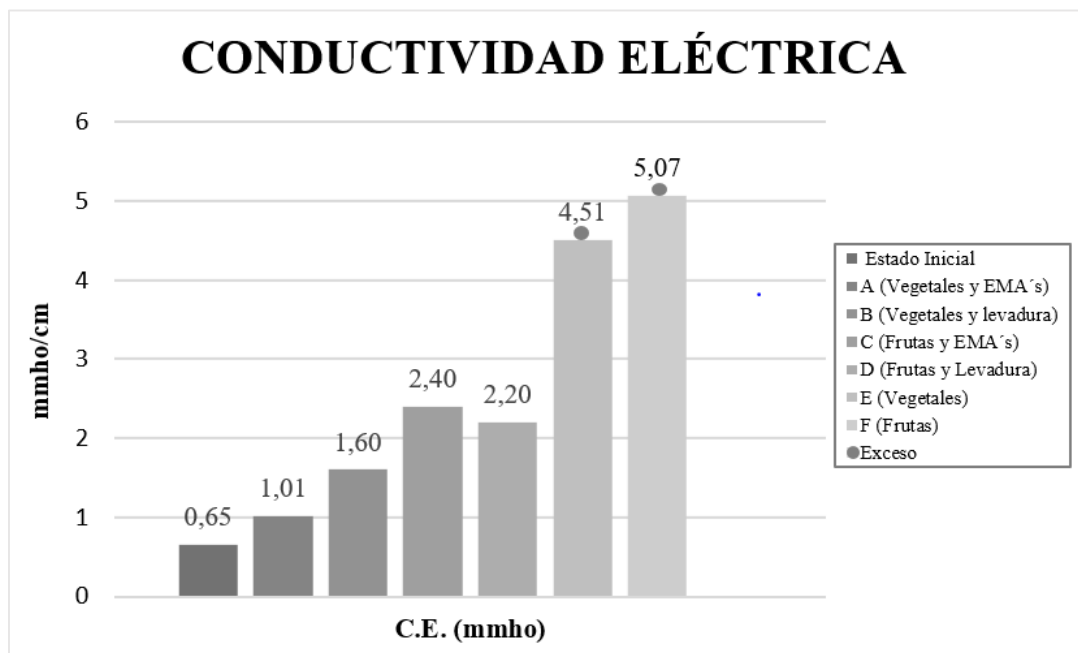


Figura 17. Conductividad eléctrica en función al tiempo de operación y tipo de tratamiento

*Rango Mínimo y Máximo: C. E= 1 – 2 mmho/cm – 2 – 2,5 mmho/cm

La conductividad eléctrica inicial fue de 0,65 mmho. Sin embargo, al finalizar el proceso el lecho A reportó el menor rango con 1,01 mmho/cm, seguido de los lechos B, C y D que alcanzaron aumentos entre 1,60 mmho/cm – 240 mmho/cm. Mientras que los lechos E y F presentaron las mayores elevaciones de conductividad eléctrica con 4,51 mmho/cm – 5,07 mmho/cm (Figura 17).

Análisis costo/beneficio

En este apartado se pretende identificar los beneficios sociales, ambientales y económicos que tiene el aprovechamiento de los residuos orgánicos para la producción de compost dentro del sector de Pianguapí.

Costo de inversión

La presente tabla detalla el costo de inversión para la producción de 40kg de compost en un lecho a base de vegetales y un bioacelerador de EMA's.

Tabla 14. Costo de inversión inicial para la producción de compost

Construcción de un lecho de compost				
Material	Cantidad	Unidades	Precio Unitario	Precio Total
Tabla	1	1	3,00	3,00
Caña guadua completa	1	1	3,00	3,00
Clavos (1 pulgada)	1	kg	1,00	1,00
Plástico transparente	1	m	2,50	2,50
Transporte	1	1	6,00	6,00
Solución Bioaceleradora (EMA's)				
Tarrinas	12	12	0,10	1,20
Liga	12	12	0,05	0,60
Tela nylon	2	2	1,00	2,00
Arroz	½	kg	0,30	0,30
Pescado	½	kg	0,75	0,75
Tacho	1	1	5,00	5,00
Melaza	1	lt	1,50	1,50
TOTAL				26,85

El costo de inversión para la producción de 40 kg de compost en un lecho es de \$26,85. Sin embargo, la utilización de cajas ya queda a criterio de cada familia, puesto que también se puede llevar a cabo el proceso de compostaje formando un montículo, simplemente utilizando plástico transparente para cubrir la pila de lluvias y evitar la bajada de temperatura, simplificando de tal manera el costo de inversión a \$19,85, el cual incluye el plástico transparente y los materiales para la obtención de la solución aceleradora a base de EMA's.

Costo que para las siguientes producciones de compost se reduce en su totalidad, puesto que de los materiales antes mencionados se obtiene 2 litros de solución madre; que es diluido cada litro en 20 litros de agua, dando como producto final 40 litros de solución aceleradora. Teniendo el conocimiento que cada lecho requiere de 1050 mL (1,05 litro) distribuido en sus diferentes capas, producto que sirve para 38 pilas de compostaje, es decir, para producir 1520 kg de compost maduro listo para su utilización

Tabla 15. Producción total en base a la inversión inicial

Producción total del acelerador a base de EMA's			
Producciones	Cantidad de compost por producción	Unidad	Total
38	40	kg	1520 kg

Con la inversión inicial de \$26,85 a largo plazo se puede producir 1520kg de compost, que en el mercado tiene un valor de \$7,50 cada 40kg. Como se puede obtener 38 producciones y en cada producción tener un total de 40 kg al terminarse la solución aceleradora a base de EMA's se puede adquirir 1520 kg de compost, dando un total de \$285,00 que restado a la inversión inicial de \$26,85, garantiza una ganancia neta de \$258,15 si la intención de la población es con fines comerciales.

Tabla 16. Proyección de ganancia con la producción de 1520kg de compost

Abono orgánico	Precio 40kg (USD)	Precio 1520 kg (USD)
Costo compost	7,50	285,00
Costo de inversión	-	26,85
TOTAL		258,15

Costo de operación y mantenimiento

Tomando en consideración la sencillez del proceso, no se requiere de ningún gasto extra. Debido que semanalmente se utiliza menos de 3 horas aproximadamente para los volteos y control, y no es necesario la contratación de personal para la ejecución de dichas actividades. En cuanto, al mantenimiento el costo también es nulo ya que al finalizar el proceso no se requiere de ningún mantenimiento al lecho en el caso de utilizarlo.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

Los resultados al finalizar la presente investigación demuestran que para obtener un compost de calidad se requiere de la utilización de residuos a base de vegetales con presencia de EMA's (microorganismos eficientes autóctonos), con lo cual durante el proceso de compostaje se garantiza mantener óptimas condiciones y conseguir como producto final un compost rico en nutrientes.

En cuanto a la utilización de aceleradores biológicos según Guevara, Rivera, González, Zamora, Saldaña, González y Salazar ⁽³⁹⁾, mencionan que es de gran importancia puesto que aportan grandes cantidades de microorganismos y energía que contribuyen acelerando el proceso de degradación de la materia orgánica, reduciendo hasta un 50% el tiempo estimado para la producción del compost; coincidiendo con los resultados del presente estudio, ya que los lechos A, B, C y D a los cuales se les aplicó aceleradores culminó su proceso de compostaje en un periodo de siete semanas (49 días). Sin embargo, el grupo control (lechos E y F), al cabo del tiempo establecido continuaban en la segunda fase denominada termófila, con lo cual se pone en evidencia la importancia que tiene la utilización de aceleradores ya que cuentan con la capacidad de reducir el tiempo establecido para la producción de compost que según Alcolea y González ⁽⁴⁰⁾, el tiempo para cosechar un compost maduro en etapa aeróbica es de tres a seis meses.

Por otro lado, Guevara *et al.* ⁽³⁹⁾, alude que la utilización de levadura de pan y agua azucarada es la mejor opción para acelerar la degradación de la materia orgánica, lo cual difiere con los resultados del presente estudio puesto que el acelerador que dio mayores resultados fue de microorganismos eficientes autóctonos (EMA's), con una degradación del 95% al cabo de la tercera semana. Sin embargo, las pilas a las que se le aplicó acelerador a base de levadura y gaseosa se encontraban con un 75% de materia degradada al finalizar la tercera semana. Además, el análisis post hoc-Tukey arrojó diferencias significativas $p < 0,05$ para la utilización de EMA's, mientras que el acelerador a base de levadura y gaseosa no reportó significancia con valores $p > 0,05$ (Anexo 3).

Con respecto a la variable temperatura menciona Bueno, Díaz y Cabrera ⁽¹⁷⁾, es la más importante a controlar durante el proceso de compostaje debido a la determinación que tiene con la evolución del proceso y la participación de microorganismos como: bacterias, hongos o actinomicetos a temperaturas de 40 °C a 60 °C en la fase termófila, siendo éste

el rango ideal para que los microorganismos puedan degradar las partículas más complejas de carbono como la celulosa y lignina; lo cual corrobora la eficacia de los resultados obtenidos en el presente estudio debido que los lechos A y C alcanzaron temperaturas superiores a los 45 °C durante la segunda semana, obteniendo el mayor rango el lecho A conformado por levadura y EMA's con un promedio de 56 °C, coincidiendo con los resultados obtenidos por Larreátegui ⁽⁹⁾, quien trabajó con los mismos residuos y aceleradores en San Gabriel de Baba Cantón Santo Domingo, donde el lecho que alcanzó el mayor rango de temperatura fue a base de vegetales y EMA's con 54,44 °C. Según Gómez y Vásquez ⁽⁴¹⁾, los EMA's tienen mucha influencia en las grandes temperaturas obtenidas en ambos estudios, ya que al momento de la captura de los microorganismos se reproducen bacterias de ácido láctico las cuales promueven una mayor descomposición de los residuos orgánicos.

No obstante, es importante recalcar que según Moreno y Moral ⁽⁴²⁾, se reconoce como un compost maduro un material térmicamente estabilizado, es decir, que haya alcanzado la temperatura ambiente; de tal manera se evidencia la madurez de los lechos A, B, C y D que al cabo de la séptima semana se encontraban a temperatura ambiente con un promedio de 23 °C; y refleja la inmadurez de los lechos E y F (grupo control) que se situaban a temperaturas de 40 °C – 41 °C, resultado atribuible según Bueno *et al.* ⁽¹⁷⁾ a la segunda fase denominada termófila.

La presencia del pH alcalino para los lechos E y F al finalizar esta investigación según Negro, Lezaún y Zaragoza ⁽⁴³⁾, se debe a la formación de amoníaco durante la fase termófila. Adicionalmente Moreno y Moral ⁽⁴²⁾, manifiestan que durante los inicios del proceso de compostaje (fase mesófila) es normal mantener un pH ácido por la alta presencia de bacterias productoras de ácidos orgánicos que conllevan al descenso de los niveles de pH, demostrando que todos los lechos en la presente investigación mantuvieron una igualdad al inicio del proceso con rangos entre 5,7 a 6,4 (pH ácido), por lo tanto, los rangos de desigualdad en el pH que se evidencian al final del proceso se atribuye a la utilización de aceleradores biológicos, ya que arrojaron diferencias significativas $p < 0,05$ para el uso de aceleradores; resultados que coinciden con los obtenidos por Larreátegui ⁽⁹⁾, puesto que lechos a los que le aplicó aceleradores biológicos mantuvieron pH ácido entre 5,8 a 6,4 al inicio del proceso (fase mesófila), culminando con rangos de 7,8 a 8,1 que según Negro *et al.* ⁽⁴³⁾, no es lo más recomendable, puesto que lo ideal para la fase de

maduración es conseguir la mayor neutralidad posible, colocando así en evidencia la validez del lecho A con un pH neutro de 7 al finalizar el presente estudio.

La mayor humedad registrada en este estudio al inicio del proceso de compostaje se dio en los lechos a base de frutas (C, D, F), según Riancho, Nájera, Ramírez y Mejía ⁽⁴⁴⁾, es atribuible a los residuos de partida considerando a los cítricos de mayor humedad; corroborando a su vez los resultados obtenidos durante la primera y segunda semana de la presente investigación, ya que las pilas a base de frutas estaban constituidas en su mayoría por residuos cítricos (cáscaras de naranja) provocando el incremento de la variable humedad y las diferencias significativas $p < 0,05$ obtenidas para el tipo de residuo según el análisis estadístico realizado.

La densidad aparente según los resultados obtenidos en el estudio de Pierini, Ratto, Avedissian, Zubillaga y Arancio ⁽⁴⁵⁾, analizan las propiedades físicas de un compost a base de residuos de poda, y a su vez concluyen que la densidad aparente es relativamente subjetiva a la humedad, a mayor humedad menor es la densidad aparente, lo cual coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación puesto que los lechos que reportaron mayor humedad también alcanzaron menor índice de densidad aparente y a su vez durante la primera y segunda semana se hallaron diferencias significativas $p < 0,05$ en el tipo de residuo aplicado. De igual manera, estos resultados coinciden con los obtenidos en el estudio de Larreátegui ⁽⁹⁾, en el cual los lechos a base de fruta reportaron el menor índice de densidad aparente con diferencias significativas ($p = 0,001$) al inicio del proceso.

Al finalizar el proceso la relación C/N de las pilas fluctuaban entre 4,33 a 26,58. Los investigadores Hue y Liu ⁽⁴⁶⁾, recomiendan índices < 20 , considerando a los < 10 con déficit de relación C/N. Sin embargo, en el presente estudio los lechos que se encuentran dentro del rango establecido por Hu *et al.* ⁽⁴⁶⁾, son el A, B, C y D con valores superiores a 10, siendo el lecho A el que presentó la mejor relación C/N según lo determinado por Hu *et al.* Además, se evidencia que el estado inicial del sustrato mantenía un déficit en cuanto a la relación C/N, y que los lechos E y F finalizaron con una elevada relación C/N entre 23,76 y 26,85. Según Soliva *et al.* ⁽²¹⁾, la relación C/N de los lechos E y F se debe a la evolución a lo largo del proceso, aumentando en la fase termófila puesto que durante esta fase el carbono empieza su reducción al ser utilizado como una fuente primaria de energía para los microorganismos y el nitrógeno a su vez es un elemento necesario para el crecimiento de los mismos, determinando que la elevada relación C/N en los lechos E

y F, es atribuible a la permanencia de la fase termófila al finalizar el tiempo establecido en el presente estudio.

La conductividad eléctrica (C.E), reportó niveles más altos que lo permitido en los lechos E y F, estudios como el de Cicore, Sánchez, Peralta, Aparicio, Castro y Costa ⁽⁴⁷⁾, determinan que la elevada cantidad de Azufre en compañía de los nitratos (NO₃), son los causantes de elevar la conductividad eléctrica, concordando con los resultados obtenidos en el presente estudio donde, el Azufre en los lechos E y F reportaron valores entre 100,50 ppm a 143,00 ppm, y en Nitratos de 326,90 ppm a 437,40 ppm. Investigaciones similares de Soliva *et al.* ⁽²¹⁾, atribuyen las elevaciones de Azufre y Nitrato a la gran cantidad de materia orgánica presente en compañía de un pH alcalino y un ambiente salobre, que arrojan como resultado una elevada conductividad eléctrica. Negro *et al.* ⁽⁴³⁾, menciona que los niveles recomendados de conductividad eléctrica oscilan entre 1 y 2 mmhos/cm y un máximo de 2 a 2,5 mmhos/cm, mientras que cultivos como el tomate riñón son capaces de soportar hasta 3,5 mmhos/cm, es decir, que al hacer uso de los compost del lecho E y F sería necesario tener un efecto de dilución o de lo contrario no permitiría la germinación de semillas o de pilones, en la condición de producto puro.

En cuanto, al porcentaje de N-P-K se reportan niveles elevados en los lechos E y F, de acuerdo a la investigación realizada por Castillo, Quarín e Iglesias ⁽⁴⁸⁾, estos porcentajes altos son directamente proporcionales a la presencia de materia orgánica, lo cual se corrobora en los resultados del presente estudio, en que los lechos E y F nuevamente presentan índices elevados de M.O sobrepasando el nivel óptimo recomendable por Castellano ⁽⁴⁹⁾, donde menciona que el nivel de M.O para un compost maduro no debe exceder el 40%, mientras que los lechos E y F sobrepasaron el máximo permisible con un 46,15%. Este resultado está relacionado según Castro y Daza ⁽⁵⁰⁾, a un compost inmaduro o que aún no haya finalizado su proceso de compostaje.

A su vez, se refleja que el lecho A registró los porcentajes más adecuados en macronutrientes (N, P, K, M.O, CaO y MgO), lo cual de acuerdo a Rodríguez *et al.* ⁽¹⁴⁾, garantiza el crecimiento de las plantas debido a los porcentajes adecuados de macronutrientes que posibilitan la transferencia de energía que es de vital importancia para el proceso de fotosíntesis, al mismo tiempo que contribuye en la síntesis de los procesos de carbohidratos.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

La divulgación del proyecto al sector de Pianguapí, fue eficaz para promover el interés y entusiasmo de la población hacia la producción de compost, realizando un buen aprovechamiento y separación de los residuos orgánicos en la fuente, que a su vez facilitó el trabajo en campo para armar los lechos de compostaje.

La utilización de soluciones bioaceleradoras reducen hasta un 50% del tiempo establecido para la obtención de compost, puesto que al finalizar el estudio los grupos controles continuaron en la fase termófila, mientras que los lechos con aceleradores finalizaron su proceso al cabo de la séptima semana.

Se comprobó que la utilización de EMA's como acelerador biológico, garantiza mejores resultados durante el control de los parámetros físico químicos, cumpliendo con todos los rangos necesarios para darse un adecuado proceso de compostaje, lo cual es confirmado por el análisis estadístico que arrojó diferencias significativas para la utilización de EMA's.

Los lechos a base de frutas y levadura más gaseosa como solución bioaceleradora presentaron los rangos más bajos de temperatura durante el proceso de compostaje en comparación con los demás lechos a los cuales se le aplicó aceleradores.

Los lechos a base de frutas presentaron mayores porcentajes de humedad con respecto a los lechos a base de vegetales como materia prima, arrojando diferencias significativas en la humedad para la utilización de frutas.

El tratamiento más eficaz para obtener un compost de calidad es a base de vegetales y EMA's, debido a las óptimas condiciones reportadas durante todo el proceso de compostaje y a los resultados del análisis de laboratorio.

La producción de compost a base de vegetales y EMA's dentro del sector de Pianguapí es económicamente viable, debido al bajo costo de inversión y a las grandes cantidades de micro y macronutrientes aportadas al sustrato, garantizando una mejora en la calidad del suelo.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

Se recomienda para futuras investigaciones mantener seguimientos constantes de la temperatura durante el proceso de compostaje, debido a la importancia que representa este parámetro para conocer la evolución del proceso.

Se sugiere realizar proyectos de vinculación por parte de la PUCE–SE para dar seguimiento a la implementación de la metodología impartida, debido que la población de Pianguapí mostró gran interés durante la capacitación, elaboración y uso del compost como producto final, por la capacidad que tiene de mejorar la calidad del suelo y reducir el deterioro del ecosistema adyacente al sector.

Se recomienda realizar estudios para conocer la cantidad exacta de residuos que se generan a diario en la ciudad de Esmeraldas y poder replicar el experimento en otros sectores de la ciudad, a fin de brindar todos los beneficios que ofrece la producción de compost a sectores con similares problemáticas y con ello mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Soto M G. ABONOS ORGÁNICOS : EL PROCESO DE COMPOSTAJE. Cent Agronómico Trop Investig y Enseñanzas. 2003;1-3.
2. Gómez CIS. Problemática y gestión de residuos sólidos peligrosos en Colombia. Innovar Rev ciencias Adm y Soc. 2000;(15).
3. Rojas Pérez FN, Zeledón Vílchez EA. Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características física, química y biológica del compost. Universidad Nacional Agraria, UNA; 2007.
4. Román P, Martínez MM, Pantoja A. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. 2013;12-8.
5. Uribe Lorío L. Inocuidad de abonos organicos. Cent Investig Agronómicas. 2003;1-4.
6. Gámez Zamora LA. Efectos de los microorganismos eficientes autóctonos (MEA) EN LA producción de vermicompostaje. Ecuador-PUCESE-Escuela de Gestión Ambiental; 2016.
7. Torres Cedillo L. Elaboración de composta. Secr Agric Ganad Desarro Rural pesca y Aliment. 2013;2-18.
8. Valenzuela Solano C. Elaboración y uso de compostas. Inst Nac Investig For agrícolas y Pecu. 2005;3-6.
9. Larreátegui R. Estudio comparativo en la producción de dos tipos de compost con residuos orgánicos en la pre-parroquia San gabriel del baba cantón Santo Domingo. Quito: Universidad de las Américas, 2013.; 2013.
10. Jaramillo J. Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales-GIRSM. 1999;3:10-2.
11. Moreira M. Resumen de los impactos ambientales y sobre la salud de los rellenos sanitarios. GREENPEACE. 2004;3-6.
12. Corona VM. Residuos Orgánicos. A limpiar el mundo. 2013;1.
13. Díaz E. Lombricultura una alternativa de producción. Guía Lombricultura Agencia Desarro Económico y Comer Exter Munic Cap La Rioja Para Emprend y Prod del agro La Rioja-Abril del. 2002;17.
14. Rodríguez M, Córdova A. Manual de compostaje municipal. Inst Nac Ecol México. 2006;2:20-2.
15. Yépes Jiménez B, Pulgarín Pineda L. Proceso de compostaje [Internet]. Ciencias del suelo. Disponible en:

<https://elsueloysubiologia.wordpress.com/compostaje/proceso-de-compostaje/>


16. Gómez YT, González González MI, Chiroles Rubalcaba S. Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. Medio Ambiente y Desarrollo Rev electrónica la agencia Medio Ambiente [Internet]. 2004;4(7). Disponible en: <http://ama.redciencia.cu/articulos/7.01.pdf>
17. Márquez PB, Díaz Blanco MJ, Cabrera Capitán F. Factores que afectan al proceso de Compostaje. Univ Huelva Fac Ciencias Exp [Internet]. 2005;16. Disponible en: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores que afectan al proceso de compostaje.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf)
18. Gordillo F, Chávez E. Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Esc Super Politécnica del Litoral-Centro Investig científica y tecnológica. 2016;(August).
19. García KBV. ELABORACIÓN DE COMPOSTA A PARTIR DE RESIDUOS DE PESCADO, UTILIZANDO EL MÉTODO DE PILAS CON AIREACIÓN MECÁNICA. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. 2015.
20. Jaramillo Henao G, Zapata Márquez LM. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. 2008;
21. Soliva M, López M. Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. 2004;1-20. Disponible en: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38969255/calidad_compost.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1538244196&Signature=pvQnlNxZ7zhf%2FA%2FQseyW%2FtG8yJw%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DCalidad_compost.pdf
22. Porras AC, González AR. Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. Acad y Virtualidad. 2016;9(2):90-107.
23. Hernandez A. La Composta, su Elaboración y Beneficio. 2003;2:4-12.
24. Toffey WE. We're in the soil business, remember! BioCycle (USA). 1998;
25. Röben E. Manual de Compostaje Para Municipios. Munic Loja [Internet]. 2002;1-68. Disponible en: www.ded.org.ec
26. Naranjo Pacha EI. Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost. 2013.
27. ANC (Asamblea Nacional Constituyente). Constitución de la República del Ecuador. 2008;140. Disponible en: http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
28. Congreso Nacional (Comisión de Legislación /Codificación). Ley De Gestion Ambiental, Codificacion. Codif La Ley Gest Ambient. 2004;53(9):1689-99.

29. Registro oficial de Ecuador. Acuerdo No. 061 Reforma Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria. 2015;80. Disponible en: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>
30. /Codificación) CN (Comisión de L. Ley de prevención y control de la contaminación ambiental. 2004;(907040):10-3. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf>
31. Ing. Diego Alfonso Vizcaíno Cabezas. Instructivo De La Normativa General Para Promover Y Regular La Producción Orgánica - Ecológica - Biológica En El Ecuador. Minist Agric Ganad Acuicultura y Pesca [Internet]. 2013;5:202. Disponible en: <http://gestion.pe/opinion/2015-ano-critico-america-latina-alejandro-werner-2120078>
32. La Hora. Pianguapí un sitio ancestral [Internet]. 2013. Disponible en: <https://lahora.com.ec/noticia/1101520545/e28098pianguapc3ad-un-sitio-ancestrale28099>
33. Marin JM. Modelo de diseños factoriales y diseños 2k. En: Universidad Carlos III de Madrid.
34. Campbell DT, Stanley JC. Experimental and Quasi-Experimental Design for Research. Handbook of Research on Teaching (1963). 1967. 1-84 p.
35. psyma. ¿Cómo determinar el tamaño de una muestra? [Internet]. 2015. Disponible en: <https://psyma.com/es/la-empresa/news/message/como-determinar-el-tamano-de-una-muestra>
36. El Comercio. PIANGUAPÍ: UNA RESERVA CON TURISMO COMUNITARIO [Internet]. Planeta. 2015. Disponible en: <http://especiales.elcomercio.com/planeta-ideas/planeta/agosto-9-del-2015/pianguapi-reserva-con-turismo-comunitario>
37. El Telegrafo. Microorganismos mejoran los suelos agrícolas [Internet]. 2017. Disponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/microorganismos-mejoran-los-suelos-agricolas>
38. Comisión Nacional del Medio Ambiente - Departamento Descontaminación Planes y Normas. Norma de calidad de compost. 2000;1-18.
39. Guevara Espinosa MD, Rivera Mórales MC, González Guzmán C, Zamora López ME, Saldaña Blanco M de L, González Guzmán JI, et al. Propuesta De Un Acelerador Del Proceso De Compostaje Para Aplicación En Agricultura Familiar. 2015 [Internet]. 1:1-7. Disponible en: http://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/extensos/sesion5/S5-DIV05.pdf

40. Alcolea M, González C. Manual de compostaje doméstico. 2000;1-49. Disponible en: <http://www.resol.com.br/cartilhas/manual-compostaje-en-casa-barcelona.pdf>
41. Gómez D, Vásquez M. Abonos orgánicos. Sist Agronegocios Agric [Internet]. 2007;1-7. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos_organicos.pdf
42. Moreno Casco J, Moral Herrero R. Compostaje [Internet]. 2008. 209-228 p. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=APuzwas6rrcC&lpg=PA94&ots=BRQwL2owT5&dq=COMPOST_fases&lr&hl=es&pg=PA8#v=onepage&q=COMPOST_fases&f=false
43. Negro MJ, Lezaún JA, Zaragoza C. Producción y Gestión del Compost. Iformaciones Técnicas-Gobierno de Aragón. 2000;48(2 1):1-31.
44. Riancho MRS, Aguilar HAN, Herrera JGR, Sánchez GMM. Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación. Ingeniería [Internet]. 2002;6(1):13-20. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46760102>
45. Pierini V, Ratto S, Avedissian F, Zubillaga M. Propiedades físicas de un compost obtenido a partir de residuos de poda. Rev Fac Agron UBA [Internet]. 2010;30(1-2):95-9. Disponible en: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/facultadagronomia/2010Pierini.pdf>
46. Hue N, Liu J. Predicting compost stability. Compost Sci Util. 1995;3(2):8-15.
47. Cicore PL, Sánchez HR, Peralta NR, Aparicio V, Castro FM, Costa JL. Utilización de la conductividad eléctrica aparente y la elevación para delimitar ambientes edáficos en suelos ganaderos. 2012;19-25.
48. Castillo A, Quarín S, Iglesias M. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DE COMPOST DE LOMBRICES ELABORADOS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS PUROS Y COMBINADOS. Agric Técnica. 2000;60(1).
49. Castellano D. Compost en agricultura, jardinería y paisajismo. Castell Manchega limpieza, SLU [Internet]. 2011;90-1. Disponible en: <http://cml-medioambiente.com/pdf/compost2011.pdf>
50. García GC, Daza MC. Evaluación de enmiendas en el proceso de compostaje de residuos de curtiembres. Producción+Limpia. 2016;11(1):53-65.

ANEXOS

Anexo 1: Análisis del laboratorio

 AGROBIOLAB - GRUPO CLINICA AGRICOLA Informe de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y E.C.P. Gonzalo Zaldumbide N49-204 y César Frank Urb. Dammer 2 (El Inca) Telfs: (593-2) 241-2383 / 241-2385 Fax: (593-2) 241-3312 Quito - Ecuador Pagina Web: www.grupoclinicagrícola.com E-mail: info@grupoclinicagrícola.com COMPOST											
Datos del Cliente						Referencia					
Cliente : ZAMORA LOOR KAROL ANDREA Propiedad: ZAMORA LOOR KAROL ANDREA Cultivo : COMPOST Ingreso : 23/05/2018 Ensayo: 28/05/2018 No. Lab : Desde: 2806 Hasta : 2810						No. Doc: 51442 Emisión: 31/05/2018 Impreso: 31/05/2018 Pagina: 1 de 2					
Nombre: ESTADO INICIAL											
No. Lab.: 2,806											
N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.13	10.50	0.23	0.08	0.48	0.29	0.01	4.92	22.00	17.000	11690.00	137.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
0.32	0.97	0.56	26.85	0.65	4.33	7.10					
Nombre: TRATAMIENTO A											
No. Lab.: 2,807											
N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
1.10	12.40	0.72	0.64	2.16	0.37	0.01	64.45	143.00	23.000	10450.00	185.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
0.36	21.33	12.87	50.87	1.01	16.65	7.40					
Nombre: TRATAMIENTO B											
No. Lab.: 2,808											
N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
1.13	9.98	0.43	0.35	1.98	0.36	0.001	42.45	110.00	18.000	10230.00	165.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
0.11	13.01	10.76	49.34	1.60	10.12	7.70					
Nombre: TRATAMIENTO C											
No. Lab.: 2,809											
N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.98	116.00	0.43	0.11	1.12	0.38	0.01	51.34	82.00	21.000	11543.00	198.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
1.86	10.34	8.86	49.65	2.40	13.85	7.30					

Símbolo decimal = (.)

Métodos: Absorción Atómica, Colorimétrica y Kjeldhal

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

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

¡SU ÉXITO ES NUESTRO!



Dr. Washington A. Padilla G. Ph.D.

Director del Laboratorio

Figura 18. Resultados del análisis inicial y final del sustrato

Datos del Cliente						Referencia					
Cliente :ZAMORA LOOR KAROL ANDREA Propiedad:ZAMORA LOOR KAROL ANDREA Cultivo :COMPOST Ingreso :23/05/2018 Ensayo: 28/05/2018 No. Lab : Desde: 2810 Hasta : 2812						No. Doc: 51442 Emisión: 31/05/2018 Impreso: 31/05/2018 Página: 2 de 2					

Nombre: TRATAMIENTO D
No. Lab.: 2,810

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.78	167.40	0.52	0.13	1.35	0.46	0.01	62.13	48.00	17.000	12456.00	203.46
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
2.94	8.97	5.02	50.14	2.20	10.02	7.60					

Nombre: TRATAMIENTO E
No. Lab.: 2,811

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
4.25	437.40	2.20	1.30	2.80	1.45	0.01	100.50	119.00	40.000	32160.00	294.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
3.43	46.15	18.32	42.87	4.51	26.58	8.30					

Nombre: TRATAMIENTO F
No. Lab.: 2,812

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
3.97	326.90	1.80	1.10	3.85	1.45	0.01	143.00	106.00	40.000	30690.00	260.00
B ppm	M.O. %	C %	Humedad %	C.E. mmho	C/N	pH					
2.85	44.34	17.24	53.45	5.07	23.76	8.20					

Símbolo decimal = (.)

Métodos: Absorción Atómica, Colorimétrica y Kjeldhal
P (PEE/ABU/35), K (PEE/ABL/36)

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

¡SU ÉXITO ES NUESTRO!



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

Figura 19. Continuación del análisis inicial y final del sustrato

Anexo 2: Formato de asistencia

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas Escuela de Gestión Ambiental					
REGISTRO DE ASISTENCIA					
		Pontificia Universidad Católica del Ecuador SEDE ESMERALDAS			
ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL					
COMPARACIÓN DE DOS TIPOS DE COMPOST TRATADOS CON DIFERENTES ACELERADORES BIOLÓGICOS APROVECHANDO LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL SECTOR DE PIANGUAPÍ – ESMERALDAS.					
Tema: Capacitación para realizar una buena separación de residuos orgánicos en la fuente, dirigido a los moradores del sector de Pianguapí.					
Fecha: 02/03/2018			Sitio: Pianguapí		
No.	Nombres y Apellidos		Teléfono	Firma	Hora

Figura 20. Formato de registro de asistencia que se utilizó en la capacitación impartida en el sector de Pianguapí

Anexo 3: Fichas de campo

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas Escuela de Gestión Ambiental																
RECOLECCIÓN DE RESIDUOS (REGISTRO)																
COMPARACIÓN DE DOS TIPOS DE COMPOST TRATADOS CON DIFERENTES ACELERADORES BIOLÓGICOS APROVECHANDO LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL SECTOR DE PIANGUAPÍ – ESMERALDAS.																
CASAS	DÍA 1		DÍA 2		DÍA 3		DÍA 4		DÍA 5		DÍA 6		DÍA 7		PROMEDIO (LIBRAS)	
	Fruta	Vegt.	Fruta	Vegt.	Fruta	Vegt.	Fruta	Vegt.	Fruta	Vegt.	Fruta	Vegt.	Fruta	Vegt.	Fruta	Vegt.
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
TOTAL																

Figura 21. Ficha de campo para la recolección de los residuos orgánicos en el sector de Pianguapí

FICHA DE CAMPO - TEMPERATURA (SEMANA 3 A 7)

COMPARACIÓN DE DOS TIPOS DE COMPOST TRATADOS CON DIFERENTES ACCELERADORES BIOLÓGICOS
APROVECHANDO LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL SECTOR DE PIANGUAPÍ – ESMERALDAS.

LECHOS	SEMAMA 3				SEMANA 4				SEMANA 5				SEMANA 6				SEMANA 7			
	1	2	3	PROM.	1	2	3	PROM.	1	2	3	PROM.	1	2	3	PROM.	1	2	3	PROM.
A																				
A ₁																				
A ₂																				
B																				
B ₁																				
B ₂																				
C																				
C ₁																				
C ₂																				
D																				
D ₁																				
D ₂																				
E																				
E ₁																				
E ₂																				
F																				
F ₁																				
F ₂																				

Figura 22. Ficha de campo de la variable temperatura durante el proceso de compostaje

FICHA DE CAMPO - HUMEDAD (SEMANA 2 A 7)

COMPARACIÓN DE DOS TIPOS DE COMPOST TRATADOS CON DIFERENTES ACCELERADORES BIOLÓGICOS
APROVECHANDO LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL SECTOR DE PIANGUAPÍ – ESMERALDAS.

LECHOS	SEMAMA 2				SEMANA 3				SEMANA 4				SEMANA 5				SEMANA 6				SEMANA 7			
	1	2	3	PROM.	1	2	3	PROM.	1	2	3	PROM.	1	2	3	PROM.	1	2	3	PROM.	1	2	3	PROM.
A																								
A ₁																								
A ₂																								
B																								
B ₁																								
B ₂																								
C																								
C ₁																								
C ₂																								
D																								
D ₁																								
D ₂																								
E																								
E ₁																								
E ₂																								
F																								
F ₁																								

Figura 23. Ficha de campo de la variable humedad durante el proceso de compostaje

Anexo 4: Promedios de temperatura

PROMEDIOS DE TEMPERATURA (°C)
SEMANA 1

LECHOS	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	PROMEDIO
A	32	35	38	41	45	49	52	42
A ₁	33	37	40	44	48	51	53	44
A ₂	30	34	38	42	47	50	52	42
B	28	30	30	33	36	39	41	34
B ₁	27	29	31	35	37	40	42	34
B ₂	27	28	30	32	35	37	41	33
C	26	29	32	36	41	44	47	36
C ₁	26	29	33	37	42	45	46	37
C ₂	25	27	32	36	39	43	45	35
D	26	26	30	33	35	38	41	33
D ₁	26	27	29	31	34	37	40	32
D ₂	25	26	28	33	35	38	41	32
E	26	26	28	30	33	34	35	30
E ₁	27	27	29	31	32	33	35	31
E ₂	27	28	28	30	31	33	34	30
F	25	25	27	30	32	33	34	29
F ₁	25	26	27	29	31	32	34	29
F ₂	25	26	27	29	30	32	33	29

Figura 24. Datos de la variable temperatura durante la semana 1

PROMEDIOS DE TEMPERATURA (°C)
SEMANA 2

LECHOS	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	PROMEDIO
A	54	57	57	57	54	53	50	55
A ₁	55	58	58	58	58	56	54	57
A ₂	53	56	57	57	57	56	54	56
B	44	46	45	44	42	41	40	43
B ₁	44	45	46	44	42	40	40	43
B ₂	43	45	45	43	42	41	40	43
C	49	50	50	50	47	44	42	47
C ₁	48	49	50	50	48	45	41	47
C ₂	48	49	51	50	47	45	42	47
D	42	44	43	42	39	37	36	40
D ₁	41	42	42	40	39	37	36	40
D ₂	43	43	41	40	38	37	36	40
E	36	36	38	38	40	41	42	39
E ₁	35	36	38	39	40	41	41	39
E ₂	35	37	39	39	41	41	42	39
F	36	36	37	38	39	40	40	38
F ₁	34	34	34	36	37	38	39	36
F ₂	3	34	35	35	36	38	39	36

Figura 25. Datos de la variable temperatura durante la semana 2

PROMEDIOS DE TEMPERATURA (°C)							
SEMANA 1 A SEMANA 7							
LECHOS	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7
A	42	55	41	33	28	24	23
A ₁	44	57	42	36	26	26	23
A ₂	42	56	40	34	28	28	22
B	34	43	30	30	26	26	22
B ₁	34	43	32	28	24	24	24
B ₂	33	43	30	30	26	26	22
C	36	47	35	30	24	24	24
C ₁	37	47	34	30	28	28	24
C ₂	35	47	36	32	26	26	22
D	33	40	33	30	24	24	24
D ₁	32	40	32	28	24	24	23
D ₂	32	40	32	30	24	24	22
E	30	39	42	44	42	42	42
E ₁	31	39	41	43	43	43	40
E ₂	30	39	43	45	42	42	42
F	29	38	40	41	41	41	40
F ₁	29	36	41	42	42	42	41
F ₂	29	36	41	42	40	40	40

Figura 26. Promedios de temperatura durante las siete semanas de investigación

Anexo 5: Promedios de pH

PROMEDIOS DE pH							
SEMANA 1 A SEMANA 7							
LECHOS	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7
A	6,3	8,1	8,0	7,7	7,5	7,3	7,0
A ₁	6,4	8,1	8,0	7,4	7,3	7,3	7,0
A ₂	6,4	8,1	8,0	7,5	7,4	7,3	7,0
B	5,9	8,2	7,9	7,7	7,5	7,4	7,5
B ₁	5,8	8,2	7,8	7,6	7,6	7,5	7,5
B ₂	5,7	8,2	7,9	7,7	7,6	7,5	7,5
C	6,1	8,0	8,0	8,0	7,6	7,4	7,1
C ₁	6,3	8,1	8,1	8,0	7,5	7,3	7,2
C ₂	6,1	8,0	8,0	8,0	7,5	7,3	7,2
D	5,7	8,3	8,2	8,0	7,8	7,7	7,5
D ₁	5,9	8,3	8,1	8,0	7,8	7,8	7,5
D ₂	5,7	8,3	8,2	8,0	7,9	7,8	7,5
E	5,7	6,5	7,4	8,4	8,3	8,1	8,0
E ₁	5,6	6,7	7,4	8,3	8,3	8,3	8,0
E ₂	5,9	6,8	7,5	8,4	8,4	8,2	8,2
F	6,0	6,3	7,6	8,4	8,2	8,1	8,1
F ₁	5,9	6,3	7,6	8,1	8,2	8,1	8,0
F ₂	5,5	6,4	7,6	8,2	8,4	8,2	8,1

Figura 27. Promedios de pH durante las siete semanas de investigación

Anexo 6: Promedios de Humedad

PROMEDIOS DE HUMEDAD SEMANA 2 A SEMANA 7						
LECHOS	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7
A	52	51	51	50	50	50
A ₁	52	51	51	50	50	50
A ₂	53	51	50	50	50	50
B	52	52	52	51	50	49
B ₁	53	52	53	51	50	48
B ₂	53	52	51	51	50	49
C	55	52	52	51	50	50
C ₁	55	53	51	51	51	50
C ₂	55	52	52	51	50	50
D	55	54	52	52	52	52
D ₁	56	54	53	53	52	52
D ₂	55	54	54	54	53	51
E	54	53	52	52	52	52
E ₁	54	53	52	52	51	51
E ₂	53	53	52	51	51	51
F	57	56	54	53	53	53
F ₁	57	56	54	54	53	53
F ₂	58	57	57	54	54	54

Figura 28. Promedios de humedad durante las semanas de investigación

Anexo 7: Promedios de Densidad aparente

PROMEDIOS DE DENSIDAD APARENTE SEMANA 2 A SEMANA 7						
LECHOS	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7
A	0,54	0,56	0,63	0,68	0,63	0,68
A ₁	0,54	0,57	0,63	0,68	0,63	0,68
A ₂	0,53	0,56	0,62	0,68	0,63	0,67
B	0,58	0,62	0,65	0,65	0,62	0,66
B ₁	0,58	0,60	0,65	0,66	0,64	0,66
B ₂	0,57	0,61	0,64	0,66	0,64	0,65
C	0,52	0,57	0,66	0,68	0,63	0,67
C ₁	0,51	0,57	0,65	0,66	0,64	0,66
C ₂	0,52	0,56	0,66	0,68	0,65	0,66
D	0,48	0,56	0,58	0,62	0,60	0,62
D ₁	0,48	0,56	0,56	0,62	0,58	0,63
D ₂	0,47	0,55	0,57	0,62	0,58	0,63
E	0,55	0,57	0,57	0,58	0,59	0,59
E ₁	0,54	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60
E ₂	0,53	0,57	0,58	0,58	0,59	0,60
F	0,47	0,54	0,57	0,58	0,58	0,59
F ₁	0,47	0,53	0,57	0,58	0,58	0,59
F ₂	0,48	0,53	0,56	0,5	0,59	0,59

Figura 29. Promedios de densidad aparente durante las semanas de investigación

Anexo 8: Análisis post hoc – Tukey

Comparaciones múltiples

HSD de Tukey							
Variable dependiente	(I) Aceleradores	(J) Aceleradores	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite superior	Límite inferior
Temp-Sem1	Sin acelerador	EMA's	-9,667(*)	1,322	,000	-13,10	-6,23
		Levadura y gaseosa	-3,333	1,322	,058	-6,77	,10
	EMA's	Sin acelerador	9,667(*)	1,322	,000	6,23	13,10
		Levadura y gaseosa	6,333(*)	1,322	,001	2,90	9,77
	Levadura y gaseosa	Sin acelerador	3,333	1,322	,058	-,10	6,77
		EMA's	-6,333(*)	1,322	,001	-9,77	-2,90
Temp-Sem2	Sin acelerador	EMA's	-13,667(*)	1,813	,000	-18,37	-8,96
		Levadura y gaseosa	-3,667	1,813	,141	-8,37	1,04
	EMA's	Sin acelerador	13,667(*)	1,813	,000	8,96	18,37
		Levadura y gaseosa	10,000(*)	1,813	,000	5,29	14,71
	Levadura y gaseosa	Sin acelerador	3,667	1,813	,141	-1,04	8,37
		EMA's	-10,000(*)	1,813	,000	-14,71	-5,29
Temp-Sem3	Sin acelerador	EMA's	3,333(*)	1,255	,045	,07	6,59
		Levadura y gaseosa	9,833(*)	1,255	,000	6,57	13,09
	EMA's	Sin acelerador	-3,333(*)	1,255	,045	-6,59	-,07
		Levadura y gaseosa	6,500(*)	1,255	,000	3,24	9,76
	Levadura y gaseosa	Sin acelerador	-9,833(*)	1,255	,000	-13,09	-6,57
		EMA's	-6,500(*)	1,255	,000	-9,76	-3,24
Temp-Sem4	Sin acelerador	EMA's	10,333(*)	,985	,000	7,77	12,89
		Levadura y gaseosa	13,500(*)	,985	,000	10,94	16,06
	EMA's	Sin acelerador	-10,333(*)	,985	,000	-12,89	-7,77
		Levadura y gaseosa	3,167(*)	,985	,015	,61	5,73
	Levadura y gaseosa	Sin acelerador	-13,500(*)	,985	,000	-16,06	-10,94
		EMA's	-3,167(*)	,985	,015	-5,73	-,61
Temp-Sem5	Sin acelerador	EMA's	14,833(*)	,791	,000	12,78	16,89
		Levadura y gaseosa	14,833(*)	,791	,000	12,78	16,89
	EMA's	Sin acelerador	-14,833(*)	,791	,000	-16,89	-12,78
		Levadura y gaseosa	,000	,791	1,000	-2,06	2,06
	Levadura y gaseosa	Sin acelerador	-14,833(*)	,791	,000	-16,89	-12,78
		EMA's	,000	,791	1,000	-2,06	2,06
Temp-Sem6	Sin acelerador	EMA's	15,667(*)	,770	,000	13,67	17,67
		Levadura y gaseosa	17,000(*)	,770	,000	15,00	19,00
	EMA's	Sin acelerador	-15,667(*)	,770	,000	-17,67	-13,67
		Levadura y gaseosa	1,333	,770	,226	-,67	3,33
	Levadura y gaseosa	Sin acelerador	-17,000(*)	,770	,000	-19,00	-15,00
		EMA's	-1,333	,770	,226	-3,33	,67
Temp-Sem7	Sin acelerador	EMA's	17,833(*)	,551	,000	16,40	19,26
		Levadura y gaseosa	18,000(*)	,551	,000	16,57	19,43
	EMA's	Sin acelerador	-17,833(*)	,551	,000	-19,26	-16,40
		Levadura y gaseosa	,167	,551	,951	-1,26	1,60
	Levadura y gaseosa	Sin acelerador	-18,000(*)	,551	,000	-19,43	-16,57
		EMA's	-,167	,551	,951	-1,60	1,26

* La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

Figura 30. Análisis post-hoc-Tukey de la variable temperatura en función del tipo de acelerador

Anexo 9: Obtención de solución aceleradora a base de EMA's



Figura 31. Preparación de material para la captura de los EMA's



Figura 32. Entierro de las tarrinas para la captura de los EMA's



Figura 33. Cubierta de las tarrinas con hojarasca para la captura de los EMA's



Figura 34. Resultado de la captura de EMA's



Figura 35. Mezcla para obtener la solución madre



Figura 36. Solución aceleradora lista para ser diluida

Anexo 10: Recolección de residuos orgánicos



Figura 37. Capacitación impartida a la población del sector de Pianguapí



Figura 38. Entrega de fundas para la recolección de los residuos orgánicos

Anexo 11: Armado y control de los lechos de compostaje



Figura 39. Triturado de los residuos orgánicos



Figura 40. Preparación del acelerador a base de levadura más gaseosa



Figura 41. Primera capa del lecho-material leñoso seco



Figura 42. Capa de material orgánico húmedo



Figura 43. Suministración de sustancia aceleradora



Figura 44. Culminación de armado de los lechos de compostaje



Figura 45. Toma de datos de las variables analizadas

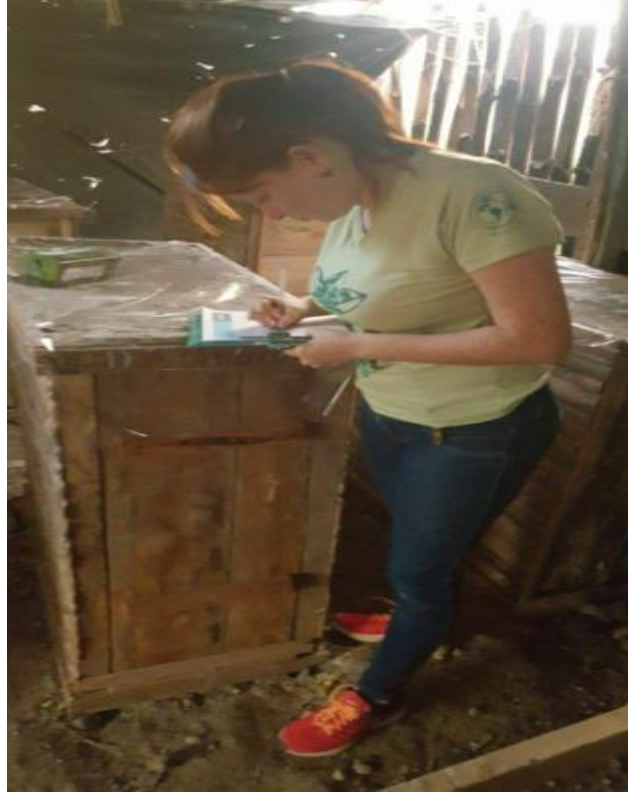


Figura 46. Apunte de datos de las variables respuestas



Figura 47. Volteo de los lechos de compostaje



Figura 48. Volteos



Figura 49. Proceso de compostaje



Figura 50. Toma de muestra para el análisis de laboratorio