

**ELABORACIÓN DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS  
ORGÁNICOS DE CULTIVOS GENERADOS EN DIFERENTES MUNICIPIOS  
DEL DEPARTAMENTO DE CORDOBA (Puerto Escondido, Chinú, Cereté y  
Montería).**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de QUIMICO**

**LEIDYS JOHANA MARTINEZ FUENTES**

**ELIZABETH MARTINEZ SALGADO**

**DIANA MARCELA OSSA HENAO**

**DIRECTOR**

**JOSE LUIS MARRUGO NEGRETE**

**CO DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS**

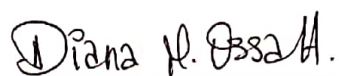
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**MONTERÍA-CÓRDOBA**

**2022**

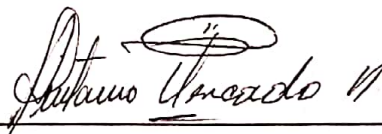
## NOTA DE ACEPTACIÓN

El informe de trabajo de grado en modalidad de investigación titulado: **ELABORACIÓN DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE CULTIVOS GENERADOS EN DIFERENTES MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE CORDOBA (Puerto Escondido, Chinú, Cereté y Montería)** realizado por las estudiantes **LEYDIS JOHANA MARTINEZ FUENTES Y ELIZABETH MARTINEZ SALGADO** cumple con los requisitos exigidos por la facultad de Ciencias Básicas para optar por el título de QUÍMICO y ha sido aprobado



Director de trabajo de grado

**DIANA MARCELA OSSA HENAO, Ph.D**



**JURADO: ANTONIO JOSE MERCADO VERGARA. M.Sc**



**JURADO: YURI JANIO PARDO PLAZA. Ph.D**

## DEDICATORIA

*En primer lugar, a Dios nuestro señor, por permitirme la existencia y fortaleza, así como sabiduría y dedicación en mis estudios.*

*A mis padres Marelys María Fuentes Galvis y Edgar Julio Martínez Cervantes por brindarme el apoyo tanto económico como moral para luchar por mis metas y darme confianza cada día.*

*A mis hermanos Kelly y Reynaldo Martínez ya que ellos confiaron en mi para alcanzar y culminar mis estudios superiores.*

*A mi abuela María Galvis, por todas las noches que me acompañó durante este proceso y por darme confianza y fuerza para seguir luchando.*

*A mi abuelo Reginaldo Fuentes, a mis tías, tíos, primos y demás por también ser parte de este proceso y por tenerme siempre presentes en sus oraciones.*

*A mi pareja Anderson Peñate, porque brindarme su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y por acompañarme durante este proceso.*

*A mis compañeros y amigos Raúl, Jesús, María José, Elena, Marcela, Yaren Vertel (que desde el cielo está) por sus valiosos consejos y su valiosa amistad a lo largo de toda esta experiencia. Infinitas gracias a todos los que de manera directa o indirecta lograron que esto fuera posible.*

*Al laboratorio de aguas y sus integrantes por enseñarme, apoyarme, por sus consejos por tenerme en cuenta y por su amistad.*

*A mi compañera de tesis Elizabeth Martínez por todo el trabajo y la disposición puesta en este proyecto.*

*Leidys Martínez Fuentes.*

## DEDICATORIA

*A Dios primeramente por permitirme estudiar esta carrera y culminarla. A él toda la gloria y toda la gratitud.*

*A mis padres, Sabina Salgado Cordero y Elkin Martínez Vega por ser mi motor, mi columna, por su inmenso amor y a apoyo, por ustedes, este sueño es posible.*

*A mis hermanos, Eleana Martínez Salgado y Elkin Martínez Salgado por su amor y apoyo durante este proceso*

*A mis dos angelitos que desde el cielo me están acompañando y tengo la certeza de su orgullo hacia mí, mis abuelos Gabino Martínez e Isabel Cordero.*

*A mi familia, mi abuela Elodia Vega, mi abuelo Nicanor Salgado, mi tía Cristina Salgado y su esposo Pedro Lozano, mi tío Rander Ruiz y su esposa Beatriz Montes, mi tía Nordith Ruiz, mis hermosos primos Ana Catalina Ruiz, Elena Sofía Ruiz, María Alejandra Salgado, Juliana Lozano, Isaac David Campuzano, Johandriz Campuzano y todos lo que hacen parte de mi hermosa familia, gracias por todas sus oraciones.*

*A mis amigos, Surisaday Heras, Dariana Gomez, Alejandro Tuiran, Daniela Paternina, Anairis Tuiran, Emil Domingez, Tania Arrieta, Carlos Benitez, Ivan Arcón, Cristian Camargo, Yaren Vertel (que desde el cielo está), Fabián Callejas, Andres de la Ossa, y todos los que de una u otra forma me apoyaron en este proceso.*

*A mi compañera de tesis Leydis Martínez por todo el trabajo y el amor puesto en este proyecto.*

*A mis pastores Enoc Palacio y Delcy de la Ossa por todas sus oraciones.*

*A la Familia Guevara Coronado y la Familia Bracamonte Higueta por su amor, atención y apoyo para conmigo.*

***Porque de Él, por El y para El son todas las cosas. A El sea la gloria para siempre. Amén.  
Romanos 11:36***

*Elizabeth Martínez Salgado*

## **AGRADECIMIENTOS**

*En primera instancia agradecemos a nuestra ALMA MATER por brindarnos la oportunidad de desarrollar una carrera universitaria y estar mejor preparados para nuestras vidas.*

*A la profesora Diana Ossa, por su esfuerzo, apoyo incondicional, por sus consejos y por ayudarnos a cada día mejorar.*

*Al laboratorio de toxicología por su gran apoyo, por acogernos y por brindarnos la posibilidad de realizar el tratamiento de nuestras muestras en sus locaciones.*

*Al laboratorio de Toxicología por acogernos y brindarnos el espacio, haciendo posible que esta tesis culminara con éxito*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN</b>	<b>12</b>
<b>2. INTRODUCCION</b>	<b>13</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
3.1. Objetivo general	14
3.2. Objetivos específicos	14
<b>4. MARCO LEGAL</b>	<b>15</b>
4.1. NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5167	15
4.1.1. Requisitos generales	15
4.2. PARAMETROS FISICOQUIMICOS	15
4.2.1. pH	15
4.2.2. Conductividad eléctrica	15
4.2.3. Humedad	15
4.2.4. Densidad real (en base seca)	15
4.2.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	15
4.3. PERDIDA POR VOLATILIZACION	15
4.4. CONTENIDO DE CENIZAS	16
4.5. ELEMENTOS QUIMICOS	16
4.5.1. Macronutrientes (NPK)	16
4.5.2. Metales pesados	16
<b>5. MARCO TEORICO</b>	<b>16</b>
<b>5.1. COMPOSTAJE</b>	<b>16</b>
<b>5.2. PROPIEDADES DEL COMPOST</b>	<b>17</b>
<b>5.3. FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN LAS CONDICIONES     ÓPTIMAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE</b>	<b>18</b>
5.3.1. Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)	18
5.3.2. Aireación	18
5.3.3. Sustrato	18
5.3.4. Humedad	19
<b>5.4. FASES DEL COMPOSTAJE</b>	<b>19</b>
5.4.1. Fase mesófila	19
5.4.2. Fase termófila o de higienización	19
5.4.3. Fase de enfriamiento o mesófila II	20
5.4.4. Fase de maduración	20
<b>5.5. TIPOS DE COMPOST</b>	<b>21</b>
5.5.1. El compost común	21

5.5.2. Compost común en cajas o compostadores	22
5.5.3. Compost en pila	22
5.5.4. Compost en silo	22
5.5.5. Compost en superficie	22
<b>5.6. LIXIVIADOS DE COMPOST Y POSTERIOR TRATAMIENTO</b>	<b>23</b>
<b>5.7. SISTEMA DE VOLTEO</b>	<b>24</b>
5.7.1. Frecuencia del volteo	24
5.7.2. Factores que afectan la frecuencia del volteo	24
<b>5.8. TRATAMIENTO BIOLÓGICO</b>	<b>25</b>
5.8.1. Tratamiento aerobio	25
5.8.2. Microorganismos	25
<b>5.9. CONDICIONANTES PARA DISEÑAR LA COMPOSTERA</b>	<b>25</b>
5.9.1. Aislamiento para la lluvia y el sol directo	26
5.9.2. Drenaje de lixiviados	26
5.9.3. Aireación	26
<b>5.10. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS</b>	<b>26</b>
5.10.1. Humedad	26
5.10.2. Temperatura.	26
5.10.3. Conductividad eléctrica (CE)	27
5.10.4. pH	27
5.10.5. Potencial de óxido reducción (POR)	27
5.10.6. Materia Orgánica (MO)	27
5.10.7. Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	28
5.10.8. Tamaño de partícula	29
5.10.9. Nitrógeno	29
5.10.10. Luminosidad	29
<b>5.11. ELEMENTOS QUÍMICOS</b>	<b>30</b>
<b>5.12. APLICACIÓN DE COMPOST EN LA AGRICULTURA</b>	<b>30</b>
<b>5.13. PLATANO</b>	<b>31</b>
<b>5.14. COCO</b>	<b>32</b>
<b>5.15. MARAÑÓN</b>	<b>33</b>
<b>5.16. ARROZ</b>	<b>33</b>
<b>5.17. EL COMPOST PARA RECUPERAR SUELOS</b>	<b>34</b>
<b>6. METODOLOGIA</b>	<b>35</b>
<b>6.1. ADECUACION DE LAS COMPOSTERAS</b>	<b>35</b>
<b>6.2. OBTENCION DEL MATERIAL</b>	<b>35</b>
6.2.1. Cultivo de coco	35
6.2.2. Cultivo de marañón	36

6.2.3. Cultivo de plátano _____	37
6.2.4. Cultivo de arroz _____	38
6.2.5. Materia orgánica (Estiércol de bovino) _____	38
6.2.6. Residuos de cocina _____	39
<b>6.3. MONTAJE DE COMPOSTAJE _____</b>	<b>40</b>
<b>6.4. TRATAMIENTOS _____</b>	<b>40</b>
6.4.1. Tratamiento de plátano. (P1 y P2) _____	40
6.4.2. Tratamiento de marañón (M1 y M2) _____	41
6.4.3. Tratamiento de coco (C1 y C2) _____	42
6.4.4. Tratamiento control _____	44
<b>6.5. VOLTEO _____</b>	<b>45</b>
<b>6.6. CONTROL DE HUMEDAD _____</b>	<b>45</b>
<b>6.7. TOMA DE MUESTRAS _____</b>	<b>46</b>
<b>6.8. TOMA DE TEMPERATURA _____</b>	<b>46</b>
<b>6.9. MONITOREO Y MEDICIÓN DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS _____</b>	<b>47</b>
<b>6.10. METODO DE CUARTEO _____</b>	<b>48</b>
<b>6.11. REDUCCION DE BIOMASA EN EL COMPOSTAJE _____</b>	<b>49</b>
<b>6.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO _____</b>	<b>49</b>
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSION _____</b>	<b>50</b>
<b>7.1. PROCESO DE COMPOSTAJE _____</b>	<b>50</b>
7.1.1. Tratamientos de plátano _____	50
7.1.2. Tratamientos de marañón _____	51
7.1.3. Tratamientos de coco _____	52
7.1.4. Tratamiento control _____	52
<b>7.2. COMPORTAMIENTO DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE _____</b>	<b>53</b>
7.2.1. Comportamiento general de los parámetros fisicoquímicos _____	53
7.2.2. Tratamientos de plátano _____	56
7.2.3. Tratamientos de marañón _____	59
7.2.4. Tratamientos de coco _____	61
7.2.5. Tratamiento control _____	64
<b>7.3. PERDIDA DE BIOMASA EN EL COMPOSTAJE _____</b>	<b>66</b>
<b>7.4. CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DEL COMPOST _____</b>	<b>67</b>
<b>7.5. ANALISIS ESTADISTICO _____</b>	<b>77</b>
7.5.1. Análisis de los parámetros fisicoquímicos _____	77
7.5.2. pH _____	78
7.5.3. Temperatura _____	79



7.5.4. Potencial de Oxido-Reducción (POR)	81
7.5.5. Conductividad eléctrica (CE)	82
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>84</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>85</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

**Figura 1.** Hongo indicador de la fase mesófila II.

**Figura 2.** Variaciones de: Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje.

**Figura 3.** Pila de compost tapada para evitar la bajada de temperatura y el exceso de lluvia.

**Figura 4.** Silo de compostaje.

**Figura 5.** Diagrama esquemático de la mineralización del compost después de la aplicación al suelo

**Figura 6.** Adecuación de las composteras dentro de la Universidad de Córdoba.

**Figura 7.** Cultivo de Coco y recolección de residuos.

**Figura 8.** Empresa ASOPROMARSAB.

**Figura 9.** Recolección residuos de marañón.

**Figura 10.** Cultivo de plátano y recolección de residuos.

**Figura 11.** Empresa Frigosinú.

**Figura 12.** Cafeterías Universidad de Córdoba.

**Figura 13.** Montaje tratamiento del plátano.

**Figura 14.** Montaje tratamiento de marañón.

**Figura 15.** Montaje tratamiento de coco.

**Figura 16.** Montaje tratamiento control.

**Figura 17.** Volteo de compost.

**Figura 18.** Control de humedad para los tratamientos de plátano (P1 y P2) y Control.

**Figura 19.** Muestras de compost.

**Figura 20.** Toma de temperatura.

**Figura 21.** Medición de parámetros fisicoquímicos.

**Figura 22.** Toma de muestras de compost.

**Figura 23.** Cuarteo del compost.

**Figura 24.** Muestras.

**Figura 25.** Proceso de maduración del compost de plátano.

**Figura 26.** Proceso de maduración del compost de marañón.

- Figura 27.** Proceso de maduración del compost de coco.
- Figura 28.** Proceso de maduración del tratamiento control.
- Figura 29.** Comportamiento general de parámetros fisicoquímicos.
- Figura 30.** Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en los tratamientos del plátano.
- Figura 31.** Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en los tratamientos de marañón.
- Figura 32.** Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en los tratamientos de coco.
- Figura 33.** Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el tratamiento control.
- Figura 34.** Histograma de la relación carbono/ nitrógeno de las muestras.
- Figura 35.** Histograma de los nutrientes y algunos minerales de las muestras.
- Figura 36.** Histograma de algunos metales de las muestras.
- Figura 37.** Histograma de algunos parámetros fisicoquímicos.
- Figura 38.** Histograma de la densidad de cada muestra.
- Figura 39.** Histograma de los parámetros fisicoquímicos las muestras de lixiviado P1 y P2
- Figura 40.** Histograma de solidos insolubles y potasio soluble.
- Figura 41.** Histograma de micronutrientes presentes en los lixiviados.
- Figura 42.** Gráfico caja y bigotes correspondientes al pH.
- Figura 43.** Gráfico de caja y bigotes correspondiente a temperatura
- Figura 44.** Gráfico de caja y bigotes para POR
- Figura 45.** Gráfico de caja y bigotes para CE

## **LISTA DE TABLAS**

**Tabla 1.** Porcentaje de materiales utilizado para P1 y P2.

**Tabla 2.** Porcentaje de materiales utilizado para M1 y M2.

**Tabla 3.** Porcentaje de materiales utilizado para C1 y C2.

**Tabla 4.** Porcentaje de materiales utilizado para Control.

**Tabla 5.** Pérdida de biomasa durante el proceso de compostaje.

**Tabla 6.** Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos.

**Tabla 7.** Caracterización y composición de materiales orgánicos líquidos.

**Tabla 8.** Matriz experimental de los tratamientos de compost.

**Tabla 9.** ANOVA para pH.

**Tabla 10.** Pruebas de comparación de muestras para pH.

**Tabla 11.** ANOVA para temperatura.

**Tabla 12.** Pruebas de comparación de muestras para temperatura.

**Tabla 13.** ANOVA para POR.

**Tabla 14.** Pruebas de comparación de muestras para POR.

**Tabla 15.** ANOVA para conductividad eléctrica (CE)

**Tabla 16.** Pruebas de comparación de muestras para POR

## 1. RESUMEN

El compostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica para obtener compost, un abono natural. En el presente proyecto de investigación se elaboraron 7 montajes de compostaje a partir de diferentes residuos sólidos orgánicos de cultivos generados en el departamento de Córdoba, cuya finalidad es de estudiar los parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del compost. Los montajes fueron elaborados a partir de tres cultivos (Plátano, Marañón y Coco) cada uno con su respectiva replica y un tratamiento control. Las variables monitoreadas fueron: potencial de hidrógeno (pH), potencial de óxido reducción (POR), conductividad eléctrica (CE) y temperatura; adicional se midieron los parámetros ambientales tales como luminosidad (Lux), temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ), porcentaje de humedad relativa (%HR) y velocidad del viento ( $V_{Km/h}$ ) del lugar. Se elaboró un respectivo control de humedad y actividad microbiana para favorecer la temperatura de los tratamientos y la reducción de la biomasa. Como resultado del proceso, todos los tratamientos presentaron características organolépticas similares tales como olor (tierra y vegetación) y color (variando de marrón a oscuro), sin embargo, no todos presentaron textura similar al suelo. Las etapas mesófilas y de enfriamiento se registraron en los tratamientos, pero las etapas termófilas y de maduración se presentaron de forma variable en los compostajes. En el transcurso del proceso, los parámetros fisicoquímicos reflejaron las fases de actividad microbiana, siendo que los pH medidos fueron desde ácidos (pH 6,0), neutros y básicos (pH 9,8), la conductividad fue variable presentando valores bajos y altos, y el POR también fue variable en todos los tratamientos, presentando valores negativos hasta positivos. Para establecer si los compost generados cumplían con la norma NTC-5167, se realizó una caracterización en laboratorio externo a los tratamientos de P2, M1, C1 y Control. Los resultados muestran que en general, todos los tratamientos cumplen con parámetros importantes como: la relación C/N, pH (a excepción del compost cultivo plátano), la densidad, y la capacidad de intercambio catiónico. En cuanto a la humedad, se pudo observar que todos contenían porcentaje de humedad altos (57 a 70) % superando los valores de la norma, sin embargo, se considera la humedad como un parámetro fácil de corregir, lo cual se logra con la exposición directa del material a radiación solar. Según la NTC-5167, el contenido de macronutrientes N, P, K, se debe declarar cuando supera el 1%. El contenido de Nitrógeno y Fosforo (estuvieron por debajo del valor estipulado en la norma siendo el rango de porcentajes para el Nitrógeno entre 0.68 hasta 0.77% y Fosforo entre 0.15 hasta 0.37 % respectivamente. Entre tanto, el Potasio estuvo por encima del 1 %, exceptuando el tratamiento de marañón el cual presentó el porcentaje inferior al valor declarado (0,73 %) en la NTC-5167. Por otro lado, el contenido de micronutrientes importantes para las plantas y salud del suelo, se destacan los que presentaron mayor concentración tales como el Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, Boro y Silicio. El análisis estadístico ANOVA mostró diferencias significativas entre tratamientos, pero no entre sus réplicas. Dichas diferencias se presentaron en algunos parámetros fisicoquímicos.

**Palabras Claves:** Compostaje, abono, residuos sólidos orgánicos, tratamientos.

## 2. INTRODUCCION

El cuidado y la preservación del medio ambiente se han acentuado en los últimos años, debido a la generación y acumulación de residuos agrícolas que tienen un impacto negativo, ya que afectan en general todas las actividades, personas y espacios, lo cual se convierte en un problema para la sociedad, por lo que no existen lugares idóneos que permitan la disposición correcta de los mismos sin ningún tratamiento (Halo Velastegui *et al.*, 2017). El departamento de Córdoba se caracteriza porque una de sus principales actividades económicas es la agricultura, estructura económica marcada por su topografía, compuesta por ríos, caños, quebradas, arroyos y ciénagas (Castillo Guerra & Castillo Nuñez, 2014). Por orden de producción los productos que se cosechan a gran escala en el departamento y sobre los cuales se poseen estadísticas más ciertas y continuas, se cuentan el algodón, el maíz, el arroz, el ñame, la yuca, y el plátano, seguido de otros productos importantes como el coco, piña, maracuyá, marañón, batata, berenjena, ahuyama, entre otros productos (Lopez Villalba & Durango Quintero, 2018). La generación de los residuos sólidos (RS) se considera como una problemática que ha ocasionado impactos ambientales negativos, y que cada vez va en aumento, asociada al incremento de la población humana, a los procesos de transformación industrial (globalización), y a los hábitos de consumo de los individuos (Melo Henriquez, 2019).

Entre tanto, no solamente el departamento de Córdoba se caracteriza por la agricultura, también se caracteriza por la ganadería, siendo uno de los departamentos con mayores envíos de carne al resto del mundo. Dentro de su oferta exportadora, el segundo producto es la carne bovina, tanto congelada como refrigerada. Es uno de los productores y exportadores de carne bovina más importantes a nivel nacional e internacional. Esta actividad sigue creciendo significativamente en el departamento, lo cual contribuye directamente con el crecimiento y desarrollo económico de la región. Los terrenos del departamento de Córdoba son productivos y aptos para el desarrollo de la ganadería. Su suelo ha sido propicio para la producción de reses, ya que contiene diferentes minerales y nutrientes los cuales son fundamental en el complejo proceso de producción ganadera (Fedegan, 2018). Al frente de todas estas ventajas de la ganadería, también tenemos desventajas, ya que estos animales, al igual que los humanos, también eliminan sus desechos (estiércol) sin tener en cuenta que este aporta nutrientes al suelo, tales como, Nitrógeno, Potasio y Fosforo (NPK) y por ende favorecen los cultivos por lo que la falta de esta materia orgánica (MO) estaría limitando la nutrición del suelo, esto debido a que los agricultores queman este material. Por lo que es fundamental la enseñanza de reciclar todo tipo de residuo orgánico (Aranda Castillo *et al.*, 2018).

Sobre la contaminación por residuos sólidos (RS), Córdoba maneja residuos de origen doméstico, industrial y comercial (residuos que son resultado de la utilización de los cultivos anteriormente mencionados), de manera conjunta y sin una adecuada gestión, representando un grave problema ya que la inexistencia de soluciones adecuadas y eficientes para el tratamiento y la disposición final, así como el manejo inadecuado de dichos residuos, potencian el incremento de los riesgos y la posible contaminación relacionada con los mismos, evidenciando así la falta de conciencia ambiental en gran medida a la presencia de

dos factores; primero, la falta de una educación ambiental de forma constante para ir cultivando un ambiente sano y segundo, las restricciones que desmotivan e impiden poner en práctica o formar efectivamente una conducta orientada a la buena gestión de los residuos sólidos (RS) especialmente en el ámbito doméstico (Melo Henriquez, 2019).

Por lo anterior mencionado se hace necesario desarrollar un sistema que proporcione la gestión integral de los residuos sólidos (RS) producidos por los cultivos mencionados, los cuales están presentes en el ámbito industrial, comercial y doméstico, así como también la gestión integral de las materias o residuos orgánicos. Para lograr una agricultura sostenible es fundamental cumplir con los principios de la economía circular mediante la reducción, el reciclaje y la reutilización de residuos, subproductos y coproductos agrícolas (Lobo & Dorta, 2019). Actualmente es bien conocido el compostaje o usos de abonos orgánicos. El compostaje es un proceso de degradación de residuos orgánicos realizado de forma controlada y natural visto como una de las principales alternativas para el aprovechamiento y reducción de residuos a través del proceso de transformación en compost orgánico, teniendo un fuerte impacto social y económico, porque puede garantizar un tratamiento doméstico eficiente de los residuos orgánicos a través de un bajo costo, lo que lo convierte en un proceso sencillo que puede ser realizado por la población en sus hogares y que garantiza la preservación del medio ambiente (Barbosa et al., 2019; Marchi & Gonçalves, 2020). Durante el proceso de compostaje aeróbico, los residuos orgánicos (RO) son utilizados por los microorganismos como fuente de alimento, lo que provoca que los componentes se transformen en un compuesto de color oscuro y uniforme al final del proceso, además de la liberación de CO<sub>2</sub> y agua (Silva Vasconcelos *et al.*, 2021).

Por lo tanto, este proyecto de investigación fue realizado con el fin de elaborar compost, aprovechando los diferentes residuos sólidos correspondientes a los cultivos de plátano, coco y marañón disponibles en el departamento, evaluando los principales parámetros fisicoquímicos que intervienen en el proceso.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Elaborar diferentes tipos de compost utilizando residuos generados por cultivos en el departamento de Córdoba teniendo en cuenta la norma NTC-5167, con el fin de estudiar los principales parámetros fisicoquímicos que determinan un buen compost.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Realizar diferentes tipos de compost, aprovechando los residuos generados de los cultivos de coco, plátano y marañón, del departamento de Córdoba, con el fin de valorar cual mezcla genera el mejor compost teniendo en cuenta sus características fisicoquímicas y el cumplimiento de la norma NTC-5167.
- Analizar los principales parámetros fisicoquímicos, tales como, humedad, pH, temperatura, relación C/N, para conocer la influencia que tienen éstos en el proceso de compostaje.

- Evaluar la composición de los lixiviados generados en el proceso de compostaje con el fin de establecer su utilidad.

## **4. MARCO LEGAL**

### **4.1. NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5167**

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir, los ensayos y parámetros fisicoquímicos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo (ICONTEC, 2022).

#### **4.1.1. Requisitos generales**

En la norma NTC -5167 se exponen varios requisitos fundamentales, sin embargo, para el proceso de compostaje los requisitos sobresalientes para esta técnica son:

- Forma de presentación de los productos (deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregados o en forma líquida como suspensiones o dispersiones)
- Todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación.
- Esclarecer el origen (clase y procedencia) de producto (compost) y los procesos de transformación empleados (ICONTEC, 2022).

### **4.2. PARAMETROS FISICOQUIMICOS**

Los parámetros fisicoquímicos evaluados en el compost según la NTC-5167 se presentan a continuación

#### **4.2.1. pH**

Se expresa en unidades de pH, cuyo valor mínimo es de 4 y valor de 9 unidades (ICONTEC, 2022).

#### **4.2.2. Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es la lectura obtenida en el conductímetro con la respectiva corrección por temperatura y se expresa en dS/m (ICONTEC, 2004).

#### **4.2.3. Humedad**

Este valor es expresado en porcentaje (%). Para mezclas de materiales de origen animal y vegetal, es de máximo 25%. Para la retención de humedad, es de mínimo 100 % (ICONTEC, 2022).

#### **4.2.4. Densidad real (en base seca)**

Este valor se expresa en g/mL, el cual es de 0.6 g/mL (ICONTEC, 2022).

#### **4.2.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

Se expresa en  $\text{cmol.kg}^{-1}$ , el valor mínimo es de 30  $\text{cmol.}^+\text{kg}^{-1}$  (ICONTEC, 2022).

### **4.3. PERDIDA POR VOLATILIZACION**

El reporte del valor obtenido debe ser expresado en porcentaje (%) (ICONTEC, 2022).



#### 4.4. CONTENIDO DE CENIZAS

El reporte del valor obtenido debe ser expresado en porcentaje (%). El valor máximo debe ser del 60 % (ICONTEC, 2022).

#### 4.5. ELEMENTOS QUIMICOS

##### 4.5.1. Macronutrientes (NPK)

- **Nitrógeno total (N):** Se expresa en porcentaje (%) cuyo valor mínimo es del 1 %. (ICONTEC, 2022).
- **Fosforo total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):** Se expresa en porcentaje (%) cuyo valor mínimo es del 1 %. (ICONTEC, 2022).
- **Potasio total (K<sub>2</sub>O):** Se expresa en porcentaje (%) cuyo valor mínimo es del 1 %. (ICONTEC, 2022).

##### 4.5.2. Metales pesados

Los valores se expresan en mg/kg. Los metales evaluados según la norma NTC- 5167 (ICONTEC, 2022) son:

- **Arsénico total (As):** Máximo 41 mg/kg. (ICONTEC, 2022)
- **Cadmio total (Cd):** Máximo 39 mg/kg. (ICONTEC, 2022)
- **Cromo total (Cr):** Máximo 1200 mg/kg. (ICONTEC, 2022)
- **Mercurio total (Hg):** Máximo 17 mg/kg. (ICONTEC, 2022)
- **Plomo total (Pb):** Máximo 20 mg/kg. (ICONTEC, 2022)

### 5. MARCO TEORICO

#### 5.1. COMPOSTAJE

El compostaje, es una técnica practicada desde hace mucho tiempo por los agricultores, como una manera de estabilizar estiércol y otros residuos orgánicos con la finalidad de utilizarlos como abonos; es un proceso aeróbico de transformación de los residuos orgánicos que implica el paso por una etapa termófila y origina al final dióxido de carbono, agua y minerales como productos de los procesos de degradación, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en la agricultura. La utilización del compostaje contribuye a mejorar las propiedades físicas (agregación, porosidad, retención de humedad), químicas (pH, materia orgánica, nutrientes) y biológicas (microorganismo, fauna) del suelo (García *et al.*, 2018).

El compostaje abarca el proceso natural de reciclaje de materia orgánica, como hojas, restos urbanos (todos aquellos residuos orgánicos procedentes de las cocinas, que pueden ser, restos de fruta y hortalizas, restos de animales de mataderos), residuos de cosechas, abonos verdes (como colectas de césped y malezas), podas de cualquier cultivo, estiércol animal, complementos minerales (enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas), convirtiéndose en un fertilizante valioso que puede enriquecer el suelo y las plantas. Es un proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos, actúan sobre la materia rápidamente biodegradable, permitiendo obtener "compost", un material adecuado para la agricultura sostenible. Permite, además, transformar residuos y subproductos orgánicos en materiales

biológicamente estables que pueden utilizarse como enmiendas y/o abonos del suelo y como sustratos para cultivo sin suelo, disminuyendo el impacto ambiental de los desechos. Este método se define también, como un proceso bio oxidativo controlado, que se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, debido a la actividad secuencial de una gran diversidad de microorganismos (Sarmiento, 2018). Implica el desarrollo de una fase termofílica corta, siendo productos de la biodegradación el dióxido de carbono, el agua, minerales y una materia orgánica estabilizada denominada compost, con características húmicas y libre de compuestos fitotóxicos y agentes patógenos (Lopez Bravo *et al.*, 2017). Todo lo que crece se descompone eventualmente; el compostaje simplemente acelera el proceso al proporcionar un entorno ideal para que las bacterias, los hongos y otros organismos (como gusanos, cochinillas y nematodos) hagan su trabajo. La materia descompuesta resultante, que a menudo acaba pareciendo suelo fértil de jardín, se llama abono (Hu, 2020).

En el compostaje adicionalmente se generan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2^-$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . El producto del proceso se denomina compost y se caracteriza por tener materia orgánica homogenizada, que es compatible con el crecimiento de plantas y humus. Presenta propiedades fisicoquímicas que determinan sus características y usos, entre las que se encuentran el carbono orgánico total (COT), capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total y nitrógeno inorgánico, pH, conductividad eléctrica (CE), macro y micronutrientes, densidad aparente, humedad, capacidad de retención de agua (CRA) y tamaño de partícula (Oviedo-Ocaña *et al.*, 2017). El proceso de compostaje imita la transformación de la materia orgánica en la naturaleza, y permite homogenizar los materiales, reducir su masa y el volumen e higienizarlos. Este tratamiento favorece el retorno de la materia orgánica al suelo y su reinscripción en los ciclos naturales (ASOBIOCOM, 2019).

## 5.2. PROPIEDADES DEL COMPOST

- Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.
- Mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.
- Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.
- Aumenta la población microbiana que es un indicador de la fertilidad del suelo.
- Aumenta la retención de carbono en el suelo, por tanto, incrementa el potencial del suelo como sumidero de carbono. La incorporación continuada de materia orgánica en el suelo comporta que el nivel de carbono orgánico se estabilice en niveles superiores con relación al existente al inicio de las aplicaciones.
- Disminuye la erosión y degradación del suelo, contribuyendo a evitar o revertir los procesos de desertificación (ASOBIOCOM, 2019; Lopez Bravo *et al.*, 2017).

### **5.3. FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE**

#### **5.3.1. Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)**

Esta relación es importante porque indica la efectividad del proceso de descomposición, además, cada sustrato a utilizar en la mezcla para compostaje aporta un contenido de carbono y nitrógeno. Por tal razón, es indispensable tener una relación adecuada para evitar problemas, teniendo en cuenta que los sustratos secos proveen más carbono y los frescos proveen nitrógeno. La relación adecuada es aproximadamente de 25 a 30:1 y cuando el compost es maduro, la relación disminuye 2/3 de la inicial. El carbono es necesario para que los microorganismos se multipliquen, una parte de éste se utiliza en la obtención de energía metabólica dando como resultado la emisión de CO<sub>2</sub>. La parte restante la incorporan en su propia estructura celular junto al nitrógeno. Así, es importante tanto la cantidad de carbono y su relación con el nitrógeno como su naturaleza química, ya que en función de esto habrá más o menos crecimiento y actividad metabólica (en forma de calor) (Tortosa, 2018). Cuanto menor sea la relación C/N, mayor será la pérdida de nitrógeno del proceso de compostaje. Por otro lado, cuanto mayor sea la relación C/N, más lenta será la tasa de descomposición y el nitrógeno también se inmovilizará durante el proceso de compostaje (Palaniveloo *et al.*, 2020). La relación C/N se puede regular seleccionando la combinación más adecuada de materiales de compostaje y agentes de carga agregados para asegurar una relación final dentro del rango óptimo (Akratos *et al.*, 2017).

#### **5.3.2. Aireación**

La cantidad de oxígeno en el compostaje es indispensable para mantener una actividad metabólica adecuada, ya que la falta de oxígeno puede convertir el proceso anaerobio y genera malos olores. Al inicio del proceso de compostaje, el oxígeno oscila entre 15-20% y el dióxido de carbono entre 0.5- 5% y, a medida que avanza el proceso, el oxígeno disminuye y el dióxido de carbono aumenta, si el contenido de oxígeno es menor a 5% se generan condiciones anaerobias y si es mayor a 10%, las condiciones son adecuadas (Carmona, 2017). Un nivel de aireación excesivo da como resultado una caída de temperatura y pérdida de humedad por el proceso de evaporación y el bajo nivel de humedad dificulta el proceso de descomposición. El exceso de aireación también provoca la deshidratación de las células de los microorganismos, lo que dificulta aún más la degradación. (Meena *et al.*, 2021).

#### **5.3.3. Sustrato**

Es importante elegir bien los residuos orgánicos que tengan estructuras químicas simples para una fácil asimilación por las bacterias y, también, para un proceso de descomposición corto. La mezcla de compostaje no debe tener residuos como plástico, vidrio y metal, ya que no son asimilables para los microorganismos degradadores de este proceso. Una de las mayores ventajas del compost como sustrato de propagación para las plantas, radica en la oportunidad ambiental y económica de reciclar residuos que a la larga causan graves problemas de contaminación como los residuos de cosecha, de la agroindustria, actividades forestales o ganaderas y residuos sólidos urbanos (Carmona, 2017). Además, en los estudios referentes a compostaje, existe la necesidad de cuantificar los efectos tóxicos de cualquier metal en el sustrato (Lorente *et al.*, 2021).

### **5.3.4. Humedad**

La humedad afecta la actividad microbiana, así como la estructura física en el proceso de compostaje. Debido a que es relativamente fácil de medir, el contenido de humedad a menudo sirve como un sustituto de otros parámetros importantes. Cuando el compost tiene un alto contenido de humedad es afectada la agregación de partículas, la porosidad de la matriz y la permeabilidad de los gases en la misma. Todos estos factores limitan el transporte de oxígeno a la zona donde se produce la descomposición (Estrada Bonilla & Peña, 2017).

## **5.4. FASES DEL COMPOSTAJE**

Las fases del compostaje basadas en la temperatura están teorizadas y descritas a partir de sistemas en pilas expuestas al ambiente, llamados sistemas abiertos, y no se ajustan a otros sistemas que se realizan en recipientes cerrados. Se han identificado las tres fases principales del compostaje en función de las variaciones de temperatura (fase mesófila, fase termófila y fase de enfriamiento) además de una fase de maduración (Meena *et al.*, 2021). La duración de cada etapa depende de la composición inicial del material orgánico, contenido de humedad, cantidad y composición de la comunidad microbiana (Palaniveloo *et al.*, 2020).

### **5.4.1. Fase mesófila**

Al inicio del proceso la temperatura se encuentra en valores medioambientales. Debido a la actividad microbiana, posteriormente la temperatura aumenta considerablemente hasta alcanzar en pocos días 40 °C-45 °C debido al metabolismo de poblaciones microbianas mesófilas (por encima de estas temperaturas mueren o se inactivan) (Bohórquez, 2019). La actividad metabólica de varios grupos heterogéneos de microorganismos da como resultado un aumento de la temperatura, ya que estos microbios utilizan el N y C de la materia orgánica como principales nutrientes. El metabolismo de compuestos solubles, como aldosas (glucosa) y cetosas (fructosa), produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede descender hasta aproximadamente 4,0 o 4,5 por lo que estas temperaturas tienen una duración entre dos a ocho días en esta etapa (Choudhary *et al.*, 2021). De este modo, el compost pasará por la segunda fase del proceso conocida como etapa termófila (Rastogi *et al.*, 2020).

### **5.4.2. Fase termófila o de higienización**

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45 °C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias termófilas, que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de carbono, como la celulosa y la lignina (Román *et al.*, 2013). Las temperaturas pueden alcanzar hasta los 70 °C en sistemas abiertos, debido al aumento de la actividad microbiana. A partir de los 60 °C, los hongos termófilos detienen su actividad y las reacciones de oxidación se llevan a cabo por bacterias formadoras de esporas y por actinomicetos (Bohórquez, 2019). Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55 °C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado (Román *et al.*, 2013). Hacia el final de la etapa termófila, a medida que la fuente de carbono se agota en el compost general, la temperatura disminuye

gradualmente a medida que se prepara para entrar en la etapa de enfriamiento (Palaniveloo *et al.*, 2020).

#### 5.4.3. Fase de enfriamiento o mesófila II

La tasa de descomposición y la temperatura disminuye a valores cercanos al ambiente. Posteriormente, se produce una colonización por microorganismos mesófilos (Bohórquez, 2019). Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45 °C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista (Figura 1). Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino (Román *et al.*, 2013). Las temperaturas bajan debido al agotamiento de los sustratos. En este momento los microorganismos consumen los compuestos recalcitrantes restantes del medio, como la lignina y la celulosa (presente en tallos, raíces y cáscaras), acabando la estabilización del material (Figura 2). A medida que estas poblaciones consumen la materia degradable restante, sus poblaciones van decayendo, generando una caída de las temperaturas gradual en el medio (Fernandez, 2019; Palaniveloo *et al.*, 2020). Esta fase de enfriamiento requiere varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración (Choudhary *et al.*, 2021; Meena *et al.*, 2021).



**Figura 1.** Hongo indicador de la fase mesófila II. Indicador biológico de la presencia de otros microorganismos. Requiere de varias semanas. Fuente:(Restrepo et al., 2017) Valor agregado: Residuos orgánicos. Tomado de: <https://unisarcapp.com/contenido/valor-agregado-residuos-organicos/186>

#### 5.4.4. Fase de maduración

Se caracteriza por una temperatura que puede ser por debajo de los 25 °C. Debido al agotamiento de los sustratos, la actividad microbiana de los termófilos cesa y los mesófilos vuelven a recolonizar la materia orgánica restante, ya que por medio de las esporas estos sobreviven a altas temperaturas y germinan cuando la temperatura baja o por inoculación externa desde el medio ambiente o el borde de la pila de compost (Palaniveloo *et al.*, 2020). Los materiales se siguen descomponiendo lentamente hasta que los últimos compuestos son

consumidos. Es en este punto cuando el compost se convierte en un material más estable y fácilmente manejable (Fernandez, 2019). Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Figura 3). Los organismos que actúan en esta fase son principalmente invertebrados como cochinillas, lombrices, babosas, milpiés, escarabajos, gusanos, ciempiés, hormigas entre otros que se encargan de terminar la descomposición y obtener un producto estable: el compost maduro. Algunos hongos del suelo pueden descomponer completamente la lignina (Maaroufi *et al.*, 2019). Este compost tiene textura granular, color oscuro y olor a tierra (Román *et al.*, 2013).



**Figura 2.** Variaciones de: Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje. Fuente: (Restrepo et al., 2017) Valor agregado: Residuos orgánicos. Tomado de: <https://unisarcapp.com/contenido/valor-agregado-residuos-organicos/186>.

## 5.5. TIPOS DE COMPOST

### 5.5.1. El compost común

Se entiende por compost común el sistema más habitual y sencillo de hacer composta casera. Hay distintos métodos en su elaboración, que dependen principalmente de la forma o lugar en donde se almacena la materia orgánica para que se descomponga. A la hora de elaborar este tipo de compost es importante mantener una correcta proporción en los distintos tipos de residuos, que habitualmente se separan entre húmedos y secos o bien, entre ricos en carbono o ricos en nitrógeno. Si el compost parece demasiado grasoso o desprende olores fuertes, lo más probable es que contenga demasiados residuos ricos en nitrógeno. En cambio, si la mezcla es de descomposición excesivamente lenta, probablemente se deba a un exceso de materiales ricos en carbono (Acosta, 2020).

Este es uno de los métodos más usados por personas que disponen de jardines o terrenos de gran extensión. Consiste en apilar directamente y sobre el suelo capas alternadas de

materiales orgánicos secos y húmedos. Lo habitual es cubrir el montón con paja o algún otro material parecido, e ir añadiéndole agua según este la precisa para mantener unos niveles adecuados de humedad y calor. Se hace necesario también remover el montón regularmente para airearlo (Acosta, 2020).

### **5.5.2. Compost común en cajas o compostadores)**

Es uno de los métodos más utilizados por aficionados a la jardinería o la horticultura de forma artesanal o empírica. Su principal ventaja radica en su sencillez, pues solo hay que adquirir uno de los muchos modelos de composteras (Acosta, 2020). Una compostera es un recipiente en el que se colocan los desechos orgánicos para convertirlos en abono con el tiempo. Algunos contenedores son continuos, lo que significa que puede seguir agregando desechos, mientras que otros crean lotes de compost con una combinación determinada de ingredientes que agrega todos a la vez. La mayoría de las composteras están diseñados para acelerar la descomposición de la materia orgánica mediante una aireación y retención de humedad adecuadas. Con la combinación adecuada de aire y humedad, se producen las condiciones ideales para la actividad de los organismos aeróbicos responsables de las altas temperaturas que transforman los materiales orgánicos en compost (Beaulieu, 2021).

### **5.5.3. Compost en pila**

Cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos orgánicos (sobre 1m<sup>3</sup> o superior), se puede llevar a cabo este tipo de compostaje. En función del manejo de las pilas en planta (espacio, tecnificación, tiempo de retención), existe una amplia variedad de formación de pilas, variando así el volumen de estas, su forma, la disposición y el espacio entre ellas. En la Figura 3 se visualiza un ejemplo de este tipo de compost (Silbert & Olivia, 2018)



**Figura 3.** Pila de compost tapada para evitar la bajada de temperatura y el exceso de lluvia. [Fotografía]. researchgate. Fuente: (Román *et al.*, 2013)

### **5.5.4. Compost en silo**

El compostaje en silos es una modalidad utilizada en la fabricación de cantidades poco voluminosas o domesticas de residuos orgánicos. Los silos son cajones que no tienen fondo ya que para este proceso es fundamental el contacto de los residuos con el suelo, adicional a lo anterior las cajas deben tener orificios de ventilación en todas sus caras tal como se muestra en la Figura 4. (Echenique, 2015)



**Figura 4.** Silo de compostaje. Fuente: (Forge, 2022)

#### **5.5.5. Compost en superficie.**

Este es un método que permite la elaboración y aplicación del compost en un único proceso. En él se aplica la materia orgánica directamente sobre la tierra cultivada, como se hace en los métodos de abono verde o de acolchado. Así, conforme la vida microbiana y los insectos van descomponiendo la materia orgánica, los nutrientes se filtran directamente al suelo, enriqueciéndolo. (Acosta, 2020)

### **5.6. LIXIVIADOS DE COMPOST Y POSTERIOR TRATAMIENTO**

El lixiviado de compost (LC) es básicamente una mezcla de materia orgánica estabilizada (compost) y agua. Las afirmaciones con respecto a los beneficios del lixiviado de compost son muy similares a aquellas para el caso del compost, con la ventaja de que se puede rociar sobre los cultivos en la parte foliar o usarse para remojar el suelo o los sustratos. Puede aportarle a los cultivos compuestos y microorganismos beneficiosos para mejorar su crecimiento y ayudar a prevenir enfermedades (Buechel, 2022d).

Si bien el proceso de compostaje transforma los desechos orgánicos en compost biológicamente estable, también se producen grandes cantidades de lixiviados que puede ser contaminados y que representan un riesgo directo para el medio ambiente según Roy *et al.*, 2018. En una perspectiva general, los lixiviados de compostaje se caracterizan por la presencia de altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes biodegradables. Sin embargo, también pueden contener contaminantes tóxicos como metales pesados y plastificantes, dependiendo de los materiales de partida (Bakhshoodeh *et al.*, 2017; Roy *et al.*, 2018).



El LC a menudo se trata como aguas residuales dependiendo del exceso en la concentración de nutrientes (Ahmad Sanadi *et al.*, 2021). El tratamiento de los lixiviados procedentes de los residuos sólidos se basa en general en su recolección y transporte a una instalación preparada para el tratamiento; no obstante, en función del grado de humedad de los residuos, es posible plantear su utilización, recirculándolos, regando la superficie de los residuos sólidos, en el caso de que la humedad del residuo que se reciba sea baja (Martínez Cruz, 2017).

## **5.7. SISTEMA DE VOLTEO**

La tasa de descomposición del material orgánico depende de la composición y el área superficial del material que se está compostando, la disponibilidad de humedad y la aireación. De estos tres, la aireación se controla volteando la materia orgánica compostable. Sin una aireación adecuada, la actividad microbiana se verá limitada ya que la mayoría de los microorganismos que participan en la descomposición son aeróbicos. Con una actividad microbiana limitada, el compostaje sería lento. Con una aireación adecuada, la temperatura de la pila aumenta rápidamente horas después de que comenzó el compostaje (Kefyalew & Muaid, 2017).

El centro del compost se calienta y se descompone más rápidamente que los bordes exteriores. Con más actividad, el oxígeno en el centro de la pila se agota rápidamente y se genera abundante calor. El oxígeno empobrecido debe reponerse para que el proceso continúe. Además, dado que los materiales orgánicos son descompuestos por diferentes organismos en varias etapas de descomposición, es necesario voltearlos para revitalizar algunos de los microbios necesarios para que prosiga la descomposición, pero detenidos por la muerte microbiana debido al calor excesivo. Los microorganismos involucrados en el proceso del compostaje son en su mayoría aerobios, por tal razón es imprescindible la incorporación de oxígeno por medio de los volteos (Bohórquez, 2019; Kefyalew & Muaid, 2017).

### **5.7.1. Frecuencia del volteo**

Como regla general, los materiales en descomposición activa se deben voltear cada tres o cuatro días, para mantener una pila (compost) termófila (pila con mucho calor) o cuando la temperatura desciende por debajo de los 104 F (40 °C). Sin embargo, si la mayor parte del material se ha descompuesto, es adecuado voltearla con menos frecuencia. Los materiales con actividad microbiana lenta se pueden voltear con menos frecuencia. (Kefyalew & Muaid, 2017). Se debe voltear el compost cuando la compactación, la falta de oxígeno y el contenido desigual de agua causen que la descomposición aeróbica (caliente y rápida) sea reemplazada por descomposición anaeróbica (más fría y más lenta) (Evans, 2021).

### **5.7.2. Factores que afectan la frecuencia del volteo**

La frecuencia de volteo depende del grosor y la composición de las capas del material de compostaje y el equilibrio correcto de material marrón (carbonáceo) y verde (rico en nitrógeno). Generalmente se recomienda una relación uno a uno por peso. El tamaño del material de compostaje y el tipo de estructura de compostaje también afectan la frecuencia de volteo (Kefyalew & Muaid, 2017). El compost es el producto resultante de la

descomposición biológica controlada de la materia orgánica. La calidad del compost terminado depende de las propiedades y el manejo de la materia prima (L. Chen, 2016).

## **5.8. TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

Los tratamientos biológicos son operaciones de tratamiento por biodegradación de materia orgánica. El compostaje es un proceso biológico aerobio (con presencia de oxígeno) que, bajo condiciones de ventilación, humedad y temperatura controladas, transforma los residuos orgánicos degradables en un material estable e higienizado llamado compost, que se puede utilizar como enmienda orgánica (Jara Samaniego, 2016).

### **5.8.1. Tratamiento aerobio**

El proceso de compostaje es muy similar a la degradación de componentes orgánicos en la naturaleza. Las moléculas orgánicas complejas se dividen en unidades más pequeñas por la actividad microbiana y son utilizadas por plantas más desarrolladas. Estos elementos son (parcialmente) absorbidos selectivamente por las raíces de las plantas y se incluyen en la biomasa de la planta, por lo que se cierra el ciclo natural (Bidlingmaier, 2016). En los tratamientos aeróbicos, los microbios consumen materiales orgánicos como fuentes de energía en presencia de oxígeno. Además, un proceso aeróbico oxida el  $\text{NH}_3$  - N en nitrato o nitrito (Liberato Soto, 2020).

### **5.8.2. Microorganismos**

La descripción de los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje es complicada, debido a que las poblaciones y las comunidades varían continuamente en función de la evolución de la temperatura, nutrientes, oxígeno, contenido de agua, pH, etc. Aquí, las bacterias y los hongos son los microorganismos más abundantes y que emergen más rápido durante el compostaje. Los sustratos utilizados y la microbiota involucrada en el proceso tienen una gran influencia en la calidad del compost formado (Villar *et al.*, 2016). Los microorganismos que más participan en el proceso son hongos y actinomicetos por su capacidad para degradar residuos de plantas y animales como celulosa, quitina y pectina, y además por su termo tolerancia; los microorganismos que participan en el compostaje requieren carbono y relativamente poco nitrógeno para su actividad. Si reciben esos elementos en una relación correcta, se reproducen rápidamente y consecuentemente, la descomposición de los residuos orgánicos también se acelera (Camacho *et al.*, 2014).

Los microbios llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica utilizando carbono y nitrógeno como fuentes de energía junto con oxígeno y agua, asegurando la producción de agua, dióxido de carbono, calor y compost que enriquece el suelo. El compost derivado posee una concentración significativa de sustancias húmicas biológicamente estables, que actúan como una excelente enmienda del suelo (Białobrzewski *et al.*, 2015). Durante el proceso, un aumento espontáneo de la temperatura ayuda a eliminar los patógenos, lo que hace que el compost generado sea más seguro para su uso (Rastogi *et al.*, 2020).

## **5.9. CONDICIONANTES PARA DISEÑAR LA COMPOSTERA**

Una compostera puede ser concebida en diversas configuraciones, tipologías y tamaños, pero existen condicionantes básicos que deben tenerse en cuenta para posibilitar un proceso de compostaje adecuado (Silbert & Olivia, 2018).

### **5.9.1. Aislamiento para la lluvia y el sol directo**

Si es abierta, en la parte superior necesita incluir una tapa ciega (no cierre hermético), como barrera física al ingreso de agua de lluvia y sol directo (Silbert & Olivia, 2018). El ambiente cerrado del proceso facilita el aislamiento del material orgánico durante todo el tiempo del compostaje (Alvarez Diaz *et al.*, 2013).

### **5.9.2. Drenaje de lixiviados**

Debe permitir la eliminación de los líquidos que se generan como parte del proceso de compostaje o con el exceso de agua de riego (Silbert & Olivia, 2018). Los lixiviados se conducen a una bolsa de recogida o envase hermético que tiene por fin almacenar y disminuir la producción de lixiviados por evaporación (Damián Martínez, 2018; Martínez Cruz, 2017).

### **5.9.3. Aireación**

Tiene que permitir el volteo manual (con pala, rastrillo de mano u horquilla); esto sirve para oxigenar la mezcla de residuos en descomposición (Silbert & Olivia, 2018). Es importante tener en cuenta que una buena oxigenación en el compostaje lo aporta el material de soporte (cascarilla de arroz, aserrín, poda, virutas de madera), ya que éste proporciona estructura y porosidad, permitiendo el flujo del aire entre la mezcla de residuos a compostar (Román *et al.*, 2013). Para que toda la pila de compost esté bien aireada, conviene: 1) mezclar bien materiales finos y gruesos y 2) voltear el material cuando la pila esté demasiado compacta o muy húmeda (Ishola & Ishola, 2019).

## **5.10. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS**

### **5.10.1. Humedad**

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75-85 % mientras que, para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50-60 % (Gonzalez, 2021).

### **5.10.2. Temperatura.**

Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55 °C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporados (Gonzalez, 2021). Los microorganismos generan calor a medida que descomponen el material orgánico. Una pila de abono con temperaturas entre 90 °F y 140 °F (32 °C -60 °C) se composta eficientemente. Las temperaturas superiores a 140°F (60 °C) inhiben la actividad de muchos de los organismos más importantes y activos de la pila. Dadas las altas temperaturas requeridas para el compostaje rápido, el proceso inevitablemente se ralentizará durante los meses de invierno. A algunos microorganismos les gustan las temperaturas frías y continuarán el proceso de descomposición, aunque a un ritmo más lento (Lewis, 2016). Este factor está directamente asociado con los microorganismos, dado que hay tipos de

poblaciones microbianas que realizan sus funciones a una temperatura específica y óptima. Por eso, la temperatura se debe controlar cuidadosamente para mantener una actividad microbiana de buen rendimiento, teniendo en cuenta las fases que se presentan en la descomposición (Carmona, 2017).

### **5.10.3. Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Bueno Márquez *et al.*, 2008; Delgado Arroyo *et al.*, 2019). Es un indicador de las sales solubles contenidas en la matriz orgánica. El compost puede alcanzar niveles de salinidad considerables debido a la presencia de sales en los materiales originales y a su concentración relativa durante la mineralización parcial de los mismos. Un exceso de salinidad puede tener efectos limitantes sobre el crecimiento vegetal tanto debido a factores osmóticos como al efecto de iones específicos. La salinidad de un compost puede variar ampliamente en función de los materiales originales empleados en el proceso, y puede alcanzar valores de en torno a 10 mS·cm<sup>-1</sup>. La CE se debe controlar durante el compostaje y sobre todo en el producto final (Chavez Perez, 2015).

### **5.10.4. pH**

Es considerado un indicador durante el proceso de compostaje, en la fase inicial disminuye debido a la generación de ácidos orgánicos y dióxido de carbono, luego empieza a aumentar por la liberación de dióxido de carbono y aireación de la mezcla a medida que se degradan los sustratos (Carmona, 2017). En la segunda fase, el pH aumenta debido a la utilización por parte de los microorganismos de los ácidos orgánicos producidos en la primera etapa y por la generación de amoníaco producido por la hidrólisis de las proteínas (Bohórquez, 2019). Para el compostaje, los valores ideales de pH generalmente oscilan entre 5,5 y 8,0 (L. Zhang & Sun, 2016). El pH elevado provoca la alcalinización de la masa de compost que puede dificultar la supervivencia de los microorganismos sensibles al pH, contribuyendo de esta forma al saneamiento del compost. Además, el pH y la temperatura pueden afectar colectivamente el proceso de degradación de los desechos (Rastogi *et al.*, 2020).

### **5.10.5. Potencial de óxido reducción (POR)**

Las reacciones redox son aquellas que implican una reducción y oxidación simultáneas. Indica la estabilidad y el estado de finalización del compost (Meek & Chesworth, 2016). La capacidad redox se define como el número de electrones aceptados por los compuestos oxidantes (por ejemplo, oxígeno, manganeso, hierro, sulfato), que acompañan la respiración de los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica (Tokarrz & Urban, 2015).

### **5.10.6. Materia Orgánica (MO)**

A lo largo del compostaje el contenido en materia orgánica total (MOT) debe ir disminuyendo, en más o menos proporción, en función del desarrollo del proceso, pero también del tipo de material orgánico y de su degradabilidad. Aunque algunos autores indican que el contenido en MOT puede informar del avance del proceso, incluso de la madurez del

compost, siempre debe valorarse con precaución porque depende mucho del punto de partida (Chavez Perez, 2015).

La transformación de materia orgánica fresca en compost se lleva a cabo principalmente por tres razones: (1) para superar la fitotoxicidad de la materia orgánica fresca no estabilizada; (2) para reducir la presencia de agentes (virus, bacterias, hongos, parásitos) que son patógenos para el hombre, animales y plantas a un nivel que no constituya riesgo para la salud; y (3) para producir un fertilizante orgánico o un acondicionador de suelo, reciclando desechos orgánicos y biomasa (Castillo Huaman, 2020).

#### **5.10.6.1. Residuos de cocina**

Millones de toneladas de desechos de alimentos, desechos de jardín y productos de papel, principalmente, se envían a los vertederos cada año en distintos países, los cuales se degradarán con el tiempo para producir una gran cantidad de metano. El metano es un gas de efecto invernadero que es de 28 a 36 veces más efectivo para atrapar el calor en la atmósfera que el dióxido carbono. Estos desechos que se arrojan a la basura como, por ejemplo, restos de frutas que no se consumen por su textura y presencia de semillas, residuos de vegetales maduros y frutos magullados o marchitos, grandes cantidades de recortes de césped, periódicos y cartón, entre otros, se suman al problema. Cuantos más desechos terminan en los vertederos, más metano se produce. Y si bien desviar los desechos de los vertederos de alguna manera puede ayudar, el compostaje es una forma en la que puede convertirse inmediatamente en parte de la solución (Helmer, 2021).

#### **5.10.6.2. Estiércol bovino**

El estiércol bovino no es solo un desecho agrícola, sino también un recurso de fertilizante orgánico. La aplicación de fertilizantes orgánicos es una práctica factible para mitigar la degradación del suelo causada por el uso excesivo de fertilizantes químicos, que puede afectar la diversidad bacteriana y la composición de la comunidad en los suelos (S. Zhang *et al.*, 2020). Las características químicas del estiércol bovino dependen de si hay separación entre la fracción sólida (heces) y la líquida (orines). Según esto, podemos disponer de varios materiales que van desde la mezcla de ambos junto al absorbente (como la paja) recogida directamente de los corrales o estabularios. El estiércol total (fracción sólida y líquida) mezclado con un material absorbente reúne las características esenciales para el compostaje: alta humedad, relación C/N adecuada, buena estructura física y alto contenido microbiano, ya que proviene del tracto digestivo de los rumiantes (Tortosa, 2019).

#### **5.10.7. Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Como en todo proceso aerobio o aeróbico, ya sea en el compostaje o aun en la respiración humana, el oxígeno sirve para transformar (oxidar) el carbono presente en las materias primas (substrato o alimentos) en combustible. A través del proceso de oxidación, el carbono se transforma en biomasa (más microorganismos) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o gas producido por la respiración, que es fuente de carbono para las plantas y otros organismos que hacen fotosíntesis (Meena *et al.*, 2021; Silbert & Olivia, 2018). Sin embargo, el CO<sub>2</sub> también es un gas de efecto invernadero, es decir, contribuye al cambio climático. Durante el compostaje, el CO<sub>2</sub> se libera por acción de la respiración de los microorganismos y, por tanto, la

concentración varía con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato. El CO<sub>2</sub> producido durante el proceso de compostaje, en general es considerado de bajo impacto ambiental, por cuanto es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis (Silbert & Olivia, 2018). La determinación de CO<sub>2</sub> emitido por un material orgánico suministra información sobre la respuesta de la actividad microbiana a variaciones de temperatura y humedad, los efectos de humedecimiento–secado y sobre la mineralización del carbono (Castillo et al., 2011).

#### **5.10.8. Tamaño de partícula**

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm. Conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño de las partículas disminuye (Meena *et al.*, 2021; Silbert & Olivia, 2018). A menor tamaño de las partículas de los restos vegetales y animales, mayor relación superficie/volumen, es decir, mayor actividad microbiana. Sin embargo, la disminución en el tamaño de la partícula puede conducir una menor porosidad en la matriz del compost, lo que ocasiona limitaciones en la disponibilidad del oxígeno, reduciendo la velocidad de la oxidación de los materiales orgánicos (Bohórquez, 2019; Moreno *et al.*, 2014).

#### **5.10.9. Nitrógeno**

El compost que no ha pasado por un correcto proceso de compostaje contiene el nitrógeno en forma de amonio en vez de nitrato. El amonio en temperaturas elevadas y humedad se transforma en amoníaco, dando lugar a un medio tóxico y emitiendo malos olores (Castillo Huaman, 2020). En el proceso de compostaje es común tener pérdidas de nitrógeno por volatilización del NH<sub>3</sub> cuando se exceden los requerimientos nutricionales de los microorganismos para la degradación (Jorge Montalvo *et al.*, 2018). La emisión del amonio es causada por la amonización del nitrógeno orgánico (proteínas, aminoácidos entre otros) en la fase termofílica (Jiang *et al.*, 2018), alcanzando valores máximos dentro de los siete primeros días (Jiang *et al.*, 2015). El nitrógeno amoniacal N-NH<sub>4</sub> desciende como resultado de la inmovilización por microorganismos, así como la formación de N-NO<sub>3</sub> (Jiang *et al.*, 2015). Los nitratos están ausentes al inicio del proceso de compostaje debido a que en la fase termofílica las altas temperaturas y las excesivas concentraciones de amonio inhiben las bacterias nitrificantes, entre las semanas 3 y 5 se incrementa su concentración (Jorge Montalvo *et al.*, 2018).

#### **5.10.10. Luminosidad**

La cantidad de luz solar que recibe el compost no importará tanto como la forma en que se maneja y la rapidez con la que necesita que se descomponga. Una buena compostera debe estar húmeda y ligeramente tibia, para que los microbios, las bacterias, los insectos y las lombrices de tierra puedan prosperar (Krososky, 2020). La proporción de carbono a nitrógeno es esencial para que la actividad microbiana se acelere y se caliente la pila (Vanderlinden, 2022).

El clima determinará en gran medida cuánto o qué poco sol necesita el compost; si generalmente hace calor, es posible que el compost se mantenga en la sombra, para que permanezca húmedo y no se seque al sol. Sin embargo, si se encuentra en una región más fría, puede ser mejor la compostera bajo la luz solar directa, para que el calor penetre en el compost (Krososky, 2020).

### **5.11. ELEMENTOS QUIMICOS**

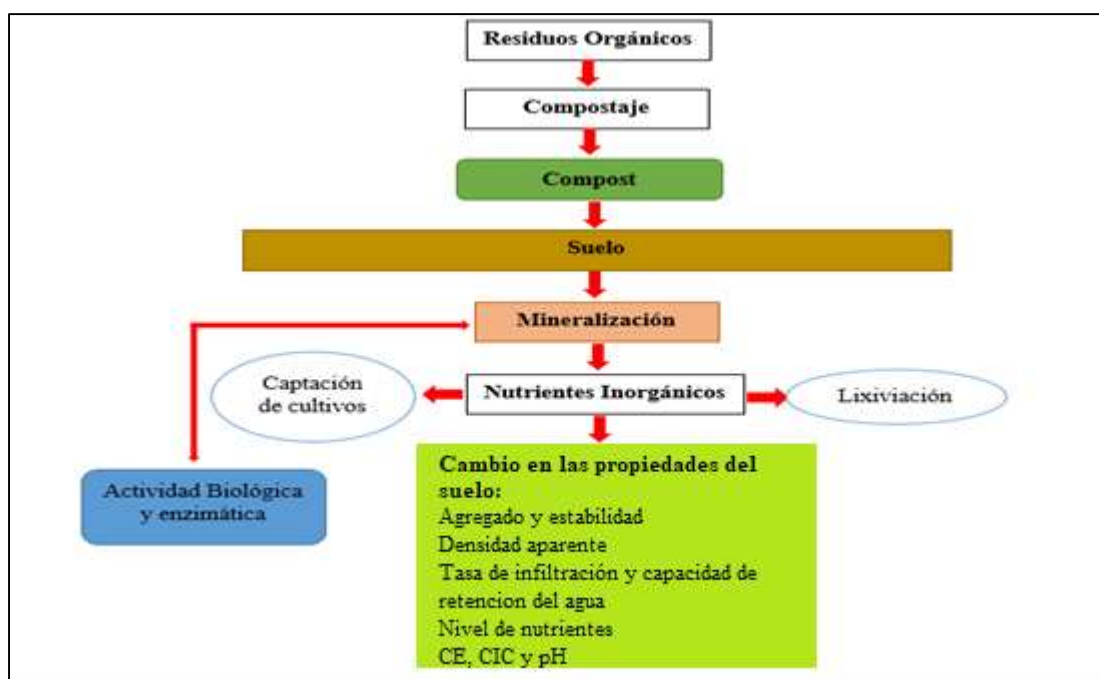
La calidad del compost refleja la composición química de un compost determinado. Un compost puede estar maduro (es decir, completamente compostado) pero puede ser de mala calidad debido a los bajos niveles de nutrientes (Mangan *et al.*, 2016). El compost contiene el espectro completo de nutrientes para las plantas, aunque las cantidades exactas varían de una muestra a otra (Lipford, 2020).

Entre los elementos que componen el sustrato destacan el C, N, y P, que son macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano. El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, así como la de los lípidos, grasas y carbohidratos; durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico; es el elemento que debe estar presente en mayor cantidad puesto que constituye el 50% de las células de los microorganismos y el 25% del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración. El nitrógeno es un elemento esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma; se ha demostrado que la calidad de un compost como fertilizante está directamente relacionada con su contenido de Nitrógeno. El fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano. En general, entre el inicio y el final de la incubación se produce un aumento de las concentraciones de los distintos nutrientes, debido a la pérdida de materia orgánica de la masa a compostar (Bueno Márquez *et al.*, 2008). Además de C, N y P existen otros nutrientes presentes en menor cantidad llamados micronutrientes (hierro, zinc, manganeso, boro, cobre, molibdeno y cloro). Estos tienen un importante papel en la síntesis de las enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporte intra y extracelular (Bueno Márquez *et al.*, 2008). El compost contiene sustancias degradadas y nutrientes móviles que, cuando se añaden al suelo, pueden ser utilizados para su enriquecimiento, mejora de su fertilidad, mejora de su estructura y algunas de sus propiedades físicas que conducen a cambios en la calidad de los productos obtenidos (Aleandri *et al.*, 2015; Lou *et al.*, 2015). El compost contiene todos los nutrientes minerales que no son volátiles o no han sido absorbidos y exportados de ninguna manera durante el proceso de compostaje. Estos elementos se encuentran en las mismas proporciones que en las materias primas utilizadas en el proceso (Mladenov, 2018).

### **5.12. APLICACIÓN DE COMPOST EN LA AGRICULTURA**

La demanda de productos agrícolas conduce al uso de sistemas agrícolas intensivos, que finalmente deterioran la salud del suelo y traen varios problemas ambientales (contaminación de aire, agua, suelo y directamente a la cadena alimentaria afectando a los seres vivos). En realidad, el reciclaje de desechos orgánicos mediante el compostaje se considera un enfoque sostenible para la gestión de desechos, ya que proporciona una fuente valiosa de materia orgánica para mejorar el contenido de esta en el suelo que se está deteriorando debido a

diversas actividades antropogénicas, y además se reconoce como un método confiable para mejorar diferentes propiedades del suelo. En este sentido, las mejores prácticas, incluida la gestión de fertilizantes con un enfoque en el uso de fertilizantes orgánicos, pueden mejorar las propiedades del suelo y proporcionar varios beneficios adicionales para mejorar la calidad del suelo (Choudhary *et al.*, 2021). El efecto de la aplicación del compost en el suelo depende en gran medida de las propiedades intrínsecas del suelo y del compost (materia prima), junto con la tasa de aplicación del compost. Sin embargo, es importante mencionar que los resultados de la aplicación de este tipo de fertilizante pueden no verse en un período corto debido a la lenta liberación de nutrientes (Sayara *et al.*, 2020). La Figura 5 presenta el diagrama esquemático de la mineralización del compost después de la aplicación al suelo.



**Figura 5.** Diagrama esquemático de la mineralización del compost después de la aplicación al suelo. CE: conductividad eléctrica, CIC: capacidad de intercambio catiónico. *Fuente:* (Sayara *et al.*, 2020).

Los desechos vegetales procedentes de cultivos representan un gran porcentaje de los residuos sólidos del proceso productivo, por lo que el compostaje resulta importante como alternativa de manejo y aprovechamiento de los residuos de los cultivos (Garzón Marín, 2020).

### 5.13. PLATANO

El plátano es un árbol de gran porte perteneciente a la familia de las Musáceas, de tallo muy tierno (que es un cilindro de vainas foliares-peciolares), que alcanza una altura de (6-6,5 m) y surge de un rizoma o corno carnoso (tallos engrosados subterráneos, de base hinchada y crecimiento vertical). Los retoños brotan alrededor de la planta principal formando un grupo o "heces", el retoño más viejo reemplaza a la planta principal cuando fructifica y muere (Mawahib *et al.*, 2015).



Los residuos de plátano, que son de naturaleza orgánica, son una fuente rica de macro y micronutrientes que pueden reciclarse para evitar su eliminación en el medio ambiente, manteniendo así el equilibrio entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente (Mawahib *et al.*, 2015). A partir de este significativo uso, las cáscaras de plátano no cuentan con ningún tipo de aprovechamiento a pesar de ser reconocido que las mismas cuentan con apreciable valor nutricional, por lo que estas cáscaras son tratadas como residuos con las consabidas afectaciones medioambientales que su disposición provocan (Moreira Carrión, 2013).

Agregar cáscara de plátano en el compost ayudará a agregar calcio, magnesio, azufre, fosfatos, potasio y sodio, todos los cuales son importantes para el crecimiento saludable de las plantas. Los plátanos en compost también ayudan a agregar material orgánico saludable, lo que ayuda a que el compost retenga agua y haga que la tierra sea más liviana cuando este es utilizado para cultivo. Las cáscaras de plátano se descomponen rápidamente (2 a 10 días) en el compost, lo que les permite añadir estos importantes nutrientes al compost mucho más rápidamente que otros materiales (Rhoades, 2021).

#### **5.14. COCO**

Las estadísticas recientes muestran la producción de coco en todo el mundo desde 2000 hasta 2020. En 2020, la producción mundial de coco ascendió a alrededor de 61,52 millones de toneladas métricas (Shahbandeeh, 2022). En India se produce en toda la región costera, noreste e isleña en un área de 2.14 millones de hectáreas. En las islas de Andaman Nicobar, el coco es el cultivo principal que ocupa 21.900 hectáreas. En Colombia en el año 2019 se sembraron 22.865 hectáreas de Coco en territorio nacional con una producción de 145.578 toneladas (Adelasa, 2022).

La cáscara de coco es los principales desechos generados por la industria del coco, aunque la cáscara de coco se usa de muchas maneras, como combustible, el mantillo, la extracción de fibra de coco, la turba, etc., en muchos países se arroja como un desperdicio que causa una gran preocupación ambiental. Además, esto equivale al desperdicio de varios miles de toneladas de nutrientes vegetales. Estas preocupaciones pueden abordarse reciclando los desechos a través del compostaje adecuado (Swarnam *et al.*, 2016).

Se conoce que la biodegradación de la cáscara de coco es difícil y la recuperación de nutrientes es baja, ya que tiene alto contenido de material lignocelulósico (Swarnam *et al.*, 2016), representando una fuente natural de fibra, con una composición promedio del 36 % de celulosa, 25 % de hemicelulosa y 28 % de lignina (Dhyani & Bhaskar, 2018; Rondón Perdomo *et al.*, 2021). Para su degradación se requiere la adición de otros desechos de animales ricos en nitrógeno, como estiércol de bovino, estiércol de aves de corral, estiércol de cabra, lechada de cerdos y estandarización de la composición de la materia prima y la determinación de la madurez del compost (Swarnam *et al.*, 2016). La fibra de coco es un producto orgánico y biodegradable con las siguientes características: resistencia, durabilidad, acción antibacteriana, gran capacidad de aislamiento térmico y acústico (Cubilla *et al.*, 2019).

### **5.15. MARAÑÓN**

Las plantaciones de marañón tienen un gran potencial de biomasa orgánica disponible para el reciclaje. La hojarasca de marañón y los desechos de marañón son dos fuentes importantes disponibles en abundancia en las plantaciones de marañón adulto (Kalaivanan *et al.*, 2017). Las nueces de los marañones (cáscara) no se han utilizado completamente y la mayoría de ellos todavía se encuentran en forma de desechos. Los desechos de nueces de marañón son materia orgánica que contiene macroelementos como N, P, K, Ca y Mg, útiles para las plantas (Sakinah *et al.*, 2013). La cáscara de marañón contiene un líquido; conocido como líquido de la cáscara de la nuez de Marañón (LCNM), el cual es un recurso natural renovable, económico, de color oscuro, cáustico y viscoso, obtenido como subproducto durante el proceso de producción de almendras de la nuez de Marañón. El LCNM es una fuente natural única para la producción de fenoles saturados e insaturados de cadena larga dentro de la cual se encuentra el ácido anacárdico (L. Sánchez *et al.*, 2015). También, contiene un alto contenido de lignocelulosa que es difícil de hidrolizar, por lo que llevará mucho tiempo convertirse en fertilizante orgánico a través del compostaje natural. Esto puede causar la acumulación de desechos que tienen un efecto negativo para el medio ambiente (Sakinah *et al.*, 2013). De otro lado, la mayoría de las veces las hojas caídas de marañón se desechan en las plantaciones de marañón ya que no se recolectan para compostaje y debido a las dificultades de descomposición in situ en condiciones abiertas debido al alto contenido de lignina y condiciones desfavorables para la descomposición, además no se valora como abono para el cultivo (Kalaivanan *et al.*, 2017).

### **5.16. ARROZ**

El arroz es un alimento de consumo masivo cuya producción mundial durante el 2018 alcanzó una cifra cercana a los 780 millones de toneladas cosechadas (FAO, 2018). La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria de la molienda de arroz y es un residuo agrícola abundantemente disponible en los países productores de arroz (Thiyageshwari *et al.*, 2018). La principal ventaja de usar cascarilla de arroz es su disponibilidad en grandes cantidades y su capacidad para acumular y aumentar el volumen de compost que se puede producir. La cáscara de arroz proporciona una fuente densa de carbono que, cuando se convierte en abono, puede aumentar la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo, mejorar la agregación del suelo, la porosidad, la infiltración y muchas otras características físicas beneficiosas clave del suelo (Trail, 2019).

Tienen un alto contenido de carbono y deben mezclarse con materiales adicionales ricos en nitrógeno, como materia verde y estiércol, para lograr una enmienda del suelo bien equilibrada. El alto porcentaje de carbono proporcionado por las cáscaras de arroz lo convierte en un buen acondicionador del suelo, pero por sí mismo no proporciona grandes cantidades de nutrientes esenciales para las plantas necesarios para su absorción (Trail, 2019). La gran resistencia al ataque enzimático de patógenos otorgada por las ligninas, hace que la cascarilla de arroz sea menos vulnerable al ataque microbiano (Lagunes-Fortiz *et al.*, 2016; Romero Uscanga *et al.*, 2014). Por ello, la mezcla y proporción de materiales al inicio del compostaje es determinante para lograr un buen desarrollo del compostaje (Binner *et al.*, 2016; Terreros Camac, 2021).

## 5.17. EL COMPOST PARA RECUPERAR SUELOS

El tratamiento de residuos comprende todos los procesos químicos, físicos y biológicos que tienen la función de modificar determinadas características de los residuos con el fin de reducir su volumen y carácter peligroso, facilitando así su recuperación. Entre los métodos de tratamiento biológico de residuos, el compostaje es la tecnología más simple y eficiente para el tratamiento de la fracción orgánica (Nicoleta Dinca *et al.*, 2019). Dependiendo de la ubicación, hay una variedad de diferentes tipos de suelo en los que puede tener que cultivar plantas. El suelo franco y limoso son los mejores tipos de suelo para trabajar, mientras que los suelos calcáreos, arcillosos y arenosos son más desafiantes. El suelo calcáreo y el suelo arenoso retienen muy poca agua, lo que hace que tengan menos nutrientes. Por otro lado, el suelo arcilloso retiene demasiada agua y puede anegarse, ahogando los nutrientes. El suelo arcilloso también tiende a enfriarse en los inviernos, lo que daña las raíces de las plantas (Razza *et al.*, 2018).

Cuando se mezcla compost en cada uno de estos suelos, los hace más fuertes y adecuados para sustentar las plantas. Agregar compost al suelo franco y limoso ayudará a que sea aún más fácil trabajar con ellos. Mientras tanto, se pueden agregar diferentes proporciones de compost a otros suelos para abordar cada uno de sus problemas únicos. Por ejemplo, agregar compost al suelo arcilloso puede mantenerlo más cálido y mejorar su capacidad para drenar el agua (Razza *et al.*, 2018). El uso agronómico representa un mercado potencial para el compost de bio residuos por su valor nutritivo y potencial para mejorar la calidad del suelo (Oviedo-Ocaña *et al.*, 2017).

El compost mejora la fertilidad y estructura del suelo y no daña su equilibrio, aumenta la vida del suelo, ya que estimula la actividad biológica, además de proteger contra la erosión. Su efecto es progresivo y acumulativo, consiguiendo una mayor retención de humedad, obtención de plantas más sanas y de mayor producción. Además, su incorporación contribuye a aumentar los niveles de materia orgánica (Razza *et al.*, 2018). La aplicación de compost sobre o dentro de perfil de suelo afecta positivamente el crecimiento y desarrollo de los cultivos, al influir de manera directa o indirecta sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos destinados a la producción agropecuaria (incluyendo la producción de pasturas) (Bohórquez, 2019).

Un gran número de contaminantes orgánicos, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los plaguicidas y el petróleo, se vierten en el suelo, lo que representa una gran amenaza para el medio ambiente natural. Las tecnologías tradicionales de remediación química y física son incompetentes o costosas y pueden causar contaminación secundaria. La tecnología de compostaje del suelo o el uso de compost como enmienda del suelo puede utilizar cantidades de microbios activos para degradar los contaminantes orgánicos con la ayuda de los nutrientes disponibles en la matriz del compost. Es muy rentable para la remediación del suelo. Por un lado, el compost incorporado al suelo contaminado es capaz de incrementar el contenido de materia orgánica, lo que mejora el ambiente del suelo y estimula la actividad metabólica de la comunidad microbiana. Por otro lado, la materia orgánica en los compost aumentaría la adsorción de contaminantes orgánicos y afectaría su biodisponibilidad, lo que provocaría una disminución de la fracción disponible para la

degradación mediada por microorganismos (Ren *et al.*, 2018). La calidad de un compost es usualmente determinada por parámetros químicos, los cuales dan una determinación exacta de cada sustancia y los parámetros biológicos, los cuales permiten evaluar la estabilidad del compuesto como un todo. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, la madurez del compost puede ser medida basándose en el potencial de utilización para el propósito agrícola, lo que significa que la calidad del compost puede ser evaluada en función a la producción agrícola y en el mejoramiento de las propiedades del suelo (Castillo Huaman, 2020).

## 6. METODOLOGIA

El desarrollo de este trabajo de investigación se hizo dentro de las instalaciones de la Universidad de Córdoba. Específicamente en el centro piloto de la facultad de ciencias agronómicas (Coordenadas: 08°47'37.50" N 75°51'35.95" W).

### 6.1. ADECUACION DE LAS COMPOSTERAS

El proceso de compostaje se realizó bajo sistema cerrado, para esto, se adecuaron composteras, utilizando bebederos de plástico (7 unidades) de 250 L de capacidad. Cada bebedero tiene una tapa, la cual puede ser retirada fácilmente de uno de los extremos del tanque, esto con el fin de realizar el manejo del proceso y extraer el compost generado. Las composteras se adecuaron para evacuar los lixiviados, colocando una llave para facilitar la extracción de los mismos. Por último, se ubicaron en un lugar bajo techo, tipo caseta, y tanto los tanques como las tapas, fueron cubiertos con polietileno de alta densidad con el fin de evitar ingreso de humedad (lluvia), además de aislar los materiales del contacto directo con el plástico y así favorecer al proceso (Figura 6).



Figura 6. Adecuación de las composteras dentro de la Universidad de Córdoba

### 6.2. OBTENCION DEL MATERIAL

El material de partida consta de restos de cultivos en diferentes municipios del departamento de Córdoba, los cuales se colectaron cómo se describe a continuación.

#### 6.2.1. Cultivo de coco

El departamento de Córdoba es el principal productor de coco en el Caribe colombiano. Estadísticas del Ministerio de Agricultura, a corte de 2019, le asignan 2.114 hectáreas con una producción anual de 16.134 toneladas (Zea Navarro, 2020).

Este material fue obtenido en la finca El Brillante, ubicada en la vereda El Palmar perteneciente al municipio de Puerto Escondido (Coordenadas 08°57'38.78"N 76°13'59.71"

W). Se recolectaron diferentes materiales del cultivo de coco como, cascaras de coco, hojas secas y hojas verdes, tal y como se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Cultivo de Coco y recolección de residuos.

### **6.2.2. Cultivo de marañón**

Córdoba tiene 800 hectáreas de marañón, siendo este departamento el principal productor de este fruto en Colombia, y en él se encuentra todos los eslabones de la cadena productiva del marañón: producción, transporte, comercialización y consumo final. Este cultivo se encuentra en el municipio de Chinú (Tobias Cogollo, 2018).

Este material fue obtenido de la empresa ASOPROMARSAB (Figura 8) ubicada en el municipio de Chinú (Coordenadas: 08°56'0056" N 75°12'27.53" W). Cabe resaltar que esta empresa se dedica al procesamiento y explotación de toda la fruta del marañón (incluyendo la nuez) con ello, han sacado varios productos al mercado tales como jarabe, vino, almendras entre otros.



**Figura 8.** Empresa ASOPROMARSAB.

Se recolectaron nueces de marañón, hojas secas (marañón) hojas verdes (marañón) y maleza (Figura 9).



**Figura 9.** Recolección residuos de marañón.

### **6.2.3. Cultivo de plátano**

El cultivo de plátano en Colombia se desarrolla en todo el territorio nacional, con una producción del 87%, del cual se utiliza únicamente el fruto, para su comercialización. La generación de sus residuos carece de un tratamiento o disposición adecuada, lo que los convierte en contaminantes para el medioambiente, y son principalmente empleados como abono orgánico (Mondragón García *et al.*, 2018).

En el departamento de Córdoba se estima que hay sembradas alrededor de 29.152 hectáreas de plátano (Padilla, 2020). El material fue obtenido en el municipio de Cereté específicamente en el corregimiento de Mateo Gómez (Coordenadas: 08°50'52.32" N 75°49'50.23" W).

Se recolectaron cascaras de plátano, tallos de plátano, hojas secas (plátano) y hojas verdes (plátano) como se muestra en la Figura 10.



**Figura 10.** Cultivo de plátano y recolección de residuos.

#### **6.2.4. Cultivo de arroz**

Córdoba es uno de los principales departamentos productores de arroz. (Villalba et al., 2017). Más de 1600 hectáreas son ocupadas por este cultivo en el departamento. (Padilla, 2020).

Este residuo, la cascarilla de arroz, fue adquirido con anterioridad en el Molino Nutibara ubicada en el barrio Mocarí de la ciudad de Montería (Coordenadas: 08°49'14.16" N 75°50'28.50" W).

#### **6.2.5. Materia orgánica (Estiércol de bovino)**

Este material fue obtenido en Frigosinú S.A., la cual es una planta de sacrificio y desposte de ganado bovino, se encuentra ubicada en la ciudad de montería (Coordenadas: 08°44'25.76" N 75°51'42.33" W) (Figura 11).



**Figura 11.** Empresa Frigosinú S.A. Montería.

### 6.2.6. Residuos de cocina

Los residuos de cocina fueron obtenidos dentro de la Universidad de Córdoba, específicamente en la Cafetería Central (Coordenadas: 08°47'28.25" N 75°51'44.77" W) y en la Cafetería de Salud (Coordenadas: 08°47'22.63" N 75°51'30.08" W) (Figura 12). Entre los residuos obtenidos tenemos: cascara de papa, yuca, zanahoria, ñame, huevo, remolacha, mango, pepino, piel de cebolla, restos de hojas de lechuga, repollo, cebollín, restos de limón, naranja mandarina y tomate de árbol.



**Figura 12.** Cafeterías Universidad de Córdoba (A) Cafetería Central. (B) Cafetería de Salud (Universidad de Córdoba).



### 6.3. MONTAJE DE COMPOSTAJE

Luego de la obtención de todos los materiales, cada uno de ellos fueron sometidos a reducción manual de tamaño (en el caso de las cascaras de coco, cascaras de plátano, tallos de plátano, y hojas secas) y reducción asistida (picadora), con el fin de elaborar los montajes de los tratamientos. Cada tratamiento descrito tiene su réplica, excepto el control.

### 6.4. TRATAMIENTOS

Los tratamientos que fueron utilizados en este trabajo se describen a continuación.

#### 6.4.1. Tratamiento de plátano. (P1 y P2)

Este está compuesto por estiércol bovino, cascara de plátano, cascarillas de arroz y residuos de cocina.

Cada material fue homogeneizado y previamente reducido. Para las cascaras de plátano, estas fueron picadas manualmente logrando un tamaño entre (3 cm – 5 cm), del mismo modo se procedió con los tallos del plátano, los residuos de cocina y las hojas secas del plátano. Para las hojas verdes, estas fueron sometidas a reducción con ayuda de una picadora. Posterior a todo el proceso de reducción de los materiales se procedió a agregar cascarillas de arroz y el estiércol bovino. La Figura 13 muestra el proceso descrito anteriormente.



**Figura 13.** Montaje tratamiento del plátano. **A.** Compostera con cascaras de plátano, hojas secas y cascarillas de arroz (fondo de la compostera). **B.** Agregación de tallos de plátano. **C.** Agregación de hojas verdes. **D.** Agregación de residuos de cocina. **E.** Agregación de estiércol bovino. **F.** Homogenización de los materiales. **G.** Tratamientos P1 y P2.

A continuación, en la siguiente tabla (Tabla 1) se describen las cantidades que fueron utilizadas para los montajes de estos tratamientos.

**Tabla 1.** Porcentaje de materiales utilizado para P1 y P2.

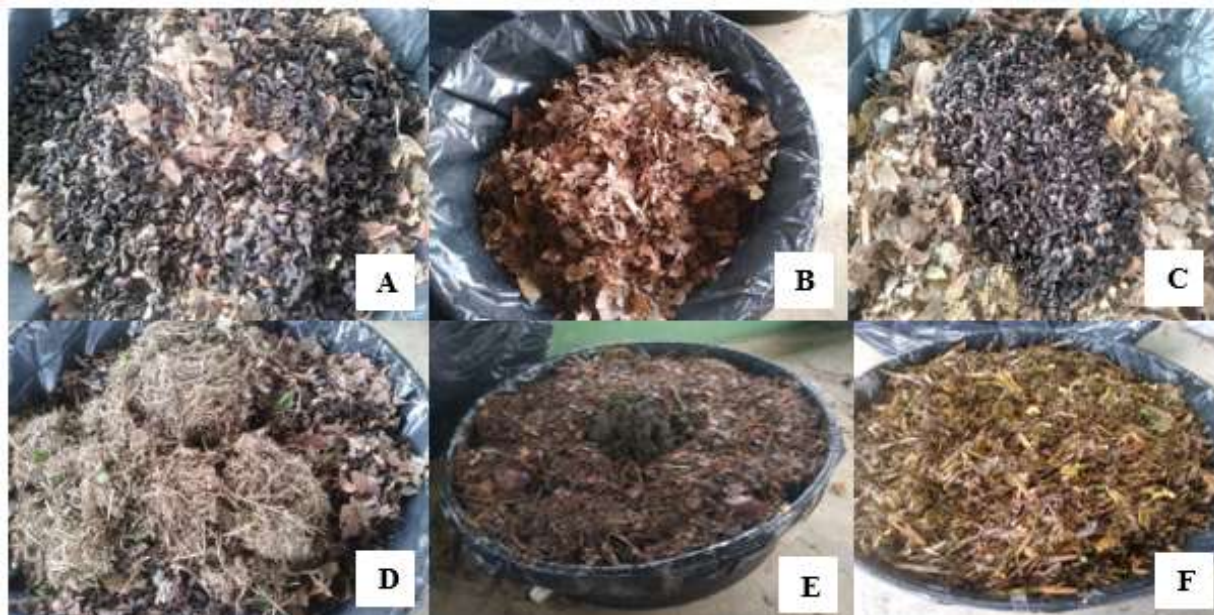
<b>RESIDUOS</b>	<b>PORCENTAJES (%)</b>
<b>Cascaras de plátano</b>	60%
<b>Tallos</b>	
<b>Hojas verdes de plátano</b>	
<b>Hojas secas de plátano</b>	
<b>Cascarillas de Arroz</b>	1 %
<b>Residuos de cocina</b>	14%
<b>Estiércol bovino</b>	25 %

Del mismo modo se procedieron con los demás tratamientos.

#### **6.4.2. Tratamiento de marañón (M1 y M2)**

Este estuvo compuesto por estiércol bovino, nueces de marañón, cascarillas de arroz y residuos de cocina.

Cada uno de los materiales fue homogeneizado y previamente reducido a excepción de las nueces del marañón. Estas fueron agregadas tal y como se colectaron. Para las hojas secas, estas fueron reducidas manualmente al igual que los residuos de cocina. Para las hojas verdes y la maleza, estas fueron reducidas con ayuda de la picadora. Posterior a todo el proceso de reducción de los materiales se procedió a agregar cascarillas de arroz y el estiércol bovino. La Figura 14 muestra el proceso descrito anteriormente.



**Figura 14.** Montaje tratamiento de marañón. **A.** Compostera con nueces de marañón. **B.** Agregación de hojas secas de marañón. **C.** Agregación de cascarilla de arroz. **D.** Agregación de hojas verdes de marañón, maleza y tallos de marañón. **E.** Agregación de residuos de cocina y estiércol bovino. **F.** Homogenización de los materiales.

A continuación, en la siguiente tabla (Tabla 2) se describen las cantidades que fueron utilizadas para los montajes de estos tratamientos.

**Tabla 2.** Porcentaje de materiales utilizado para M1 y M2.

RESIDUOS	CANTIDADES (%)
Nueces de marañón	50%
Maleza	
Hojas verdes de marañón	
Hojas secas de marañón	
Cascarillas de Arroz	1%
Residuos de cocina	18%
Estiércol bovino	31%

#### 6.4.3. Tratamiento de coco (C1 y C2)

Este fue compuesto por estiércol bovino, cascaras de coco, cascarillas de arroz y residuos de cocina.

Para las cascaras de coco, estas fueron reducidas manualmente logrando un tamaño entre 3 cm y 5 cm, del mismo modo se procedió con los residuos de cocina, las hojas secas del coco y los tallos de coco (previamente desprendidos de las hojas verdes). Para las hojas verdes, estas fueron sometidas a reducción con ayuda de una picadora. Posterior a todo el proceso de reducción de los materiales se procedió a agregar cascarillas de arroz y el estiércol bovino. La Figura 15 muestra el proceso descrito anteriormente.



**Figura 15.** Montaje tratamiento de coco. **A.** Fibras de coco utilizadas para el montaje. **B.** Fibras de coco dentro de la compostera. **C.** Compostera con cascaras de coco, cascarillas de arroz y hojas secas. **D.** Compostera con hojas verdes, residuos de cocina y estiércol. **E.** Homogenización del estiércol en el tratamiento del coco. **F.** Tratamientos C1 y C2.

A continuación, en la siguiente tabla (Tabla 3) se describen las cantidades que fueron utilizadas para los montajes de estos tratamientos.

**Tabla 3.** Porcentaje de materiales utilizado para C1 y C2.

RESIDUOS	CANTIDADES (%)
Cascaras de coco	50%
Tallos	

<b>Hojas secas de coco</b>	
<b>Hojas verdes de coco</b>	9%
<b>Cascarillas de Arroz</b>	1%
<b>Residuos de cocina</b>	13%
<b>Estiércol bovino</b>	27%

#### 6.4.4. Tratamiento control

Este constó de estiércol bovino, residuos de cocina, cascarilla de arroz y podas colectadas de la vegetación que se encuentra en la universidad de Córdoba.

Los residuos de cocina fueron reducidos manualmente logrando un tamaño entre 3 cm y 5 cm dependiendo de las distintas cascaras que se encontraban (cascaras de papa, cascaras de yuca, cascara de ñames, cascaras de plátano, cascaras de berenjena, cascaras de zanahoria, cascaras de remolacha, cascaras de huevos, cascaras de tomates, cascara de tomates de árbol, cascara de pepinos, cascaras de cebollas, restos de cebollín, limón, ají, repollo, lechuga). De este mismo modo fueron reducidas las hojas secas, las cuales fueron recolectadas de la Universidad de Córdoba. Las hojas verdes fueron reducidas gracias a la picadora, posterior a lo mencionado, se procedió a agregar cascarillas de arroz y estiércol de bovino. La Figura 16 muestra el proceso descrito anteriormente.



**Figura 16.** Montaje tratamiento control. **A.** Compostera con hojas secas y cascarillas de arroz. **B.** Agregación de hojas verdes y residuos de cocina. **C.** Agregación de estiércol de bovino. **D.** Homogenización de compost.

A continuación, en la siguiente tabla (Tabla 4) se describen las cantidades que fueron utilizadas para los montajes de estos tratamientos.

**Tabla 4.** Porcentaje de materiales utilizado para Control.

<b>RESIDUOS</b>	<b>CANTIDADES (%)</b>
<b>Residuos de cocina</b>	18%
<b>Hojas verdes</b>	

<b>Hojas secas</b>	50 %
<b>Cascarillas de Arroz</b>	1%
<b>Estiércol bovino</b>	31%

### 6.5. VOLTEO

La frecuencia con la que se debe voltear el compost depende de varios factores, incluido el tamaño de la pila, la proporción de verde a marrón y la cantidad de humedad en el compost. Por lo anterior mencionado es recomendable voltear el compost cada tres o cuatro días. Algunas señales que indiquen la necesidad de voltear el compost con más frecuencia incluyen descomposición lenta, infestaciones de plagas y malos olores (Rhoades, 2021).

Para el volteo de todos los tratamientos, estos se hicieron manualmente cada tres días, utilizando guantes largos para protección. En la siguiente figura se aprecia la técnica de volteo utilizada (Figura 17).



**Figura 17.** Volteo de compost.

### 6.6. CONTROL DE HUMEDAD

Para controlar la humedad tanto en los tratamientos de plátano como en el control, se agregó aserrín (500 g) teniendo en cuenta el origen de este, cuidando que no tuviera barnices u otra sustancia perjudicial. Previo a la adición del aserrín en los tratamientos de plátano, se procedió a la recolección de lixiviados en ambos tanques (gracias a las llaves incrustadas en las composteras), a excepción del tratamiento control, el cual no presentó cantidades importantes de lixiviados, pero si se apreciaba humedad, ver Figura 18.



**Figura 18.** Control de humedad para los tratamientos de plátano (P1 y P2) y Control **A.** Recolección de lixiviado. **B.** Adición del aserrín. **C.** Homogenización del aserrín en el compost. Control de humedad para el tratamiento control. **D** Tratamiento control en presencia de humedad **E.** Adición del aserrín. **E.** Homogenización del aserrín.

### 6.7. TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestra para la medición de los parámetros fisicoquímicos se efectuó dos veces a la semana. Se tomó una cantidad de muestra de aproximadamente 5 g, de cada uno de los tratamientos y se depositó en un tubo Falcon de 50 mL, para luego adicionar agua destilada. Luego de agitar y dejar reposar, se realizaban las lecturas correspondientes de parámetros fisicoquímicos. En la Figura 19 se muestra la cantidad de muestra tomada de uno de los tratamientos y los tubos en donde son depositadas.

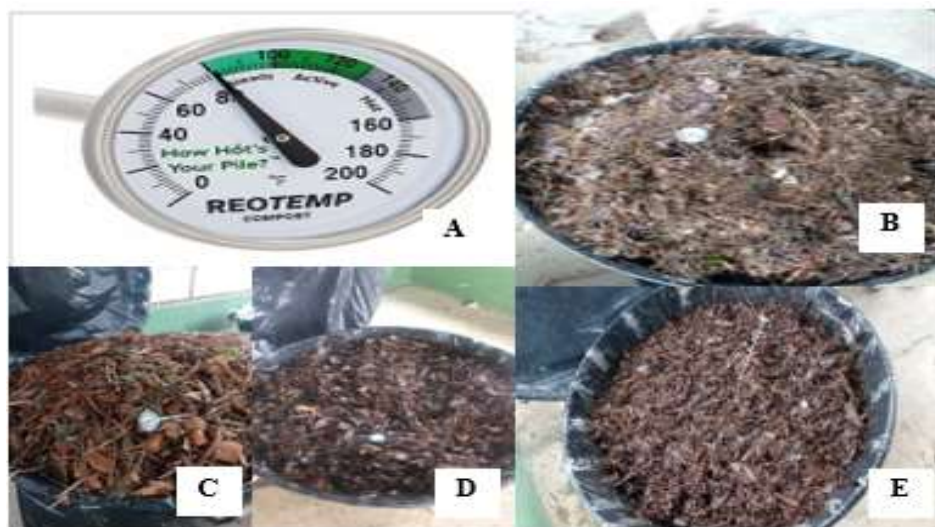


**Figura 19.** Muestras de compost **A.** Cantidad de muestra tomada del tratamiento control. **B.** Tubos Falcon con muestras de compost.

### 6.8. TOMA DE TEMPERATURA

La toma de temperatura se efectuó todos los días de la semana en cada uno de los tratamientos y en los primeros dos meses del proceso. Para ello, se utilizó un termómetro de compost de acero inoxidable (Figura 20 A), el cual era introducido en cada una de las composteras. Por cada tratamiento se efectuó 5 mediciones, 1 en el centro del montaje y 4 laterales. Cabe

resaltar que el termómetro trabaja con grados Fahrenheit (°F), pero estos datos son convertidos a grados Celsius (°C).



**Figura 20.** Toma de temperatura **A.** Termómetro de compost. **B.** Termómetro de compost introducido en el tratamiento de marañón (parte lateral). **C.** Termómetro de compost en el tratamiento de coco (parte lateral). **D.** Termómetro de compost en el tratamiento control (parte lateral). **E.** Termómetro de compost en el tratamiento de plátano (Parte central).

## 6.9. MONITOREO Y MEDICIÓN DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS

El monitoreo y medición de los parámetros fisicoquímicos se llevó a cabo por medio de un equipo multiparámetro (HI 9829 medidor multiparámetro) tal y como se muestra en la Figura 21. Estas mediciones se desarrollaron dos veces por semana (en lo posible se realizó el mismo día de volteo de compost). Los parámetros medidos son: pH, Conductividad y POR (Potencial de oxidorreducción).



**Figura 21.** Medición de parámetros fisicoquímicos **A** Multiparámetro utilizado para medición de parámetros fisicoquímicos (HI 9829 medidor multiparámetro) **B.** Medición de parámetros fisicoquímicos.



Las mediciones fueron efectuadas en el Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental, ubicado en la Universidad de Córdoba.

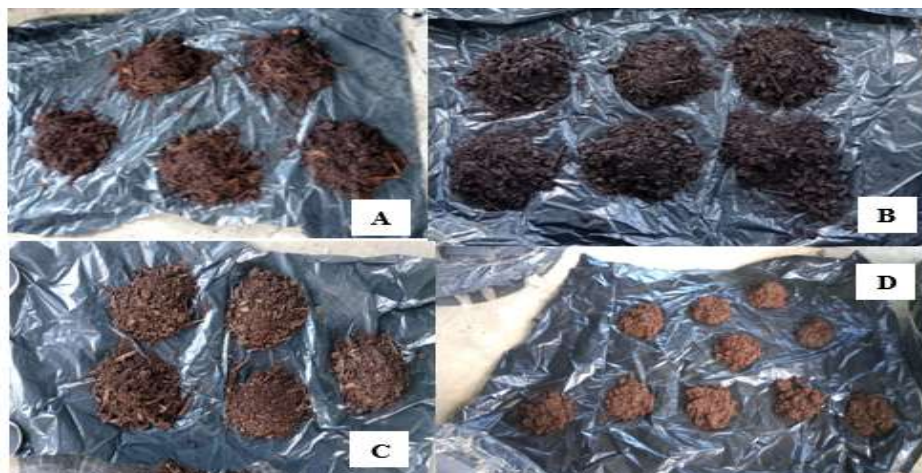
### 6.10. METODO DE CUARTEO

Este método se realizó con el fin de obtener de una muestra representativa de cada tratamiento, con el fin de obtener una submuestra por cada tratamiento (600 g) para el posterior análisis de calidad. El método se realizó según la norma establecida para materiales orgánicos sólidos (Norma NTC-5424 del 2006 y NTC-ISO 8633 de 1995. Para este punto, se hizo el cuarteo de cuatro tratamientos (M1R1, C1R1, P2R2 y Control). Ver Figura 20 y 22.



**Figura 22.** Toma de muestras de compost. **A.** Volteo del compost. **B.** Muestra de plátano. **C.** Muestra de coco. **D.** Muestra de marañón. **E.** Muestra de control.

Luego de sacar las muestras con la cantidad suficiente para el cuarteo, se procede a porcionar sobre las muestras, para la obtención de submuestras y la muestra final (Figura 23).



**Figura 23.** Cuarteo del compost **A.** Cuarteo muestra de coco. **B.** Cuarteo muestra de marañón. **C.** Cuarteo muestra de control. **D.** Cuarteo muestra de plátano.

Finalmente se procedió a almacenar las muestras para el respectivo envío al laboratorio. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio certificado AGRILAB SAS, ubicado en la ciudad de Bogotá. En la Figura 24 se observa las muestras finales que fueron enviadas.



**Figura 24.** Muestras. **A.** Muestras de compost (M1, P2, C1 y Control). **B.** Muestras de lixiviado (P1 y P2).

### 6.11. REDUCCION DE BIOMASA EN EL COMPOSTAJE

Una gran parte de los materiales de origen orgánico que son fácilmente degradables, se descomponen en un tiempo corto. La reducción de la masa de compostaje, es uno de los parámetros de eficiencia, la cual ocurre como consecuencia de la degradación de la biomasa (Vasconcelos *et al.*, 2021). Para realizar el cálculo correspondiente al porcentaje de pérdida o transformación de biomasa, la cual corresponde a la reducción de los materiales utilizados por cada tratamiento, se utilizó la ecuación 1, realizando la suma de cada material.

Los pesajes se hicieron en una balanza digital. La determinación del porcentaje de la pérdida de biomasa se realiza con la siguiente ecuación (Ec.1) (Vasconcelos *et al.*, 2021).

$$\%Biomasa\ perdida = \frac{Peso\ inicial\ (kg) - Peso\ final\ (kg)}{Peso\ inicial\ (kg)} \times 100 \quad Ec.1$$

Para la presencia de lixiviados, la ecuación quedaría modificada de la siguiente manera (Ver Ec.2):

$$\%Biomasa\ perdida = \frac{Peso\ inicial\ (kg) - Peso\ final\ (kg) + lixiviados\ extraidos\ (kg)}{Peso\ inicial\ (kg)} \times 100 \quad Ec.2$$

### 6.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con los datos obtenidos de las variables de respuesta, las cuales en este caso son los parámetros de temperatura, pH, potencial redox, y conductividad, se realizó un análisis de

varianza (ANOVA) y análisis de correlación (entre réplicas y entre tratamientos) por medio de diagramas de caja y bigotes. Este análisis se realizó con los datos de las tres últimas mediciones antes de finalizar el proceso. De otro lado, con los datos de calidad (laboratorio certificado Agrilab), se establece si existen diferencias significativas entre los tratamientos (compost de los diferentes cultivos y el control) y si los compost cumplen con la norma NTC-5167.

## **7. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **7.1. PROCESO DE COMPOSTAJE**

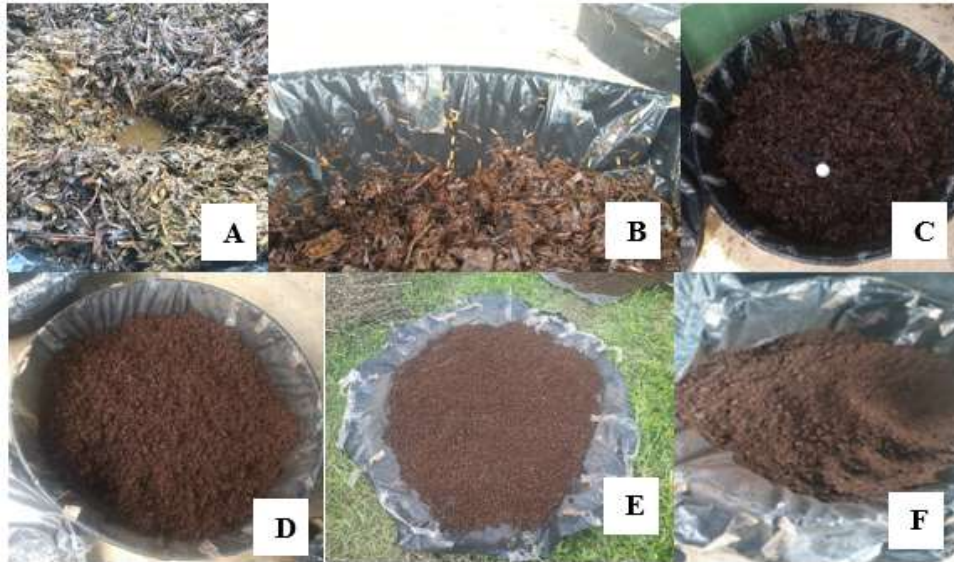
En general, la materia orgánica presentó una descomposición total, de modo que las características organolépticas como, el tamaño de partícula que se homogeneizó en cada uno de los tratamientos, la textura y color oscuro similar y el olor característico de un abono, indicaron que el proceso del compostaje se desarrolló en condiciones óptimas de temperatura, pH y humedad, a pesar que en los últimos meses se presentaron variabilidades en cuanto al clima, ya que las condiciones climáticas, particularmente la temperatura, el viento y la lluvia, influyen directamente en el proceso de compostaje. También cabe destacar que la correcta aireación que se realiza mediante el volteo del compost y el tiempo del mismo favoreció este proceso.

El tiempo de maduración del compost depende varios factores como son, el tipo de material o residuo sólido con el que se elabore, el tiempo de degradación de los mismos (influenciado por la cantidad de biomasa lignocelulósica) y el debido control que se elabore en el proceso (volteo, control de humedad, control de temperatura y control microbiano) (Bazrafshan *et al.*, 2016). En este trabajo el proceso de compostaje se evaluó hasta los 5,5 meses, tiempo en el cual se realizaron los análisis de calidad en laboratorio certificado.

A continuación, se describen los procesos de compostaje de cada uno de los tratamientos realizados.

#### **7.1.1. Tratamientos de plátano**

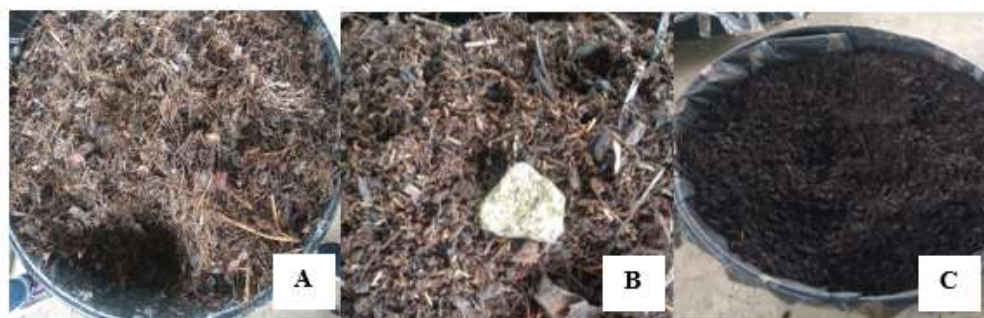
El montaje de estos tratamientos se elaboró el primero de abril del presente año (01/04/2022). Al cabo de los once días en cada tratamiento había presencia de lixiviado y reducción de compost. Ocho días después se observó presencia de larvas (específicamente larvas de moscas provenientes principalmente del estiércol, las cuales fueron desapareciendo), adicional al incremento de lixiviados y reducción de compost. Posterior al control de humedad tratado con aserrín (Ver Figura 18), se notó un cambio en la textura, color, olor, temperatura y degradación del material. Finalmente, los tratamientos se sometieron a exposición solar con el fin de ayudar en el manejo de humedad. Lo anterior descrito se puede observar en la Figura 25.



**Figura 25.** Proceso de maduración del compost de plátano. **A.** Tratamiento de plátano con lixiviado (11/04/2022). **B.** Larvas de moscas en el compost de plátano (18/04/2022). **C.** Reducción de compost de plátano (18/04/2022). **D.** Compost de plátano (22/07/2022). **E.** Exposición de compost de plátano al sol (30/09/2022). **F.** Compost de plátano (05/10/2022).

### 7.1.2. Tratamientos de marañón

El montaje de estos tratamientos se elaboró el dos de abril del presente año (02/04/2022). Pasado cinco días se notó un cambio en el color de los tratamientos (Ver Figura 26 A) y aumentó la temperatura. Dieciocho días después se observó presencia de hongos (Ver Figura 26 B). Transcurrido los días se notó la reducción de compost. Estos tratamientos presentaron condiciones óptimas con poca humedad, mostrando características organolépticas propias de un compost, sin embargo, la textura de este compost se observa con remanentes del material predominante (nueces de marañón), debido a que este material es difícil de degradar por su alto contenido de lignocelulosa y ácido anacárdico (Sakinah *et al.*, 2013; L. Sánchez *et al.*, 2015), por lo que la etapa de maduración de estos tratamientos demora más tiempo, inclusive años en el ambiente (Kalaivanan *et al.*, 2017; Sakinah *et al.*, 2013) (Ver Figura 26.C).



**Figura 26** Proceso de maduración del compost de marañón. **A.** Compost de marañón (08/04/2022). **B.** Hongo presente en el compost de marañón (26/04/2022). **C.** Compost de marañón (05/04/2022).

### 7.1.3. Tratamientos de coco

El montaje de estos tratamientos se elaboró el siete de abril del presente año (07/04/2022). Al cabo de 11 días se notó que no hubo mayor cambio en cuanto al aspecto físico del compost, sin embargo, se presentó un incremento de temperatura, alcanzando los 49 °C. En este tratamiento, la textura del compost no es semejante a los demás tratamientos, debido a la dureza del material predominante (conchas de coco). Es por esto que el tiempo de degradación es mayor, influenciado por, el tamaño de las conchas y fibras y el alto contenido de material lignocelulosico, haciendo que el proceso de maduración sea lento. A pesar del tamaño inicial del material predominante, que era entre 15 y 25 cm, a medida que se elaboró el volteo, se notó parcialmente texturas de los compost similares al suelo (Figura 27).



**Figura 27.** Proceso de maduración del compost de coco. **A.** Compost de coco (18/04/2022). **B.** Compost de coco (02/05/2022). **C.** Compost de coco (03/06/2022). **D.** Compost de coco (12/09/2022). **E.** Compost de coco (05/10/2022).

### 7.1.4. Tratamiento control

El montaje de este tratamiento se elaboró el siete de abril del presente año (07/04/2022). Transcurridos once días, este tratamiento comenzó a presentar humedad y degradación de la materia orgánica y por ende reducción del material. Para este tratamiento la producción de lixiviado fue menor a diferencia de los tratamientos del plátano por lo que el proceso de extracción fue difícil de realizar. Posterior al control de humedad tratado con aserrín (Ver Figura 18), se notó un cambio en la textura, color, olor, temperatura y degradación del material. Finalmente, el tratamiento control fue expuesto al sol, para ayudar a disminuir la humedad. Lo anterior descrito se puede observar en la Figura 28.



**Figura 28.** Proceso de maduración del tratamiento control. **A.** Degradación del tratamiento control (18/04/2022). **B.** Tratamiento control transcurrido tres días después de la adición del aserrín (26/05/2022). **C.** Tratamiento control (05/07/2022). **D.** Tratamiento control (23/08/2022). **E.** Exposición tratamiento control al sol (21/09/2022). **F.** Compost de tratamiento control. (05/10/2022).

## **7.2. COMPORTAMIENTO DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

Los parámetros fueron monitoreados dos veces por semana (coincidiendo con el tiempo de volteo), durante cinco meses y medio, en el Laboratorio de Toxicología de la Universidad de Córdoba. La temperatura fue monitoreada los días de la semana (lunes a sábado) durante los dos primeros meses, dos veces al día (mañana y tarde). Luego, fue monitoreada en los días de volteo.

### **7.2.1. Comportamiento general de los parámetros fisicoquímicos**

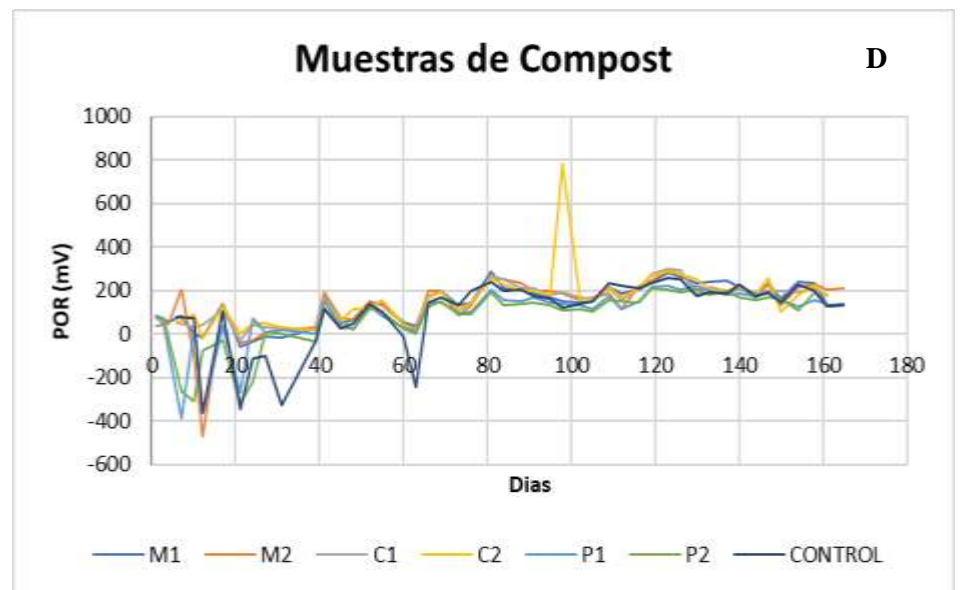
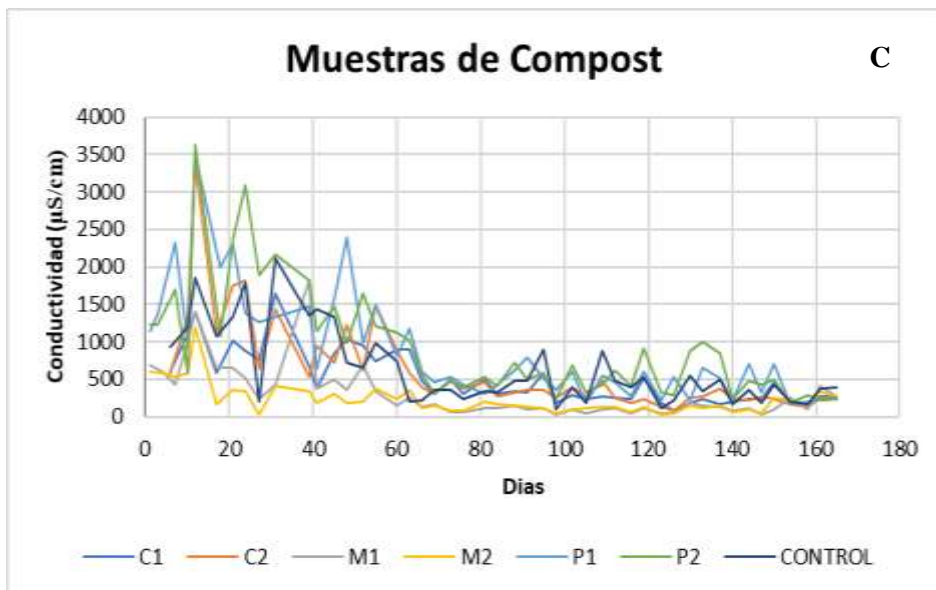
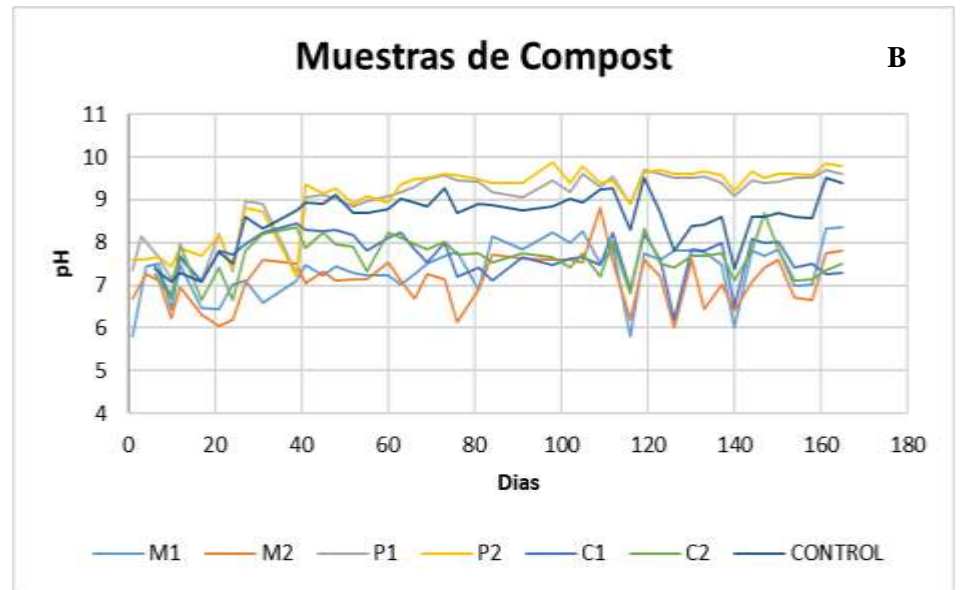
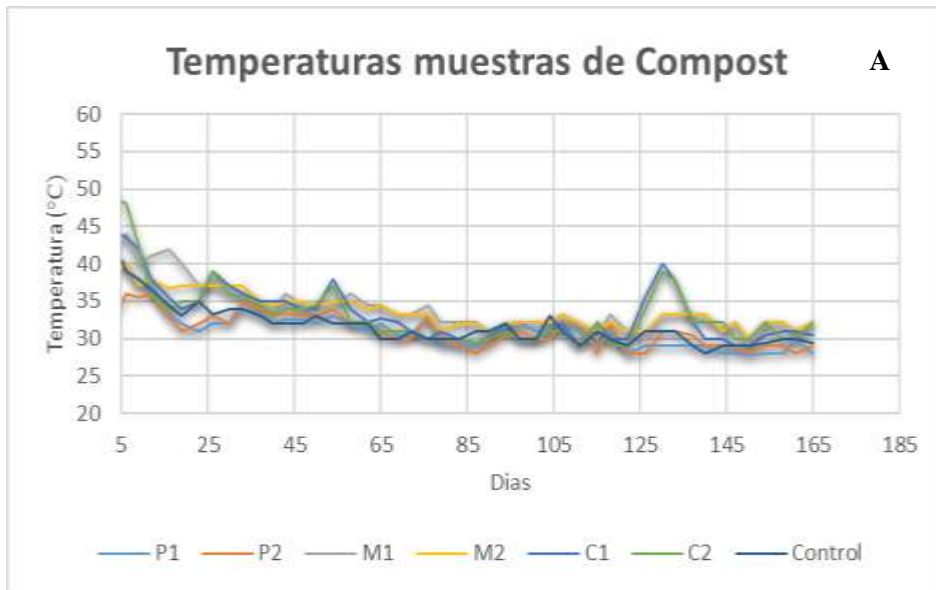
Durante el primer mes se presentó un aumento de temperatura, lo cual está relacionado con la proliferación de microorganismos e incremento de su actividad ). Este aumento se vio reflejado principalmente en los tratamientos de marañón y coco (entre 40 °C y 54.4 °C) cuyas temperaturas fueron superiores a los tratamientos de plátano y control (entre 30 °C y 40 °C). Los descensos abruptos presentados durante el proceso se deben principalmente a la humectación y volteo del compost. Es posible que, en el compostaje de plátano, la alta generación de lixiviados, que, aunque fueron controlados, afectó el desarrollo de la etapa termófila. De acuerdo a Cooperband (2002) el no incremento de más de 30 °C a 40°C en la temperatura de compostajes realizados en bandejas, o cajas en sistemas cerrados, se debe a

que la altura de la pila es directamente proporcional a la temperatura interna durante las dos primeras semanas donde esta alcanzara su fase termófila debido a que las pilas de mayor altitud logran retener mejor las elevadas temperaturas que las pilas pequeñas. (Cooperband, 2002). Pasado los dos primeros meses se aprecia un comportamiento característico de la fase de enfriamiento en todos los tratamientos resultados similares a los reportados por Castro García *et al.*, 2016. En términos de las etapas de compostaje, todos los tratamientos alcanzaron la etapa mesófila, algunos alcanzaron la etapa termófila (marañón y coco), todos los tratamientos alcanzaron la etapa de enfriamiento y algunos la etapa de maduración cualitativa (plátano y control) Ver Figura 29A.

Asimismo, el pH, varió entre ácido y neutro en la primera etapa del compostaje (Valores entre 5.45 y 7.14) y entre ácido y alcalino en la segunda etapa (Valores entre 6.20 y 8.93) como se reportaron en la investigación de Soto Paz *et al.*, 2015. La Norma Técnica Colombiana para Productos Orgánicos usados como Abonos, hace referencia que el pH debe tener un mínimo de 4 y máximo de 9 en el producto final (ICONTEC, 2022; Rivas Nichorzon & Silva Acuña, 2020). Lo anterior se puede visualizar en la Figura 29B.

El comportamiento de la conductividad es variable (Figura 29C), siendo común el aumento de la misma durante el proceso de compostado, para luego bajar y estabilizarse al final del proceso. Esto se debe a la mineralización de la materia orgánica, con lo cual se incrementa la concentración de nutrientes, y, en consecuencia, la de sales. La conductividad eléctrica (CE) es frecuentemente alta en los abonos; por lo que hay que tenerla en cuenta para evitar una posible salinización del suelo o problemas de toxicidad en las plantas debido a la aplicación de altas cantidades de sales (menor que 8 dS/m) (Rivas Nichorzon & Silva Acuña, 2020). También en algunos casos, se observa que la CE llega a descender durante el proceso de compostaje; sin embargo, esto se deberá principalmente a fenómenos de lixiviación de la masa (disolución de sales) (Bueno Márquez *et al.*, 2008).

En lo referente a el potencial de óxido reducción (POR), este al igual que la conductividad también fue variable en el tiempo (Figura 29D). Este parámetro incide fuertemente sobre los procesos biológicos y químicos, por tanto, se considera una variable importante para ser monitoreada, ya que se relaciona con la actividad microbiana. Se apreciaron las reacciones de óxido reducción a medida que transcurría la degradación de los materiales utilizados notándose el cambio en la degradación de la materia orgánica. En el primer mes el POR disminuyó registrando valores negativos, Wang *et al.*, 2015 explica que esto es debido al consumo microbiano de sustancias oxidantes, la liberación de sustancias reductoras en el proceso de biodegradación y a la concentración de sustancias reductoras en la fase líquida del estiércol causado por la pérdida de humedad (Wang *et al.*, 2015). Transcurrido el primer mes, los valores del POR fueron positivos, según W. H. Chen *et al.*, 2014 eso se alude a la profundidad de penetración del oxígeno y a la mejora de la acción oxidativa microbiana en los cuales algunos tratamientos alcanzaron valores de 230 mV (W. H. Chen *et al.*, 2014).



**Figura 29.** Comportamiento general de parámetros fisicoquímicos. **A.** Temperatura (°C). **B.** pH. **C.** CE (µS/cm). **D.** POR (mV)



### 7.2.2. Tratamientos de plátano

La etapa mesófila I ocurrió en las primeras dos semanas. La temperatura aumentó hasta alcanzar los 40 °C para el caso de P1. Para P2 en la primera semana no se observó un aumento de temperatura igual que P1 (Ver Figura 30A), esto se debe al exceso de humedad que presentaba la compostera, la cual fue controlada con aserrín (adicionando 2000 g por cada compostera). El compostaje es un proceso que requiere oxígeno y agua para que los microorganismos actúen descomponiendo los sustratos orgánicos y como consecuencia de esa actividad microbiana se genera calor, aumentando la temperatura (García Gil, 2018). La presencia de microorganismos mesófilos que crecen entre los 15 °C a 35 °C, consumen inicialmente los carbohidratos presentes en la materia orgánica presentando así una reducción significativa de material según Ó. J. Sánchez et al., 2017.

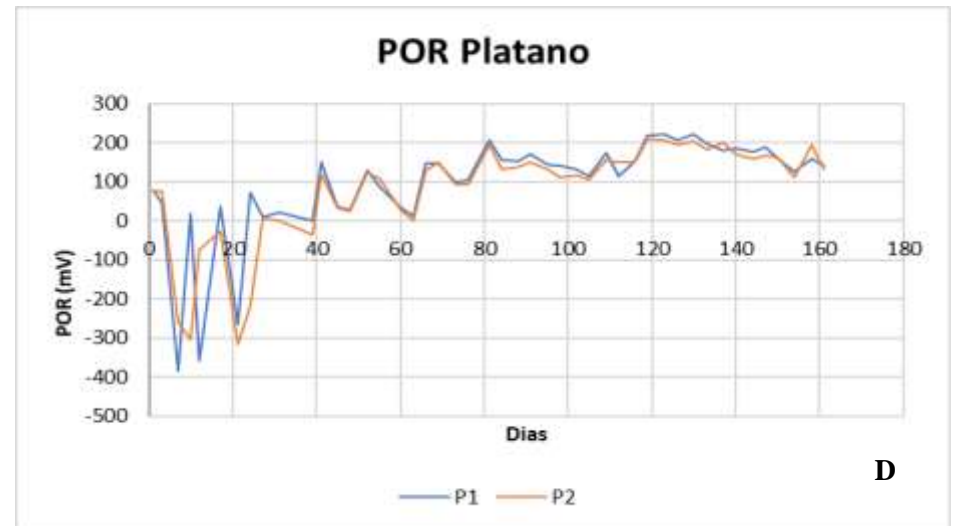
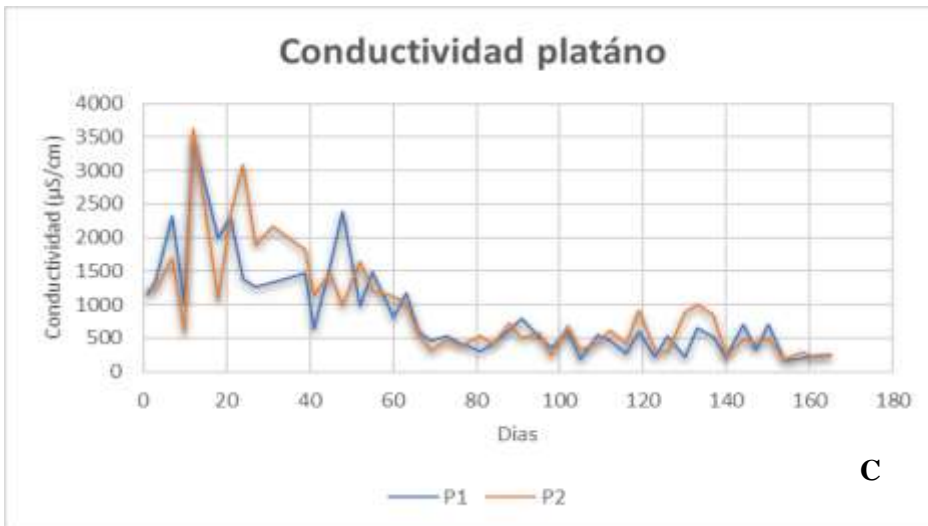
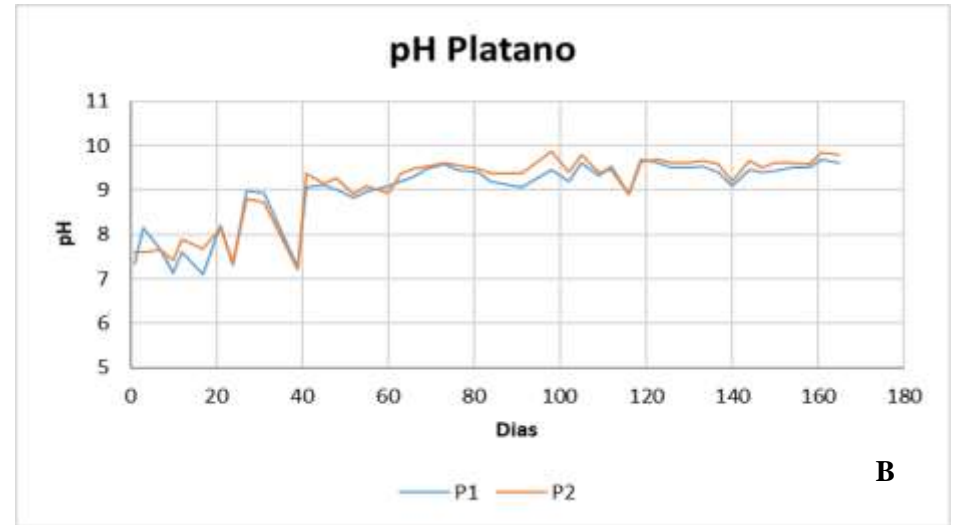
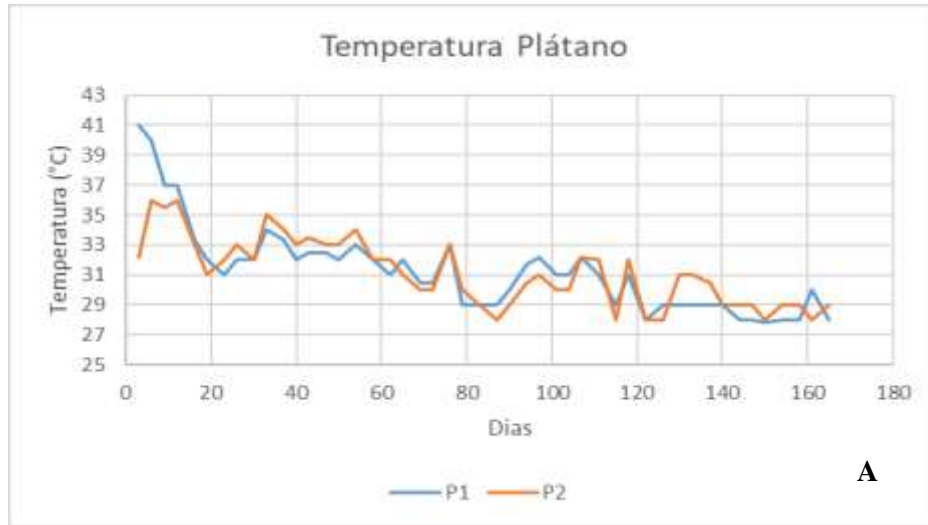
La etapa termófila no ocurrió durante este proceso por lo que no fue posible registrarla. El incremento de la temperatura, provoca que la proliferación de bacterias y hongos presentes en los residuos entren en estado de latencia, ya que las temperaturas aumentan de 45 °C a 70 °C según Ballesteros Trujillo *et al.*, 2018. En este caso, es posible que esto se debiera principalmente al alto contenido de humedad que estos tratamientos presentaron. Además, del tamaño de la pila en los tanques, el cual no fue adecuado por la baja altura debido a la rápida reducción de la biomasa. En la etapa de enfriamiento, fue notorio la disminución de temperatura hasta alcanzar la temperatura ambiente llegando a temperaturas de 28 °C, lo que posiblemente ayudó a alcanzar la etapa de maduración para ambos tratamientos (Ver Figura 30A).

El pH fue variable entre neutro y básico. Barbaro *et al.*, 2010 y Vargas Pinedas *et al.*, 2019 aseguran que, al tener valores de pH básicos, estos indican que el contenido en nitrógeno amoniacal y carbonatos solubles aumenta. (Barbaro *et al.*, 2010; Vargas Pineda *et al.*, 2019). En la Figura 30 B se muestra que, iniciando los días de monitoreo, el pH tenía casi el mismo valor en P1 (7.34) y en P2 (7.61). Finalizando los días, para ambos tratamientos la variación del pH era casi similar tanto en P1 (9.6) como en P2 (9.8).

La conductividad eléctrica (CE) está determinada por la naturaleza y composición del material, principalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones de amonio o nitrato formados durante el proceso (Delgado Arroyo *et al.*, 2019), Gondek *et al.*, afirma que es importante destacar que la medición de la CE no identifica el tipo de sal presente en la muestra, solo se determina la concentración total acumulada de las sales solubles presentes (Gondek *et al.*, 2020). Para estos tratamientos la CE fue alta y variable en los primeros dos meses, presentando valores entre 202  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 3700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , para luego estabilizarse a valores bajos (240  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a partir de ese mes (Ver Figura 30C).

En lo que respecta al POR, durante el primer mes disminuyó a valores negativos (entre -35.8 mV y -384.3 mV) debido a la disminución de oxígeno en los tratamientos, también se debe a la producción de lixiviados consecuentes de la degradación de los residuos orgánicos. Pasado el primer mes, las reacciones de oxidación se intensificaron en los tratamientos por lo que las mediciones del POR registraron valores positivos (entre 0.8 mV y 221 mV), manteniéndose así hasta el final del proceso. En la figura 30D observamos que el

comportamiento del POR fue muy similar para las dos réplicas, desde el inicio hasta el final del monitoreo.



**Figura 30.** Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en los tratamientos del plátano. **A.** Temperatura (°C). **B.** pH. **C.** CE (µS/cm) **D.** POR (mV)

### 7.2.3. Tratamientos de marañón

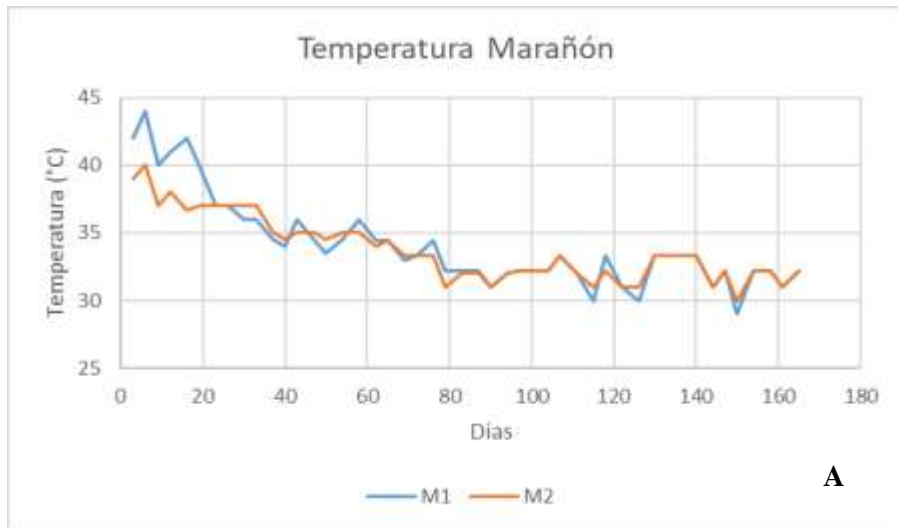
La etapa mesófila I en estos tratamientos tuvo una duración aproximada de un mes, siendo M1 el que alcanzó máximas temperatura hasta llegar a la etapa termófila; la máxima temperatura registrada fue de 44 °C y esta etapa transcurrió rápidamente. A diferencia de M2, la temperatura máxima fue de 40 °C por lo que en este tratamiento se asume que no llegó a la etapa termófila (Ver Figura 31A). Es posible que en la réplica M2, los microorganismos estuvieran más inhibidos, debido a la presencia de una mayor cantidad de cáscara de nuez (lo cual pudo ocurrir en el montaje de las composteras), y que es conocido como un material difícil de degradar. (Kalaivanan *et al.*, 2017; Sakinah *et al.*, 2013).

En la fase de enfriamiento, los valores mínimos presentes en estos tratamientos fueron entre 29 °C y 30 °C. Se pudo observar que, a medida que transcurría el tiempo, la dureza de las nueces de marañón disminuía gradualmente. Por la cantidad de material remanente sin degradación completa (cáscara de las nueces), se asume que la fase de maduración no se alcanzó en este tratamiento, debido a que dicho material necesita más tiempo para degradarse (Kalaivanan *et al.*, 2017; Sakinah *et al.*, 2013).

El pH para estos tratamientos fue entre ácido y básico, pasando por pH neutro. En los primeros dos meses el pH medido estuvo entre ácido y neutro, arrojando valores de 5.79 y 7.20. Posteriormente los valores de pH variaron entre 6.0 y 7.8. En los últimos días se observa en la Figura 31B que la variación del pH fue similar en ambos tratamientos, estabilizándose en valores cercanos a la neutralidad, lo cual se considera un resultado positivo, debido a que lo esperado era una mayor acidez.

El valor de la CE fue variable, en especial en M1. Al inicio del monitoreo, la conductividad fue similar en ambos tratamientos, pero en el tratamiento de M1 se observa (Ver Figura 31C) un pico significativo (día 39), entre tanto, en M2 se observa que la conductividad disminuyó con respecto a M1, por lo que se observó que hubo una diferencia significativa en el comportamiento de este parámetro entre las dos réplicas. Es posible que estas diferencias estén relacionadas con una mayor actividad microbiana en M1 (reflejado también en la temperatura) lo que conllevó a una mayor mineralización de la materia orgánica y, por ende, mayores valores de la CE. Luego a partir de los dos primeros meses, se notó que la CE fue más similar en ambos tratamientos, reportando conductividades bajas (entre 57  $\mu$ S/cm hasta 90  $\mu$ S/cm).

Para el POR, en los primeros días las reacciones de oxidación fueron prevalecientes en el compost por lo que se obtuvieron valores positivos en este parámetro, no obstante, entre el día 10 y el día 31, se presentaron fluctuaciones, en donde en este rango de días los valores fueron más negativos, especialmente en el día 12 (-469.3 mV) debido posiblemente a la ausencia de oxígeno, o a un error en la lectura, ya que este valor sólo se registró en M2 y en un único punto. Pasado este tiempo, el POR nuevamente dio lugar a las reacciones oxidativas, por lo que tomó valores positivos hasta el final del proceso, así, se observa el mismo comportamiento de este parámetro en ambos tratamientos. Ver Figura 31C.



**Figura 31.** Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en los tratamientos de marañón. **A.** Temperatura (°C). **B.** pH. **C.** CE (µS/cm). **D.** POR (mV)

#### 7.2.4. Tratamientos de coco

En la primera etapa del compostaje ocurre una fermentación mesófila I, que se caracteriza por un aumento en la temperatura de 40 °C, debido a la presencia de microorganismos mesófilos que crecen entre los 15 °C a 35 °C y que consumen inicialmente los carbohidratos presentes en la materia orgánica. En estos tratamientos esta etapa no se logró evidenciar debido a que posiblemente solo duro unas horas y al momento de monitorear la temperatura no se registró un valor menor a 40 °C.

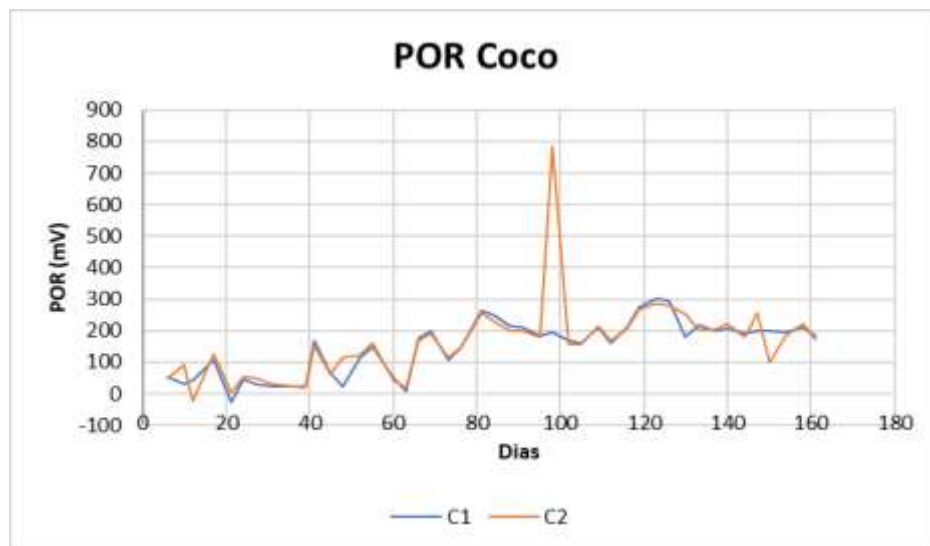
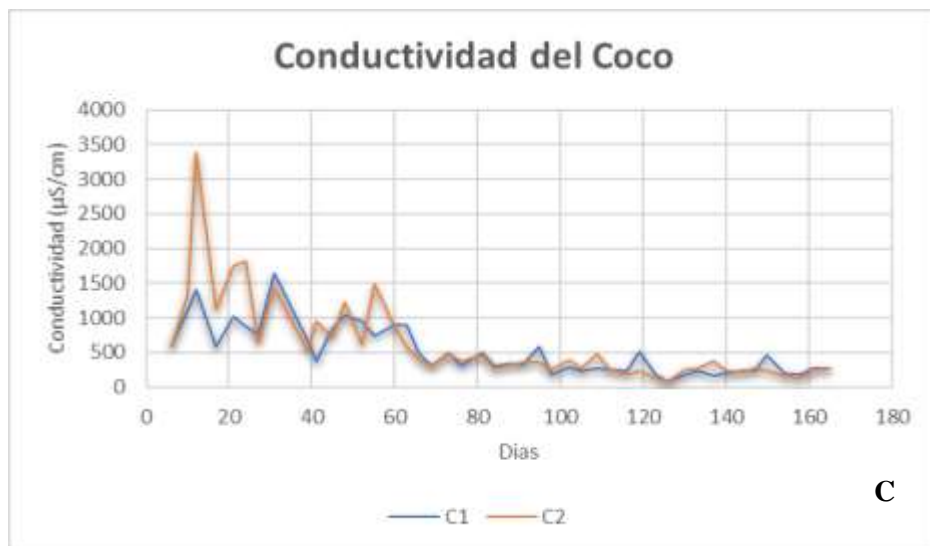
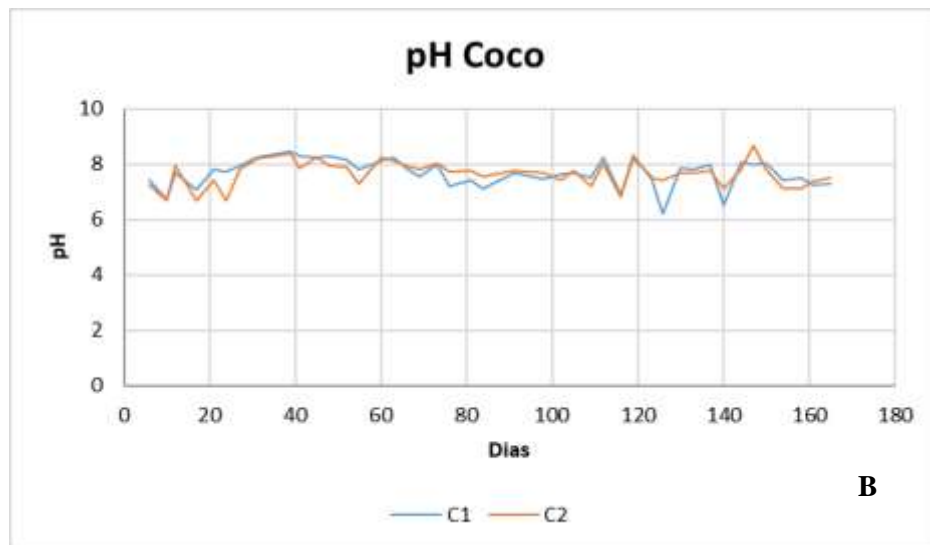
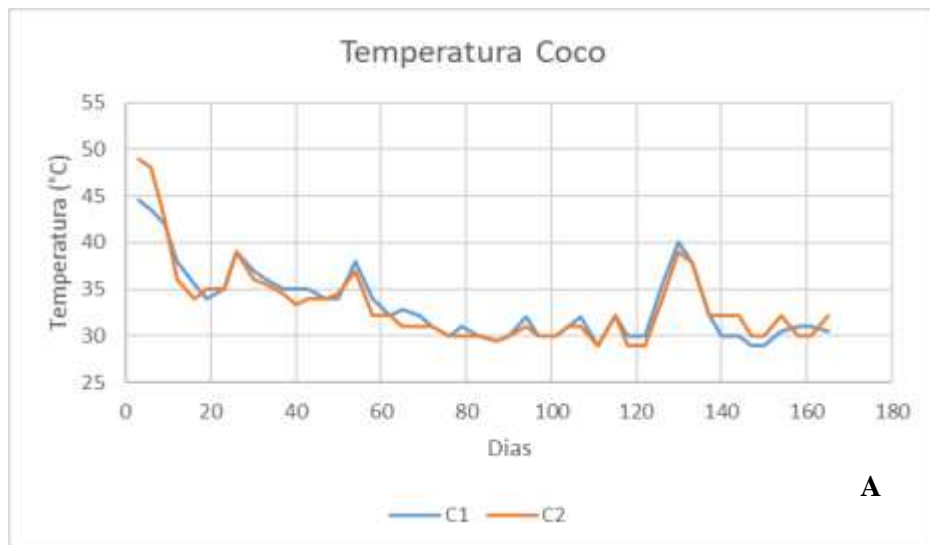
La segunda etapa es la fermentación termófila que inicia cuando la actividad metabólica microbiana se incrementa, generando reacciones exotérmicas y aumentando la temperatura entre los 40 °C a 60 °C. Los tratamientos de coco alcanzaron temperaturas en un rango de 40 °C a 49 °C, donde C1 presento una temperatura de 44,5 °C y C2 49 °C durante los primeros diez días posterior al montaje de estos tratamientos (Ver Figura 32A). De acuerdo con Neklyudov *et al.*, 2008; Vargas Pineda *et al.*, 2019 esta condición reduce la actividad de los microorganismos mesófilos mientras aumenta la de los microorganismos termófilos que contienen enzimas que degradan compuestos complejos como las proteínas, celulosa y hemicelulosa, además en esta etapa se eliminan organismos patógenos (Neklyudov *et al.*, 2008; Vargas Pineda *et al.*, 2019). Estos tratamientos tardaron más tiempo en alcanzar la etapa de enfriamiento, por lo que la temperatura pudo disminuir en un rango de 30 °C a 32 °C hacia el final del proceso, valores similares a la temperatura ambiente. Es probable que, en estos tratamientos, la altura de la pila en las composteras permaneció más alta debido a una reducción más lenta del material, por ser el más lignocelulósico entre todos los tratamientos, lo cual favoreció que el comportamiento de la temperatura presentara mayores valores.

El pH para C1 y C2 fue entre ácido, neutro y básico. Al comienzo del monitoreo ambos tratamientos presentaron intervalos entre pH de 6.5 a 7.9 del día 6 al 25, luego de este tiempo ambos tratamientos conservaron su basicidad entre valores de pH de 7.9 a 8.9 (Ver figura 32B). Según Buechel 2022a los valores ácidos al inicio del proceso se deben posiblemente a que la fibra de coco es relativamente ácida con un pH entre 6.0 y 6.8 (Buechel, 2022a). Sin embargo, a partir de la segunda semana del proceso, prevaleció hasta el final un pH entre neutro a ligeramente alcalino.

La conductividad eléctrica (EC) en cada tratamiento fue muy distinta al comenzar el proceso (del día 6 hasta el 24), dado que para C2 los valores de conductividad oscilaban entre (579 a 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), mientras que para C1 fueron entre (540 a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), luego estos fueron disminuyendo, logrando ser similares los valores de C1 y C2 en un rango de (70 a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), ver Figura 32C.

Finalmente, el potencial de óxido reducción (POR), prevaleció en valores positivos durante todo el proceso, a excepción de una reducción observada en una medida, la cual fue para C1 el día 21 con un valor de -27,8 mV y para C2 el día 12 con un valor de -23,2 mV. Otra medida que se sale del rango, fue el valor más alto obtenido en el día 98 para el tratamiento C2, que fue de 744,9 mV, lo cual pudo deberse a un mal uso del equipo o en su defecto a la cantidad de muestra no fue suficiente para poder determinar el valor real de este (Ver Figura 32D). En

general, aunque los valores de POR fueron variables en el tiempo, estos fueron siempre similares entre C1 y C2. Cabe anotar, que tanto para las medidas de conductividad como de POR, pudo afectar el proceso de volteo en los primeros dos meses del proceso, ya que para estos tratamientos era más difícil realizarlo, debido a la complejidad y cantidad de material en las composteras, De otro lado, se observó que tanto para los tratamientos de coco y marañón, los valores de POR fueron muy positivos a lo largo del proceso, indicando prevalencia de reacciones de oxidación en comparación a los tratamientos de plátano y control. En estos últimos, los valores negativos se pueden relacionar con la presencia de lixiviados y mayor humedad, favoreciendo reacciones reductoras (Zhu et al., 2021).



**Figura 32.** Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en los tratamientos de coco. **A.** Temperatura (°C). **B.** pH. **C.** CE (µS/cm). **D.** POR (mV)



### 7.2.5. Tratamiento control

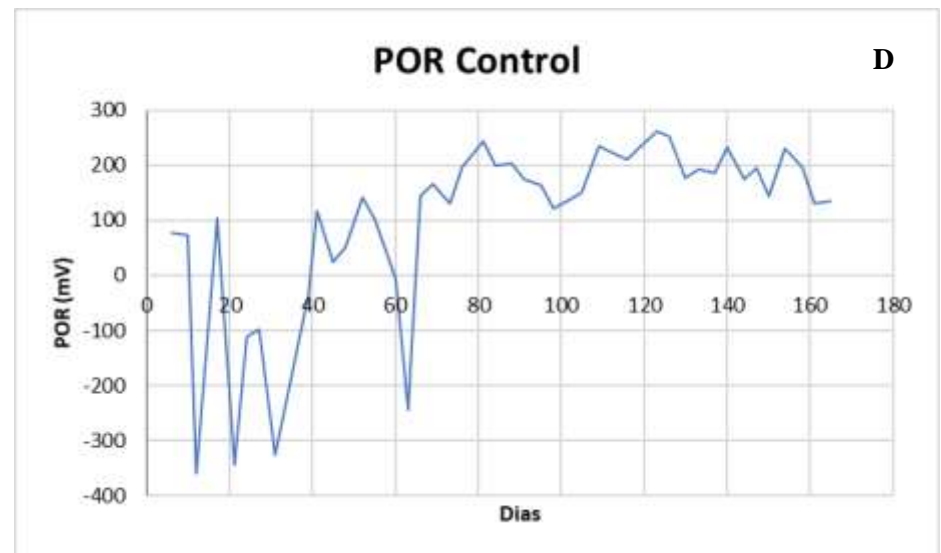
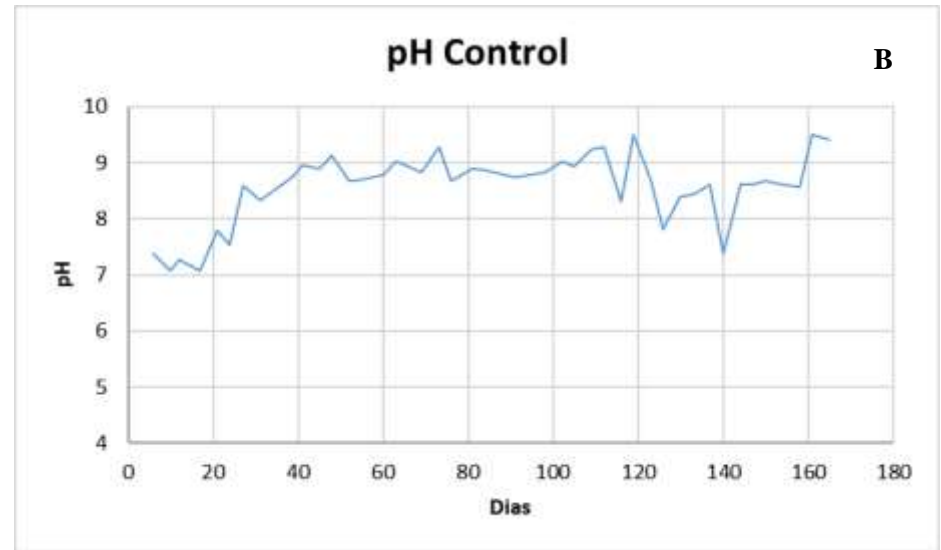
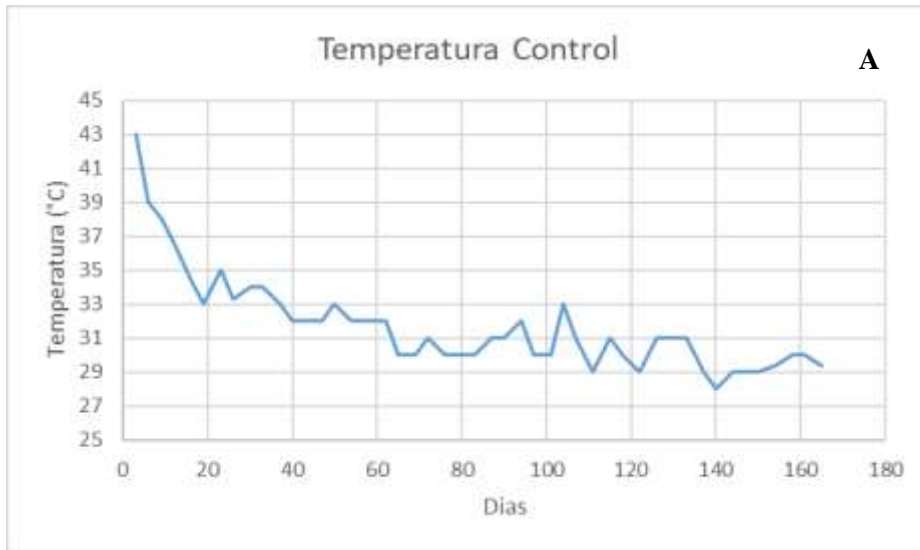
La fase mesófila I de este tratamiento ocurrió en los primeros quince días posterior al montaje, alcanzando temperaturas hasta 40 °C. La etapa termófila en este tratamiento fue muy rápida (43 °C) debido posiblemente a la rápida degradación de los materiales utilizados, observándose además que la reducción del tamaño de partícula era homogéneo. Sin embargo, en este tratamiento se presentó alta humedad, acentuada en el primer mes, pero no tanto como en los tratamientos del plátano, por lo que fue necesario adicionar aserrín (1000 g) (Ver Figura 16) para controlar este factor; luego la fase de enfriamiento del compost presentó temperaturas cercanas a la temperatura ambiente (entre 28 °C y 29,4 °C) y con la reducción de material, se pudo apreciar la fase de maduración de este tratamiento, ver Figura 33A.

En el pH, se observó valores entre neutro y básico (entre 7.07 y 9.5). En la Figura 33 B este parámetro siguió mostrando pH básicos en los últimos meses, entre 8,4 y 9 permaneciendo así hasta el final. Estos valores de basicidad también se pueden atribuir en parte a la presencia de lixiviados, aunque estos se presentaron en menor cantidad.

La CE de este tratamiento fue variable. El valor más alto fue de 2110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  correspondiente al día 31, es decir transcurrido un mes y el valor más bajo de CE fue de 205  $\mu\text{S}/\text{cm}$  hacia el final del proceso. Los valores altos y la variabilidad más marcada de la conductividad se deben posiblemente al alto contenido de humedad que presentó posterior al montaje y la producción de lixiviados, siendo que este mismo comportamiento ocurre con los tratamientos de plátano. Modi *et al.*, 2014 afirman que la conductividad aumenta con el aumento del contenido de humedad porque la humedad contenida en la muestra conduce a la transferencia de calor por conducción, por lo tanto, aumentan los valores de conductividad con el tiempo. (Modi *et al.*, 2014). En general para este tratamiento no podemos afirmar que la conductividad fue baja o constante debido a que estos valores presentaron fluctuaciones desde el inicio del monitoreo hasta el final, tal y como lo muestra la Figura 33C.

El POR tuvo fluctuaciones en sus valores en los primeros dos meses, es decir, que se presentaron valores tanto negativos (entre -7,6 mV y -360,1 mV) como positivos (entre 73,6 mV y 260,5 mV) tal y como se muestra en la Figura 33D. Cabe resaltar que los valores negativos se deben a condiciones reductoras, en las cuales pueden prevalecer compuestos ricos en C, N y celulosa (Wang *et al.*, 2015; Zhu *et al.*, 2021). Pasado los dos primeros meses las reacciones de oxidación tuvieron lugar en el material compostado, arrojando valores positivos.

En general, por el comportamiento presentado en los tratamientos de plátano y en el control, se analiza que la presencia de una alta humedad, afecta varios parámetros fisicoquímicos del proceso de compostaje, observándose mayor variabilidad en los mismos, sin embargo, esto no afecta la degradación de la materia orgánica, ya que tanto las condiciones organolépticas, como la calidad del compost generado fueron adecuadas.



**Figura 33.** Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en el tratamiento control. **A.** Temperatura (°C). **B.** pH. **C.** CE (µS/cm). **D.** POR (mV)

### 7.3. PERDIDA DE BIOMASA EN EL COMPOSTAJE

Los residuos orgánicos son biodegradables y tiene la propiedad de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, dependiendo del porcentaje de lignina, celulosa y hemicelulosa, transformándose en una materia orgánica estabilizada (Vasconcelos et al., 2021). Generalmente los materiales de partida se componen de restos de comida, restos vegetales de origen domiciliario, podas y residuos de la agroindustria. Por esta razón un fenómeno habitual que se produce en el compostaje es la reducción de la masa y del volumen de las mezclas orgánicas conforme avanza el tiempo del proceso. Esto se debe en gran parte a las transformaciones químicas que se generan durante la transformación biológica de la materia orgánica y que liberan a la atmósfera principalmente gases como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y NO<sub>x</sub> (óxido nítrico NO y óxido nitroso N<sub>2</sub>O), u otros similares (Tortosa, 2021a; Dotanhan et al., 2020).

La disminución del peso de los residuos también está relacionada con la pérdida de humedad y la transformación de la materia por parte de microorganismos. La disminución de volumen depende de la naturaleza del sustrato y de los volteos que se realizan durante el proceso, los cuales se recomienda que sea cada 3 o 4 días (Rivas Nichorzon & Silva Acuña, 2020).

Basándonos en la ecuación 1 (ver sección 6.11. pág. 49) (Vasconcelos *et al.*, 2021) podemos calcular el porcentaje de reducción de biomasa de cada uno de los tratamientos, lo cual está representado en la siguiente tabla (Tabla 5):

**Tabla 5.** Pérdida de biomasa durante el proceso de compostaje.

<b>Tratamiento</b>	<b>Peso inicial del tratamiento (Kg)</b>	<b>Peso final del tratamiento (Kg)</b>	<b>Porcentaje de pérdida de biomasa (%)</b>
<b>Control</b>	68	29,05	57,28
<b>Plátano 1</b>	71,5	17,6	75,38
<b>Plátano 2</b>	70	15,63	77,67
<b>Marañón 1</b>	80	44,1	44,87
<b>Marañón 2</b>	80	44,5	44,37
<b>Coco 1</b>	75	55,35	26,2
<b>Coco 2</b>	75	55,51	25,98

El porcentaje de pérdida de biomasa, sugiere que tanto fue la reducción en masa (representada en peso) de los materiales en los tratamientos, comparando el peso inicial con el peso final al aplicar la ecuación; esto se puede observar en la tabla 5. Por tanto, entre mayor sea el porcentaje de pérdida de biomasa, mayor será la reducción de la masa en los tratamientos.

Esta pérdida o transformación de la biomasa en los tratamientos, va a depender del tipo de material compostado, es así como en el caso del control se obtuvo un porcentaje de pérdida de biomasa del 57.28 %, ya que este estaba conformado principalmente por material de hojas secas y verdes de podas y residuos de cocina, que representaban el 68 % del material inicial (ver Tabla 4). Mientras que en el caso de los tratamientos del coco (C1 y C 2) se obtuvo un porcentaje de pérdida de biomasa muy bajo, del 26,2 % y 25,98 % respectivamente, debido

tanto a la complejidad del material (altamente lignocelulósico) como a la dureza del mismo (ver Tabla 3). En cuanto al tratamiento de marañón, se observa un porcentaje de pérdida mayor que el tratamiento de coco, lo cual puede indicar una mayor degradación, inclusive con la presencia de un material tan recalcitrante como la cascara de marañón. Finalmente, el tratamiento del plátano fue el que presentó el mayor porcentaje de pérdida, pasando del 70%, debido principalmente a la rápida degradación y la alta generación de lixiviados.

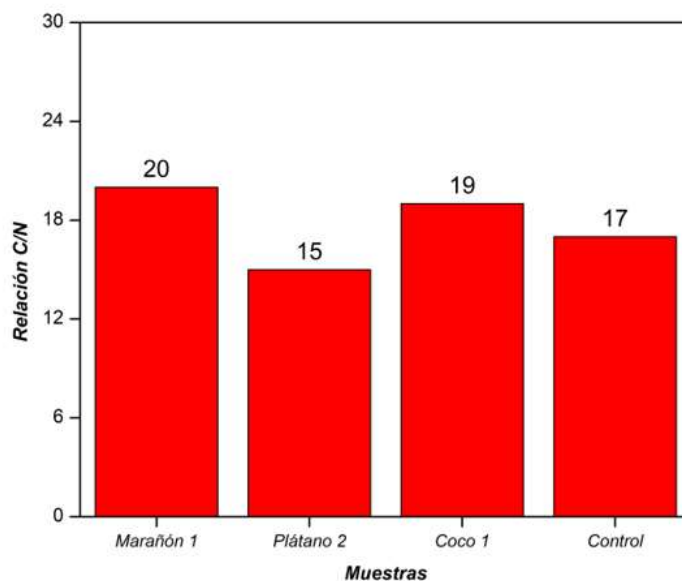
#### 7.4. CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DEL COMPOST

En la siguiente tabla (Tabla 6) se puede observar la caracterización fisicoquímica de cuatro de los tratamientos sólidos (M1, P2, C1 y control). Cada parámetro medido fue hecho bajo el método establecido en la norma NTC-5167, en un laboratorio certificado.

**Tabla 6.** Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos.

DATOS	MUESTRAS			
	Marañón 1	Plátano 2	Coco 1	Control
<b>Humedad (%)</b>	58,5	57,2	69,3	57,9
<b>Ph</b>	7,01	9,64	7,25	8,85
<b>Conductividad eléctrica (dS/m)</b>	4,84	7,45	10,1	9,2
<b>Retención de Humedad (%)</b>	90,7	30,4	118	85,5
<b>Cenizas (%)</b>	4,52	8,9	5,86	11,8
<b>Perdidas por Volatilización (%)</b>	37	33,9	24,8	30,3
<b>CIC (Cmol<sup>+</sup>/kg<sup>-1</sup>)</b>	43,1	45,3	35,4	40,3
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,329	0,521	0,222	0,462
<b>Carbono orgánico oxidable total (%)</b>	13,9	11,7	8,94	11,9
<b>Relación C/N</b>	20	15	19	17
<b>Nitrógeno total (%)</b>	0,681	0,77	0,46	0,707
<b>Nitrógeno orgánico (%)</b>	0,681	0,77	0,46	0,707
<b>Fosforo Total (%)</b>	0,159	0,363	0,16	0,378
<b>Potasio Total (%)</b>	0,727	1,95	1,04	1,28
<b>Calcio Total (%)</b>	0,369	0,705	0,414	0,913
<b>Magnesio Total (%)</b>	0,254	0,3	0,281	0,395
<b>Azufre Total (%)</b>	0,059	0,097	0,076	0,164
<b>Hierro Total (mg/Kg)</b>	499	600	855	0,402
<b>Manganeso Total (mg/Kg)</b>	107	84,2	36	100
<b>Cobre total (mg/Kg)</b>	9,56	10,2	7,41	12,9
<b>Zinc Total (mg/Kg)</b>	21,7	34,7	19,7	36,6
<b>Boro Total (mg/Kg)</b>	20,1	18	16,6	18,1
<b>Sodio Total (%)</b>	0,065	0,082	0,177	0,135
<b>Silicio Total (%)</b>	1,83	5,67	1,82	5,96
<b>Residuo insoluble en Acido (%)</b>	1,85	5,72	1,83	6,01

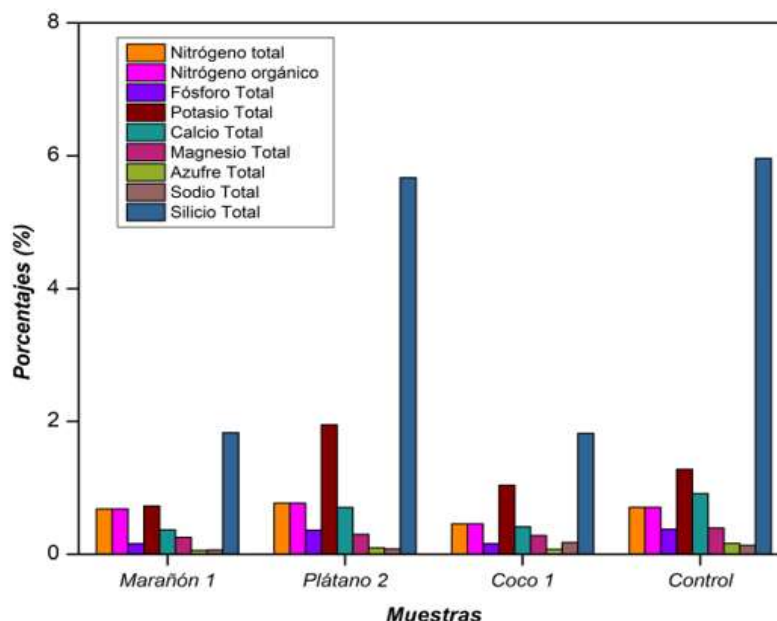
Para una mejor apreciación y análisis comparativos de los resultados (presentados en la Tabla 6) entre tratamientos, se agruparon los parámetros fisicoquímicos y se les realizó un histograma como se puede ver a continuación:



**Figura 34.** Histograma de la relación carbono/ nitrógeno de los tratamientos.

Según la Norma Técnica Colombiana (NTC-5167), el contenido límite de la relación C/N es máximo de 25 (valor dimensional) por tanto todas las muestras presentadas cumplen con lo establecido por esta (ICONTEC, 2022).

De la figura anterior (Figura 34) se puede observar, que tanto plátano 2 como control presentan el menor cociente C/N, mientras que marañón y coco 1 presentan cocientes más altos. Debido a que la determinación de la relación entre el carbono y el nitrógeno se emplea usualmente para establecer el grado de descomposición de la materia orgánica, cuanto más bajo sea el cociente C/N, más mineralizada estará la materia orgánica del material, y en consecuencia ésta será más estable (Masaguer Rodríguez *et al.*, 2015). Estas diferencias también reflejan una menor degradación en los compost generados a partir de los cultivos de coco y marañón, debido a la complejidad, representada en mayor concentración de lignocelulosa y dureza de los materiales de partida, lo cual sugiere, además, que estos requieren de un mayor tiempo de proceso.



**Figura 35.** Histograma de los nutrientes y algunos minerales de los tratamientos.

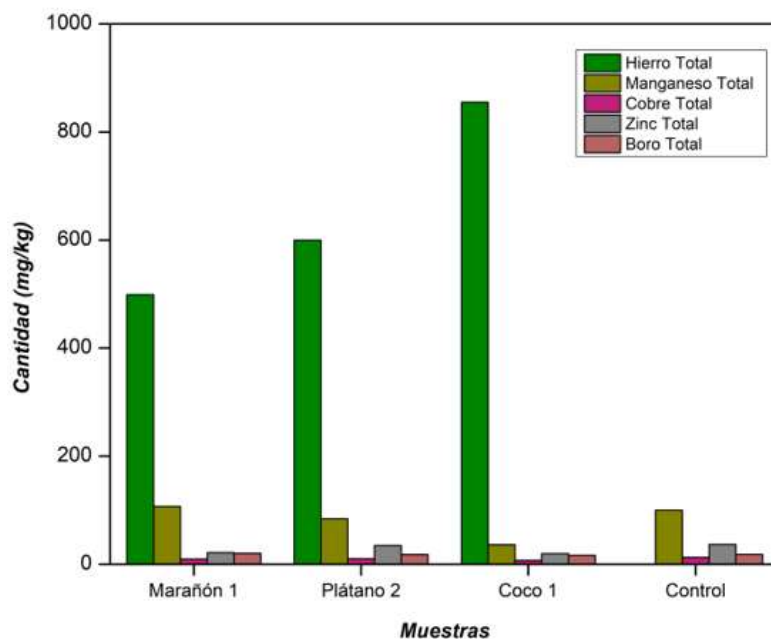
La Figura 35 muestra los porcentajes de elementos macronutrientes (N, P, K) y otros de importancia para las plantas. El Nitrógeno total y orgánico fueron muy similares tanto para marañón, plátano y control (entre 0.68 % y 0.77 %), mientras que para coco el valor es menor (0.46 %), pudiendo este último resultado estar relacionado tanto con la naturaleza del material predominante en el tratamiento coco, como con una menor degradación de su biomasa. Aunque ninguno de ellos alcanzó el mínimo requerido por la norma NTC- 5167 (1 %), algunos tratamientos estuvieron cerca de cumplirla (principalmente plátano). En general, este resultado indica que hubo pérdidas de este elemento en el proceso de compostaje. Este se pierde principalmente en forma de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{N}_2$  durante el compostaje (Liu *et al.*, 2012; Tortosa, 2021a; Dotanhan *et al.*, 2020). En el compost las moléculas orgánicas que contienen nitrógeno sufren dos tipos de reacciones de transformación: la primera de ellas da lugar al amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) que se transforma fácilmente en amoníaco, un gas que se libera a la atmósfera cuando el pH del compost se alcaliniza y la segunda genera nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), dos aniones también muy reactivos y móviles que se pueden convertir en los gases óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) mediante la reacción de la desnitrificación (Tortosa, 2021b). De otro lado, la pérdida de nitrógeno también es el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores del ambiente y el manejo de parámetros tales como, temperatura, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, viento, tensión de vapor superficial, entre otros, (Ferraris & Couretot, 2008), los cuales pudieron también intervenir en los compostajes.

Del Fósforo total, se puede observar que los valores para cada tratamiento son menores al 1% lo cual no cumple con la norma NTC- 5167, una de las causas para que esto suceda es la baja concentración de fósforo en los cultivos donde se hizo la recolecta de estos, ya que la disponibilidad de P para las plantas está relacionada con su concentración en la solución del suelo (Galindo Castro *et al.*, 2018).

Los valores de potasio si cumplieron con la norma, presentando valores entre 1.04 % y 1.95 %, a excepción del tratamiento de marañón (0.73 %). Cómo era de esperarse, el tratamiento de plátano fue el que reportó una mayor concentración. Este resultado es positivo, una vez que este macronutriente es fundamental para un abono orgánico de calidad, además, que se encuentra literatura de trabajos en los que se ensayan procedimientos para incrementar el contenido total de potasio para mejorar las propiedades agrícolas de los compost (Tortosa, 2018).

En cuanto al Magnesio, Azufre y Sodio, sus concentraciones dependen del material de partida, por lo que se puede inferir que la cantidad de estos elementos no se encontraba en gran proporción en ninguno de los materiales con los que se realizó el proceso. Se destaca la baja concentración de sodio, la cual es positivo ya que este elemento contribuye en el desequilibrio de la salinidad de los suelos (Galindo Castro *et al.*, 2018).

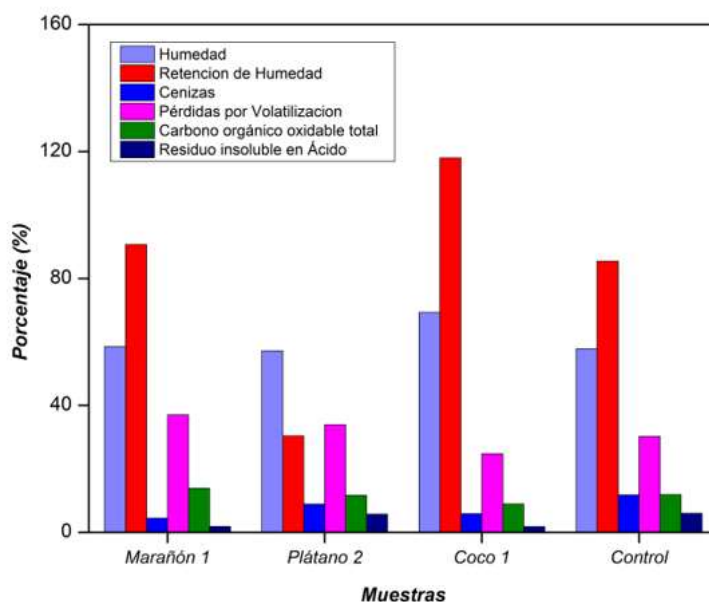
Del Silicio, se puede analizar, que tanto para marañón y coco se encuentra en proporciones menores en comparación con plátano y control, lo cual se le atribuye a que, aunque la cantidad de cascarilla de arroz adicionada fue la misma para cada tratamiento, hay que tener en cuenta que el control y el plátano se redujeron en mayor proporción y por tanto la cascarilla queda más expuesta en dichos tratamientos ya que en comparación con los otros materiales demora mucho más tiempo en degradarse, mientras que, para marañón y coco es menor debido a que este elemento (contenido en la cascarilla de arroz) se incorpora en la mezcla con los demás materiales menos degradados de estos tratamientos.



**Figura 36.** Histograma de algunos metales de los tratamientos.

En la Figura 36 se muestra que la concentración del Hierro en las muestras del marañón, plátano y coco es alta y que en control no se presenta esta característica, debido posiblemente a que este no presenta materiales que contengan Hierro en cantidades significativas. Además, cada tratamiento supone un beneficio al ser usado como abono ya que el Hierro en las plantas es un microelemento esencial para su desarrollo. Su papel es clave porque interviene en la síntesis de la clorofila y participa en otros procesos enzimáticos y metabólicos sin los cuales las plantas no pueden llevar a cabo su ciclo vital (Seipasa, 2021).

El Manganeso, Cobre, Zinc, Boro, aunque se encuentran en concentraciones más bajas comparadas con el Hierro, también presentan valores adecuados en cada uno de los tratamientos, siendo que los compost generados se pueden usar como un buen fertilizante para las plantas, Buechel, 2022b afirma que cada uno de estos elementos cumplen funciones específicas en las plantas y éstas lo utilizan en bajas proporciones, como por ejemplo el manganeso, el cual juega un papel importante en el proceso de fotosíntesis (Buechel, 2022b).



**Figura 37.** Histograma de algunos parámetros fisicoquímicos.

En la Figura 37 se observa que los porcentajes de humedad de todas las muestras es mayor al establecido por la norma NTC- 5167 el cual es 25%, esto se debe a que la humedad reduce la oxigenación del compost. Un exceso de agua provoca anaerobiosis (sin oxígeno), no deseable para el compostaje al ser este un proceso aeróbico. Existen muchas formas de modular la humedad en el compost, como el volteo periódico o la adición de un estructurante que absorba el exceso de agua como el aserrín. Este material es compostable siempre y cuando no lleven barnices ni impresiones que incorporarían otras sustancias perjudiciales para el preparado orgánico. Para elaborar un buen compost es necesario mantener en equilibrio la relación entre el nitrógeno y el carbono, el aserrín hace un aporte importante de este último. Hay que tener en cuenta que su descomposición es más lenta que la de otros

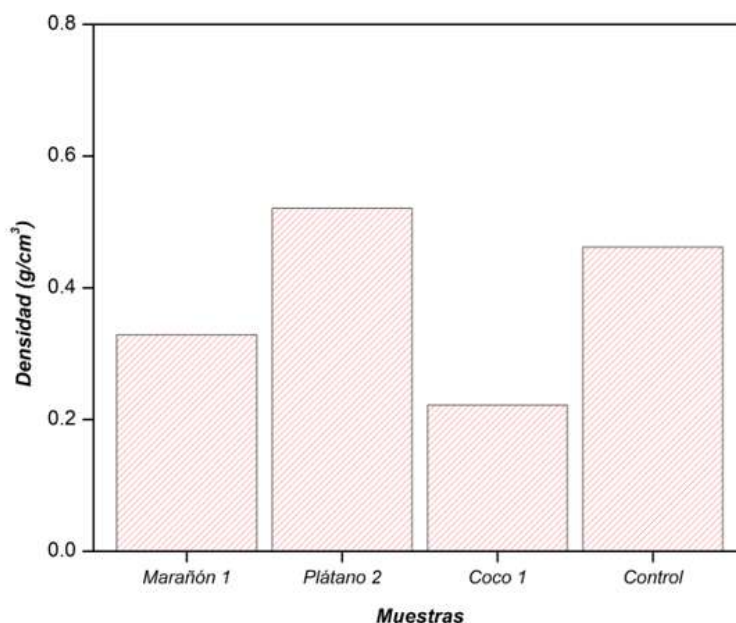


materiales y que se caracterizan por ser absorbentes, pueden acidificar, y por eso es aconsejable usarlos para el compost en pequeñas cantidades. O si se incorpora más cantidad, compensar evitando sumar muchas hojas secas o paja que son otros materiales secos (Tortosa, 2018). De otro lado, se considera que otra forma también efectiva de bajar la humedad, es someter el compost a radiación solar directa, lo cual, además de ser un procedimiento fácil de realizar, no acarrea ningún costo adicional en el proceso.

La retención de humedad del marañón, control y plátano se encuentran dentro del rango aceptable por la norma NTC- 5167 ( $< 100\%$ ), sin embargo, el porcentaje de plátano es muy bajo en comparación al resto, de acuerdo con Zapata *et al.*, 2005 puede influenciar en una menor capacidad de este compost para liberar el agua absorbida (Zapata *et al.*, 2005). Coco presenta un valor un poco mayor a  $100\%$ , el cual supera lo establecido por la norma.

El contenido de cenizas en todos los tratamientos estuvo en un rango de  $4.5\%$  a  $12\%$  por lo que cumplieron con lo recomendado por la NTC- 5167 ( $< 60\%$ ). El porcentaje de ceniza indica la presencia de minerales en general y supone estar en menos del  $5\%$  de la materia seca. Los minerales y el agua son componentes que no se pueden oxidar para obtener energía, por esta razón no deben superar lo recomendado por la norma. (ICONTEC, 2022)

El Carbono Orgánico Total (COT) engloba la suma de todos los compuestos orgánicos presentes en la muestra, y como parámetro sumatorio aporta una medida rápida y precisa de su concentración. En función de las condiciones externas, una mayor concentración de compuestos orgánicos puede facilitar el crecimiento microbiano, pero a la vez, favorecer la formación de otros subproductos no deseados e incluso tóxicos (Kappe, 2015). El Carbono oxidable de los tratamientos cumple con lo establecido por la norma NTC- 5167 ( $< 15\%$ ), lo cual es útil para el crecimiento estable de plantas y cultivos agrícolas según Zapata *et al.*, 2005.



**Figura 38.** Histograma de la densidad de cada tratamiento.

La determinación de la densidad aparente de las partículas que componen un abono brinda información sobre la relación entre la masa o peso de las partículas y el volumen que ocupan. De acuerdo con Miguel Martínez *et al.*, 2018 se ha establecido que la disminución del tamaño de partículas provoca un incremento en la densidad aparente de los sustratos y, en el caso de compostas sería una consecuencia de la fragmentación y descomposición del material biológico durante su obtención. (Miguel Martínez *et al.*, 2018)

En la Figura 38 se puede observar que los tratamientos marañón y coco poseen una densidad menor que la de los tratamientos plátano y control, esto debido a que el material no se ha llegado a descomponer totalmente (tratamientos marañón y coco) y, por tanto, hay una menor reducción de volumen con respecto al de los otros dos tratamientos. Sin embargo, todos cumplen con la norma, que establece el valor máximo de 0.6 g/cm<sup>3</sup>. (ICONTEC, 2022)

En cuanto al pH, todos los compost cumplen con la norma legal debido a que el rango de valores es de 4 y valor máximo de 9 (ICONTEC, 2022). Sin embargo, el tratamiento de plátano presenta el valor por encima del máximo (9.64) y aunque se sale del valor óptimo, una de las recomendaciones del uso de este compost sería para la recuperación de suelos altamente ácidos. La conductividad eléctrica cumple con la norma legal para los tratamientos de marañón y plátano, ya que el valor de la conductividad debe ser menor de 8 dS/m (Rivas Nichorzon & Silva Acuña, 2020), pero, aunque para control y coco no se cumple con el valor límite (entre 9.2 y 10.1 dS/m). En general, un aumento de la conductividad puede ser causado por el aumento de la concentración de nitrato o nitrato producido a partir de un abundante nitrógeno amoniacal oxidado por microorganismos fijadores de nitrógeno, junto con la concentración de sales solubles en agua debido a la evaporación del agua en la pila según Wei *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2019.

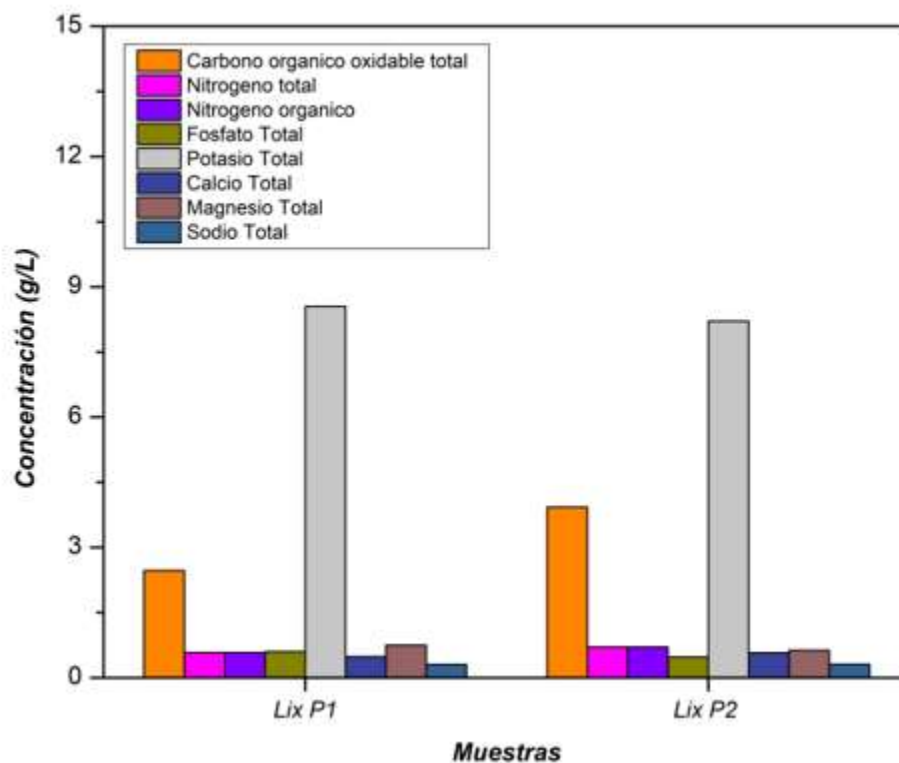
En la siguiente tabla (Tabla 7) se puede observar la caracterización fisicoquímica de 2 tratamientos líquidos (Lixiviados de P1 y P2). Cada parámetro medido fue hecho bajo el método establecido en la norma NTC-5167, en el laboratorio de Agrilab

**Tabla 7.** Caracterización y composición de materiales orgánicos líquidos.

DATOS	MUESTRAS	
	Lix P1	Lix P2
<b>Ph</b>	8,88	9,22
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,01	1,01
<b>Conductividad eléctrica 1:10 (dS/m)</b>	0,365	0,358
<b>Carbono orgánico oxidable total (g/L)</b>	2,47	3,93
<b>Solidos insolubles (g/L)</b>	17,9	33
<b>Nitrógeno total (g/L)</b>	0,581	0,706
<b>Nitrógeno orgánico (g/L)</b>	0,581	0,706
<b>Fosfato Total (g/L)</b>	0,601	0,476

<b>Potasio Total (g/L)</b>	8,55	8,21
<b>Potasio soluble (g/L)</b>	8,48	8,13
<b>Calcio Total (g/L)</b>	0,486	0,576
<b>Magnesio Total (g/L)</b>	0,749	0,632
<b>Azufre Total</b>	*	*
<b>Hierro Total (mg/L)</b>	15,1	30,2
<b>Manganeso Total (mg/L)</b>	6,56	10,1
<b>Cobre Total (mg/L)</b>	*	*
<b>Zinc Total (mg/L)</b>	*	3
<b>Boro Total (mg/L)</b>	11,7	13,1
<b>Sodio Total (g/L)</b>	0,305	0,311

Las siguientes figuras, de la 39 a la 41, se realizaron para facilitar el análisis de los resultados de los lixiviados generados en el tratamiento del plátano.

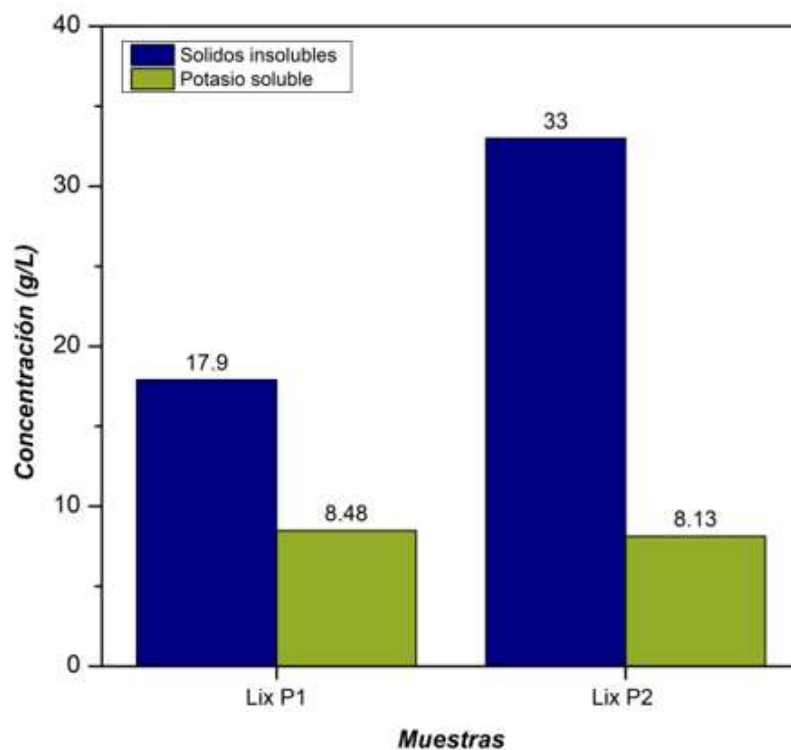


**Figura 39.** Histograma de los parámetros fisicoquímicos las muestras de lixiviado generados en los tratamientos P1 y P2.

En la figura anterior (Figura 39), se encuentran representadas las concentraciones de distintos elementos químicos presentes en los lixiviados generados en los dos tratamientos de plátano, en los cuales no hay una gran diferencia entre los dos tratamientos. Sin embargo, el parámetro de Carbono oxidable total de ambos, no cumple con lo establecido por la norma NTC- 5167

(mínimo 20 g /L), esto se le alude a que no se logró solubilizar una mayor cantidad de Carbono mientras se llevó a cabo la etapa de lixiviación, posiblemente porque el tiempo en el cual se generaron los lixiviados (primeras dos semanas de compostaje), fue muy corto para alcanzar una adecuada solubilización, en general de todos los elementos.

La sumatoria de las concentraciones de nitrógeno total, Fósforo y Potasio totales según la norma NTC- 5167 debe ser mínimo a 40 g/L. para el lixiviado de P1 la sumatoria de estas es de 9.732 g/L, y para P2 es de 9.392 g/L, lo cual nos indica que esta por fuera del valor establecido, pudiendo influenciar tanto el poco tiempo del proceso de compostaje, como una baja concentración de estos en el material de partida y la obtención temprana de estos lixiviados, ya que estos se produjeron a los once días posterior al montaje de los tratamientos.

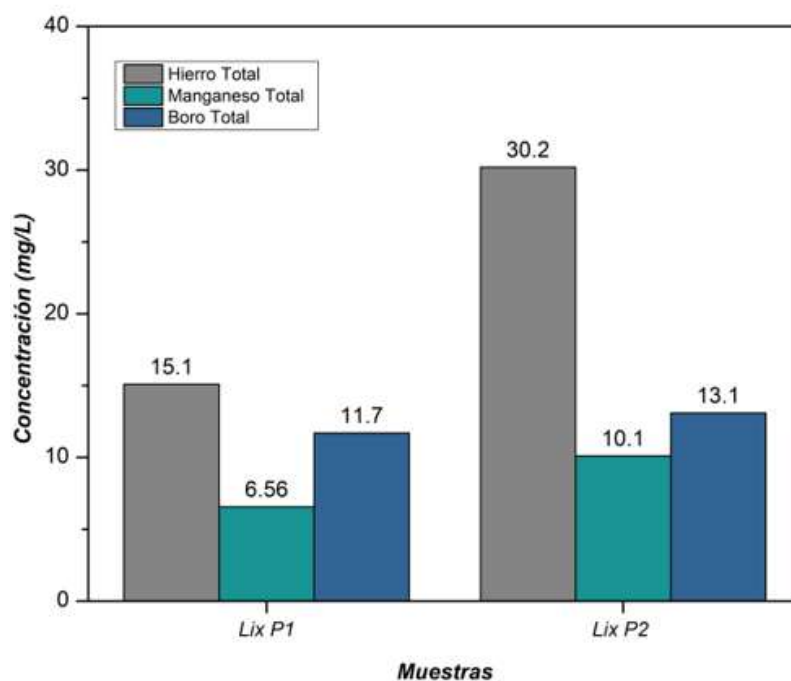


**Figura 40.** Histograma de sólidos insolubles y potasio soluble.

Los lixiviados contienen material suspendido que incluye sólidos que pueden sedimentar en reposo, o sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad. En la Figura 40 se puede observar que el lixiviado P1 presentó una menor concentración de sólidos insolubles comparado con el del lixiviado P2, con una diferencia significativa. En los coloides cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan partículas vecinas. Puesto que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos, las partículas no sedimentan, influenciando el contenido de sólidos insolubles. Las especies coloidales presentes en los lixiviados incluyen arcillas, sílice, hierro, metales pesados y sólidos orgánicos. Los lixiviados

contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión y ambas pueden ser orgánicas e inorgánicas (Martinez, 2018).

El Potasio es el tercero de los macronutrientes (junto al N y al P) esencial para las plantas, el cual es absorbido por las mismas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el N y, a veces por el Ca. Además, es el responsable de modificar varios parámetros relacionados con la calidad de los cultivos y plantas. Asimismo, aunque se encuentra presente en grandes cantidades en los suelos, sólo un pequeño porcentaje está disponible para la absorción de las plantas. El Potasio soluble es el que está disponible para las plantas y se encuentra presente en la solución del suelo en pequeñas concentraciones comprendidas entre 0,1 a 1000 ppm, siendo renovado constantemente. Por esta razón, la concentración adecuada de este elemento se hace necesario en un fertilizante. En la Figura 40 podemos observar que la cantidad de Potasio soluble es alta y al encontrarse de forma líquida, adquiere un valor agregado, de acuerdo a Álvaro G. J, 2019 puede ser usado tanto para fertilizar el suelo, como también ser un fertilizante foliar y así ayudar al crecimiento adecuado de las plantas (Alvaro G.J, 2019).



**Figura 41.** Histograma de micronutrientes presentes en los lixiviados generados en los tratamientos P1 y P2.

En la Figura 41 se puede notar la concentración de Hierro, Manganeseo y Boro en las muestras de lixiviados, los cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas. Como por el ejemplo, el Boro se usa con Calcio en la síntesis de las paredes celulares y es esencial para la división celular (creación de células de plantas nuevas). Los requerimientos de Boro son mucho más altos para el crecimiento reproductivo, por lo que ayuda con la polinización y el desarrollo de frutas y semillas (Buechel, 2022c).

En general, tanto los compost obtenidos como los lixiviados se pueden usar como fertilizantes para el suelo, para suministrar a las plantas los nutrientes que necesitan, aunque

los tratamientos de marañón y coco requieren más tiempo del proceso. Las principales diferencias en los abonos radican en la forma de aplicación y la velocidad de liberación de nutrientes de los mismos. Dependiendo del nutriente, de las necesidades concretas de las plantas o cultivos y de la facilidad para su aplicación según los medios y tiempo con que se cuente, se optará por unos u otros compost (Luque, 2018).

## 7.5. ANALISIS ESTADISTICO

### 7.5.1. Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Para este análisis estadístico se midió la contribución de cada tratamiento experimental, como A: Tipo de muestra de biomasa con respectivo control, y B: la Categorización de las muestras como bloque 1 y 2 (representado en réplica 1 y 2), a partir del estadístico *p-valor* con significancia del 0,05 implementando la siguiente matriz experimental (Tabla 8).

**Tabla 8.** Matriz experimental de los diferentes tratamientos de compostaje.

Bloque 1				
Tratamientos	pH	Temperatura °C	POR mV	CE μS/cm
Marañón	7.85	32.2	160.9	102
Marañón	7	31.1	242.6	247
Marañón	7.03	32.2	233.2	105
Plátano	9.43	27.8	157.5	166
Plátano	9.5	30	125.5	202
Plátano	9.51	27.8	158.1	238
Coco	8.02	30.5	199.5	196
Coco	7.4	31	193.7	179
Coco	7.5	30.5	210.6	275
Control	8.68	29.4	145	209
Control	8.6	30	230	161
Control	8.57	29.4	197.8	381
Bloque 2				
Tratamientos	pH	Temperatura °C	POR mV	CE μS/cm
Marañón	7.6	32.2	135.1	264
Marañón	6.7	32.2	216.5	218
Marañón	6.65	32.2	231.7	163
Plátano	9.6	29.4	163.1	179
Plátano	9.6	27.8	110	294
Plátano	9.57	29.4	193.4	226
Coco	7.83	32.2	101.3	174
Coco	7.1	29	182.6	142
Coco	7.13	32.2	223	256
Control	8.68	29.4	145	209
Control	8.6	30	230	161
Control	8.57	29.4	197.8	381

Esta matriz experimental es un diseño de bloques completamente al azar, siendo los bloques las réplicas de los tratamientos. Este diseño implica que, en cada bloque hay una sola observación de cada tratamiento (parámetros fisicoquímicos, correspondiendo los valores a las tres últimas medidas de los mismos al final del proceso). El orden en que se corrieron los tratamientos dentro de cada bloque es aleatorio. Al tener un *p-valor* de 0.05 de significancia, cabe resaltar que, si este valor es menor del referente en el modelo estadístico, quiere decir que existe diferencias significativas, por el contrario, si el valor es mayor, no existe diferencias significativas. Para cada parámetro se tiene el siguiente análisis:

### 7.5.2. pH

**Tabla 9.** ANOVA para pH.

Tabla ANOVA para pH					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Muestras	21.4656	3	7.15521	74.95	0.0000
B: BLOQUE	0.0888167	1	0.0888167	0.93	0.3469
RESIDUOS	1.81388	19	0.0954675		
TOTAL	23.3683	23			

El análisis ANOVA (Tabla 9) muestra que el efecto del tipo de biomasa y control, reportan una fuerte variabilidad de la variable de respuesta, pero por su parte, la categoría de muestra (ósea las réplicas 1 y 2 en cada tratamiento) no muestra un efecto significativo, según el estadístico *p*.

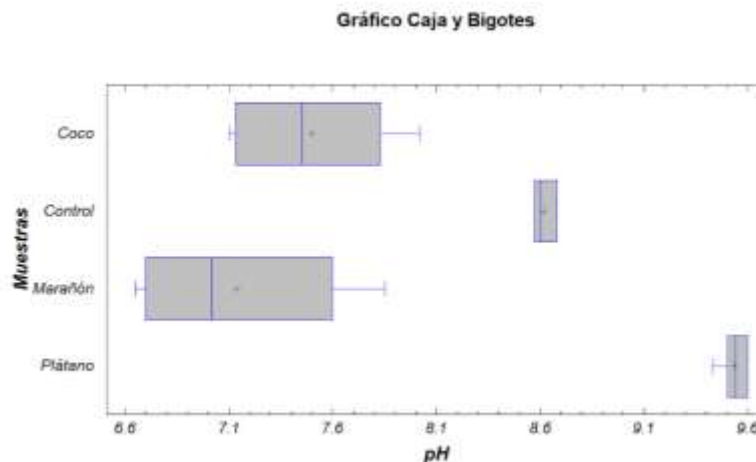
Dado que existe un efecto significativo entre los tratamientos, la Tabla 10 muestra la comparación entre los tratamientos.

**Tabla 10.** Pruebas de comparación de muestras para pH.

Comparación	Sigma 1	Sigma 2	F-Valor	P-Valor	Observaciones
<b>Coco / Control</b>	0.3704	0.0509	53.0515	0.0005	Significante
Coco / Marañón	0.3704	0.4860	0.580936	0.5657	No significativa
<b>Coco / Plátano</b>	0.3704	0.0672	30.4272	0.0019	Significante
<b>Control / Marañón</b>	0.0509	0.4860	0.0109504	0.0001	Significante
Control / Plátano	0.0509	0.0672	0.57354	0.5566	No significativa
<b>Marañón / Plátano</b>	0.4860	0.0672	52.3762	0.0005	Significante

Las diferencias significativas entre algunos tratamientos (*p-valor* menor a 0.05) visualizados en la Tabla 10, se atribuyen principalmente a las diferencias de pH entre los tratamientos, ya que estos presentan valores altos. Es así como para el caso de Coco comparado con el Control, los valores de pH presentan diferencias significativas. Igual ocurre al comparar los pH del Coco con el Plátano, el Control con el Marañón y finalmente el Marañón con el Plátano. Para estos resultados influyen factores, tales como los lixiviados de Plátano y Control, ya que estos presentan pH básicos (por encima de 8) y la composición de cada residuo utilizado en los tratamientos. Por otro lado, los tratamientos que no representan diferencias significativas (*p-*

valor mayor a 0.05) tales como Coco/Marañón y Control/Plátano, esto se debe a la similitud de valores de pH entre ellos. En la Figura 42, se muestra la representación de las comparaciones entre los tratamientos a través de un gráfico caja y bigotes.



**Figura 42.** Gráfico caja y bigotes correspondientes al pH.

En el gráfico de esta Figura 42, se visualiza cada tratamiento en función del pH. Se muestra la similitud y la relación que existe entre las comparaciones de Coco/Marañón y Control/Plátano, siendo que cada par se agrupa en regiones diferentes y distantes entre sí. Para los tratamientos marañón y coco vemos que el extremo inferior corresponde al valor mínimo (bigote menor) de pH de cada uno de ellos (6.65 para marañón y 7.1 para coco), en el primer cuartil (mitad menor de la caja y lado izquierdo del gráfico). El segundo cuartil (mediana) corresponde a valores de 7.03 para marañón y 7.4 para coco. El tercer cuartil (mitad mayor de la caja) abarca valores 7.6 para marañón; para coco valores de 7.5 y 7.83. El extremo superior corresponde al valor máximo (bigote mayor) de pH (7.85 para coco y 8.02 para coco). Por el contrario, en los tratamientos plátano, se visualiza el bigote menor (valor de 9.43), pero no se visualiza el bigote mayor. Sin embargo, se muestran los tres cuartiles correspondientes al gráfico, el primer cuartil cuyos valores son de 9.5 y 9.5, la mediana cuyo valor es de 9.57 y el tercer cuartil con valor de 9.6. Finalmente, el tratamiento control no muestra el bigote mayor y menor (debido a que este tratamiento no tiene réplicas y por lo tanto presentan los mismos valores en los bloques 1 y 2); al visualizar lo tres cuartiles, el primer cuartil con valor de 8.57, la mediana con valor de 8.6 y el tercer cuartil con valor de 8.68. Cabe resaltar que la representación de los tratamientos de este diagrama combina los valores correspondientes a las réplicas (bloques) en una recta numérica, en el cual podemos visualizar el comportamiento de un tratamiento con respecto a otro.

Del mismo modo se realiza el análisis con los demás parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad y POR).

### 7.5.3. Temperatura

**Tabla 11.** ANOVA para temperatura.



Tabla ANOVA para Temperatura					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Muestras	38.1413	3	12.7138	18.03	0.0000
B: BLOQUE	0.510417	1	0.510417	0.72	0.4055
RESIDUOS	13.3979	19	0.705154		
TOTAL	52.0496	23			

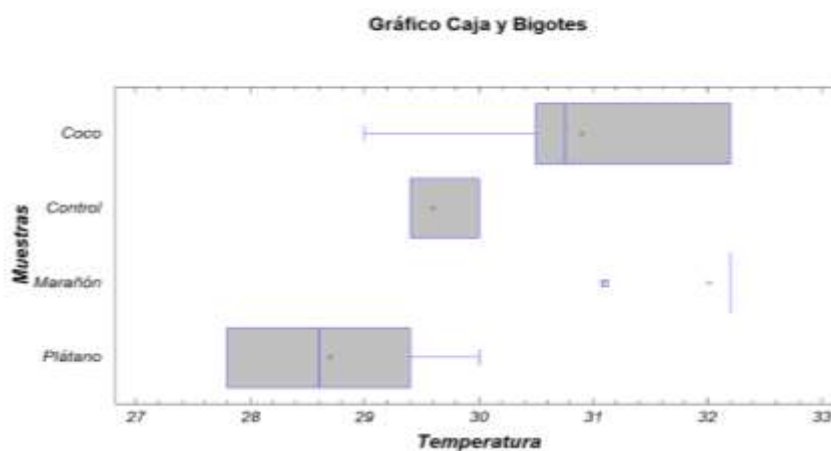
El análisis ANOVA muestra que el efecto del tipo de Biomasa y control, reportan una fuerte variabilidad de la variable de respuesta, pero por su parte, la categoría de muestra (1 y 2) no muestra un efecto significativo, según el estadístico  $p$ .

Dado que existe un efecto significativo entre los tratamientos, la Tabla 12 muestra la comparación entre los tratamientos.

**Tabla 12.** Pruebas de comparación de muestras para temperatura.

Comparación	Sigma 1	Sigma 2	F-Valor	P-Valor	Observaciones
<b>Coco / Control</b>	1.2100	0.3098	15.2500	0.0095	Significante
<b>Coco / Marañón</b>	1.2100	0.4491	7.2595	0.0484	Significante
Coco / Plátano	1.2100	1.0100	1.4353	0.7014	No significativa
Control / Marañón	0.3098	0.4491	0.4760	0.4346	No significativa
<b>Control / Plátano</b>	0.3098	1.0100	0.0941	0.0214	Significante
Marañón / Plátano	0.4491	1.0100	0.1977	0.0997	No significativa

En lo referente a la temperatura, la significancia para las comparaciones Coco/Control, Coco/Marañón y Control/Plátano, se aluden a las similitudes de estos valores, debido a factores como la degradación de los tratamientos, condiciones climáticas y la composición de los residuos. En la Figura 43, se muestra la representación de las comparaciones entre los tratamientos a través de un gráfico caja y bigotes.



**Figura 43.** Gráfico de caja y bigotes correspondiente a temperatura.

En este gráfico, para los tratamientos de marañón no se visualizan los bigotes y cajas mayor y menor, pero si se muestra la línea media (32 ° C) la cual es el valor máximo y un punto antes de la línea media que refleja el valor mínimo (31.1 ° C). Para los tratamientos de coco visualizamos el bigote menor (29 °C), pero no se visualiza el bigote mayor, sin embargo, se

muestran los tres cuartiles; el primer cuartil cuyo valor es de 30.5 °C, la mediana con valor de 31 °C y el tercer cuartil cuyo valor es de 32.2 °C. Para los tratamientos del plátano, no se visualiza el bigote menor, pero si se visualiza los cuartiles, el primer cuartil con valor de 27.8 °C, la mediana (28.6 °C), el tercer cuartil, cuyo valor es de 29.4 °C y el bigote mayor con valor de 30 °C. Por último, para el tratamiento control se visualiza una sola caja (valores iguales en los bloques 1 y 2) la cual comienza con valor de 29.4 °C y finaliza con un valor de 30 °C. Estos resultados, están directamente relacionados a una variabilidad entre los datos de temperatura de cada tratamiento, en las tres últimas medidas registradas en el proceso de compostaje (ver Tabla 8).

#### 7.5.4. Potencial de Oxido-Reducción (POR)

**Tabla 13.** ANOVA para POR.

Tabla ANOVA para POR					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Muestras	8924.47	3	2974.82	1.86	0.1702
B: BLOQUE	650	1	650	0.41	0.5311
RESIDUOS	30349.1	19	1597.32		
TOTAL	39923.5	23			

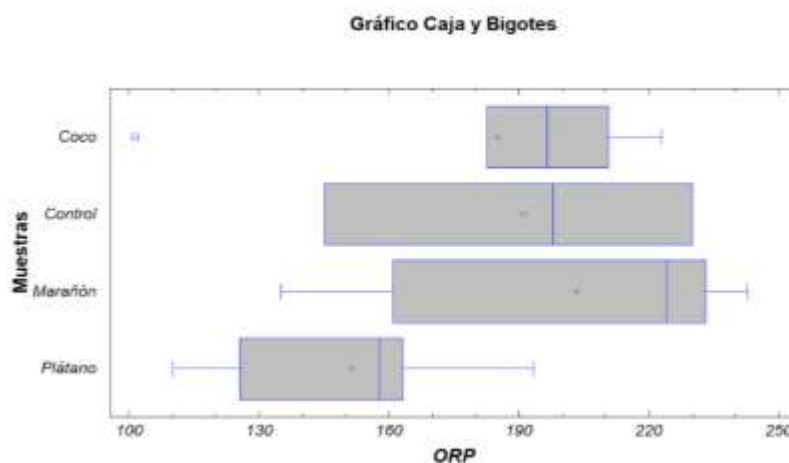
El análisis ANOVA muestra que el efecto del tipo de Biomasa y control, ni la categoría (1 y 2), no muestra un efecto significativo en la variable de respuesta, según el estadístico *p*.

Dado que no existe un efecto significativo entre los tratamientos, la Tabla 14 muestra la comparación entre los tratamientos.

**Tabla 14.** Pruebas de comparación de muestras para POR.

Comparación	Sigma 1	Sigma 2	F-Valor	P-Valor	Observaciones
Coco / Control	43.3513	38.3835	1.2756	0.7959	No significativa
Coco / Marañón	43.3513	44.4259	0.952208	0.9585	No significativa
Coco / Plátano	43.3513	29.5556	2.15142	0.4203	No significativa
Control / Marañón	38.3835	44.4259	0.746477	0.7562	No significativa
Control / Plátano	38.3835	29.5556	1.68659	0.5802	No significativa
Marañón / Plátano	44.4259	29.5556	2.2594	0.3919	No significativa

Al no presentarse diferencias significativas entre los tratamientos, en la Figura 44 se representa mediante un gráfico de caja y bigotes las comparaciones entre los tratamientos.



**Figura 44.** Gráfico de caja y bigotes para POR

Para los tratamientos de marañón se presentan el bigote menor (135.1 mV) y mayor (242.6 mV), el primer cuartil cuyo valor es de 160.9 mV hasta 216.5 mV, la mediana cuyo valor es de 231.7 mV y el tercer cuartil cuyo valor es de 233.2 mV. Para los tratamientos de coco, se observa que la gráfica no presenta bigote menor, pero si presenta un punto que indica el valor mínimo (101.3 mV) presenta los cuartiles, el primer cuartil (182.6 mV y 193.7 mV), la mediana cuyo valor es de 199.5 mV, el tercer cuartil cuyo valor es de 210.6 mV y el bigote mayor (223 mV). Para los tratamientos de plátano se presentan el bigote menor (110 mV) y mayor (193.4 mV), el primer cuartil cuyo valor es de 125.5 mV hasta 157.5 mV, la mediana cuyo valor es de 158.1 mV y el tercer cuartil cuyo valor es de 163.1 mV. Para el tratamiento control, se visualiza que no presenta bigotes debido a la igualdad de valores en ambos bloques al no presentar replicas, sin embargo, se presentan los tres cuartiles; el primer cuartil cuyo valor es de 145 mV, la mediana cuyo valor es de 197.8 mV y el tercer cuartil que es de 230 mV. En este caso, igual que para la temperatura, los resultados están relacionados con la alta variabilidad de los valores de POR en las tres últimas medidas registradas en el proceso de compostaje (ver Tabla 8).

### 7.5.5. Conductividad eléctrica (CE)

**Tabla 15.** ANOVA para conductividad eléctrica (CE)

Tabla ANOVA para CE					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Muestras	14336.3	3	4778.78	0.9	0.4581
B: BLOQUE	1768.17	1	1768.17	0.33	0.5701
RESIDUOS	100581	19	5293.73		
TOTAL	116685	23			

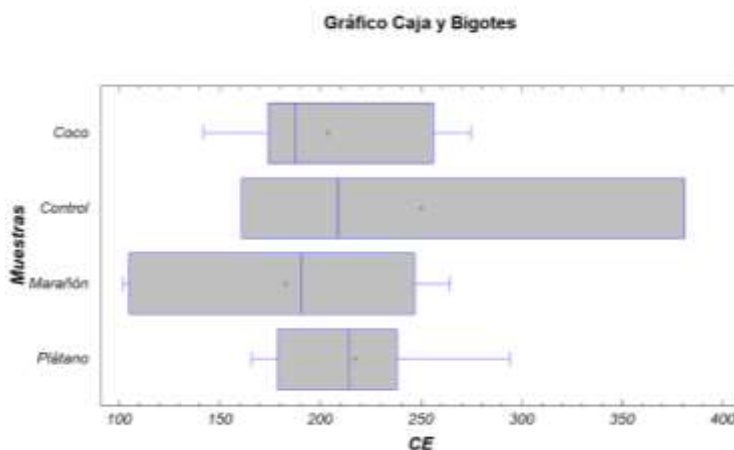
El análisis ANOVA muestra que el efecto del tipo de Biomasa y control, ni la categoría (1 y 2), no muestra un efecto significativo en la variable de respuesta, según el estadístico *p*.

Dado que no existe un efecto significativo entre los tratamientos, la Tabla 16 muestra la comparación entre los tratamientos.

**Tabla 16.** Pruebas de comparación de muestras para POR

Comparación	Sigma 1	Sigma 2	F-Valor	P-Valor	Observaciones
Coco / Control	51.3368	103.465	0.246189	0.1502	No significativa
Coco / Marañón	51.3368	70.6071	0.52864	0.5011	No significativa
Coco / Plátano	51.3368	46.3023	1.22929	0.8263	No significativa
Control / Marañón	103.465	70.6071	2.1473	0.4214	No significativa
Control / Plátano	103.465	46.3023	4.99327	0.1022	No significativa
Marañón / Plátano	70.6071	46.3023	2.32537	0.3758	No significativa

Al no presentarse diferencias significativas entre los tratamientos, en la Figura 45 se representa mediante un gráfico de caja y bigotes las comparaciones entre los tratamientos.



**Figura 45.** Gráfico de caja y bigotes para CE

Finalmente, para la conductividad eléctrica, para los tratamientos de marañón se presentan el bigote menor ( $102 \mu\text{S/cm}$ ) y mayor ( $264 \mu\text{S/cm}$ ), el primer cuartil cuyo valor es de  $105 \mu\text{S/cm}$  hasta  $163 \mu\text{S/cm}$ , la mediana ( $190 \mu\text{S/cm}$ ) y el tercer cuartil cuyo valor es de  $218 \mu\text{S/cm}$ . y  $247 \mu\text{S/cm}$ . Para los tratamientos de coco, se presentan el bigote menor ( $142 \mu\text{S/cm}$ ) y mayor ( $275 \mu\text{S/cm}$ ), el primer cuartil cuyo valor es de  $174 \mu\text{S/cm}$  hasta  $179 \mu\text{S/cm}$ , la mediana cuyo valor es  $196 \mu\text{S/cm}$  y el tercer cuartil cuyo valor es de  $256 \mu\text{S/cm}$ . Para los tratamientos de plátano se presentan el bigote menor ( $166 \mu\text{S/cm}$ ) y mayor ( $294 \mu\text{S/cm}$ ), el primer cuartil cuyo valor es de  $179 \mu\text{S/cm}$  hasta  $202 \mu\text{S/cm}$ , la mediana cuyo valor es  $226 \mu\text{S/cm}$  y el tercer cuartil cuyo valor es de  $238 \mu\text{S/cm}$ . Para el tratamiento control, se visualiza que no presenta bigotes debido a la igualdad de valores que presenta en ambos bloques, sin embargo, se presentan los tres cuartiles; el primer cuartil cuyo valor es de  $161 \mu\text{S/cm}$ , la mediana cuyo valor es de  $209 \mu\text{S/cm}$  y el tercer cuartil que es de  $381 \mu\text{S/cm}$ . Igual que el análisis para temperatura y POR, los resultados se atribuyen a la alta variabilidad de los datos, los cuales son más marcados para el control.

## 8. CONCLUSIONES

1. En general, para los procesos de compostaje realizados, la maduración cualitativa del compost se logró en los tratamientos de plátano y control en el tiempo de duración del proceso (5,5 meses), mientras que, los tratamientos de marañón y coco no alcanzaron la maduración en el tiempo evaluado, debido a la gran cantidad de material con composición de lignocelulosa y hemicelulosa presente en ambos residuos, por lo que la maduración de estos tratamientos necesita de más tiempo para que la materia orgánica alcance una completa degradación.
2. Todos los compost generados en los tratamientos presentaron las características organolépticas propias de este tipo de bioabono, tales como: olor, color, textura; sin embargo, en cuanto a la textura, los tratamientos mostraron diferencias, siendo que la de plátano y control presentaron textura consistente con un abono, mientras que los tratamientos de marañón y coco no presentaron dicha textura, ya que aún presentan grandes cantidades de fragmentos de material, debido al tiempo de degradación de los residuos que componen estos tratamientos.
3. Estadísticamente, los tratamientos tuvieron diferencias significativas entre ellos, pero no entre sus réplicas. Bajo el análisis estadístico ANOVA, se evaluaron los diferentes parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, CE y POR); los resultados mostraron diferencias significativas entre algunos tratamientos para los parámetros de pH y temperatura, mientras que para la CE y el POR no se tuvieron diferencias significativas. Esto posiblemente debido a la diferencia en los materiales de partida del proceso y la variabilidad en los valores analizados para cada tratamiento.
4. El compost generado a partir de los residuos del cultivo de plátano cumple con la mayoría de los parámetros establecidos por la norma NTC 5167, sin embargo, el pH se encuentra muy básico, lo cual indica que no puede ser usado para todo tipo de suelo, pero sí para aquellos que sean muy ácidos, lo cual ayudaría a estabilizar o regular el pH de estos. Es de resaltar que, en este tratamiento, el Potasio orgánico se encuentra en una proporción adecuada tanto en el compost como los lixiviados generados, lo cual permite aumentar el contenido de cationes en el suelo permitiendo un balance de nutrientes tanto para las plantas como para garantizar la actividad microbiológica del suelo, además incrementa los coloides del suelo, aumentando la capacidad de intercambio catiónico (CIC).
5. El compost adquirido del tratamiento control presenta buenas características fisicoquímicas, cumpliendo con los principales parámetros de calidad según la norma NTC 5167. Este tratamiento contenía en el material de partida la mayor proporción de podas, hojas secas y frescas y, demás residuos que a diario los agricultores o dueños de fincas tienen que recoger y luego buscar la manera de desecharlos o disponerlos a la intemperie, por tanto, los resultados demuestran que el compostaje,

sería una forma fácil y rápida de transformarlos y darle valor agregado a dichos residuos.

6. Finalmente, el compost generado por los cultivos de marañón y coco, a pesar de que no lograron la degradación total de la materia orgánica en el tiempo evaluado, si se pudo observar un gran avance tanto en la disminución de volumen de las composteras, una reducción en la dificultad para fragmentar el material recalcitrante de la nuez, y en la disminución de la dureza de la cáscara del coco. Además, en la caracterización de estos se logró observar que varios parámetros ya cumplen con la norma de calidad para abonos orgánicos.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Acosta, B. (2020). *6 TIPOS de COMPOST - Nombres y Características*. Ecología Verde .  
<https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-compost-2701.html>
- Adelasa. (2022). *Oportunidad mundial para el mercado del coco de Colombia - ADELASA*. Agricultura, Tecnología.  
<https://agriculturadelasamericas.com/agricultura/oportunidad-mundial-para-el-mercado-del-coco/>
- Ahamad Sanadi, N. F. B., Ibrahim, N., Ong, P. Y., Klemeš, J. J., Li, C., & Lee, C. T. (2021). Dilution rate of compost leachate from different biowaste for the fertigation of vegetables. *Journal of Environmental Management*, 295, 113010.  
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113010>
- Akratos, C. S., Tekerlekopoulou, A. G., Vasiliadou, I. A., & Vayenas, D. V. (2017). Cocomposting of olive mill waste for the production of soil amendments. *Olive Mill Waste: Recent Advances for Sustainable Management*, 161–182.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805314-0.00008-X>
- Aleandri, M. P., Chilosi, G., Muganu, M., Vettraino, A., Marinari, S., Paolocci, M., Luccioli, E., & Vannini, A. (2015). On farm production of compost from nursery green residues and its use to reduce peat for the production of olive pot plants. *Scientia Horticulturae*, 193, 301–307. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2015.06.048>
- Alvarez Diaz, J., Gomez, C., Herrera, F., & Echavarría Pedraza, M. C. (2013). Rediseño y optimización de un dispositivo de compostaje a pequeña escala para ser utilizado en proyectos de agricultura urbana. *REVISTA ELEMENTOS*, 3, 160–172.  
[file:///C:/Users/contabilidad2018/Downloads/Dialnet-RediseñoYOptimizaciónDeUnDispositivoDeCompostajeAP-5085351\(1\).pdf](file:///C:/Users/contabilidad2018/Downloads/Dialnet-RediseñoYOptimizaciónDeUnDispositivoDeCompostajeAP-5085351(1).pdf)
- Alvaro G.J. (2019). *Compost y vermicompost ¿En qué se diferencian?* FERTIBOX ANALISIS AGRICOLAS . <https://www.fertibox.net/single-post/compost-vermicompost>
- Aranda Castillo, C. A., Barzola Yanqui, E. M., & Castro Sarco, D. G. (2018). *Trabajos de*

*investigación sobre compostaje / Monografías, Ensayos de Química Aplicada - Docsity.* <https://www.docsity.com/es/trabajos-de-investigacion-sobre-compostaje/4608755/>

- ASOBIOCOM. (2019). *Compostaje – ASOBIOCOM.* <https://www.asobiocom.es/compostaje/>
- Bakhshoodeh, R., Alavi, N., Majlesi, M., & Paydary, P. (2017). Compost leachate treatment by a pilot-scale subsurface horizontal flow constructed wetland. *Ecological Engineering*, 105, 7–14. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2017.04.058>
- Ballesteros Trujillo, M., Hernández Berriel, M. del C., De la Rosa Gomez, I., Mañón Salas, M. del C., & Carreño de León, M. del C. (2018). Crecimiento microbiano en pilas de compostaje de residuos orgánicos y biosólidos después de la aireación. *SCIELO*, 45(1). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612018000100001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000100001)
- Barbaro, L. A., Karlanian, M.A., & Morisigue, D. (2010). Utilización de azufre micronizado en la corrección del pH de compost de residuos de poda. *AGRISCIENTIA*, 27(2), 125–130. <https://www.google.com/search?q=pH+basicos+en+el+compost&oq=pH+basicos+en+el+compost+&aqs=chrome..69i57j33i160l5.8482j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Barbosa, A. P. F., Souza, R. C. de, Dias, J. F. M., Almeida, J. F. T. de, Borges, F. J., & Freitas, I. C. de. (2019). Reaproveitamento de resíduos sólidos orgânicos oriundo da merenda escolar por meio da compostagem / Reutilization of organic solid waste from school meals through composting. *Brazilian Applied Science Review*, 3(2), 1161–1168. <https://doi.org/10.34115/BASR.V3I2.1163>
- Bazrafshan, E., Zarei, A., Mostafapour, F. K., Poormollae, N., Mahmoodi, S., & Zazouli, M. A. (2016). Maturity and Stability Evaluation of Composted Municipal Solid Wastes. *Health Scope 2016 5:1*, 5(1), 33202. <https://doi.org/10.17795/JHEALTHSCOPE-33202>
- Beaulieu, D. (2021). *How Compost Bins Work and How to Use Them.* <https://www.thespruce.com/compost-bins-and-how-they-work-2131027>
- Białobrzewski, I., Mikš-Krajnik, M., Dach, J., Markowski, M., Czekala, W., & Głuchowska, K. (2015). Model of the sewage sludge-straw composting process integrating different heat generation capacities of mesophilic and thermophilic microorganisms. *Waste Management*, 43, 72–83. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2015.05.036>
- Bidlingmaier, W. (2016). *The aerobic process (composting) 3.1 What does composting mean?* [Bauhaus Universität Weimar]. [www.orbit-online.net](http://www.orbit-online.net)
- Binner, E., Méndez Quincho, L., & Miyashiro Kiyon, V. (2016). *Gestión de residuos sólidos municipales en el Perú y en Austria : mitigación de impactos ambientales en el clima y el agua* (1 era). <https://www.fondoeditorialunalm.com/producto/gestion-de-residuos-solidos-municipales-en-el-peru-y-en-austria/>

- Bohórquez, W. (2019). *El proceso de compostaje*. Universidad de La Salle.  
<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=libros>
- Buechel, T. (2022a). *Fibra de coco: un componente de los medios de cultivo*. PROMIX.  
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/fibra-de-coco-un-componente-de-los-medios-de-cultivo/>
- Buechel, T. (2022b). *La función del manganeso en el cultivo de plantas*. PROMIX.  
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-manganeso-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Buechel, T. (2022c). *Rol del boro en el cultivo de plantas PRO-MIX*. PRO-MIX.  
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-boro-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Buechel, T. (2022d). *Uso del lixiviado de compost en sustratos / PRO-MIX*. PROMIX.  
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/uso-del-lixiviado-de-compost-en-sustratos/>
- Bueno Márquez, P., Jesús, M., Blanco, D., & Cabrera Capitán, F. (2008). *Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de Compostaje*.
- Camacho, A., Martínez, L., Ramírez Saad, H., Valenzuela, R., & Valdés, M. (2014). Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *SCIELO Terra Latinoamericana*, 32(4).  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792014000400291](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000400291)
- Carmona, R. (2017). *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE COMPOST DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS RESIDENCIALES, A PARTIR DE SU CARACTERIZACIÓN TÉRMICA ROSA NATALIA CARMONA PARDO UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL SANTIAGO DE CALI 2017*. 15–114.
- Castillo Guerra, S., & Castillo Nuñez, O. (2014). LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, 2001-2011. *Economía & Región*, 8(1), 143–164.  
<https://revistas.utb.edu.co/economiaayregion/article/download/65/49/99>
- Castillo Huaman, L. C. (2020). *Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019*. [Universidad Continental ].  
[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8245/3/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Castillo\\_Huaman\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8245/3/IV_FIN_107_TE_Castillo_Huaman_2020.pdf)
- Castillo, X., García Delgado, C., & Eymar, E. (2011). *Determinación del flujo de liberación de CO2 de materiales orgánicos compostados en relación al contenido de humedad / Request PDF*. 16.  
[https://www.researchgate.net/publication/236867805\\_Determinacion\\_del\\_flujo\\_de\\_liberacion\\_de\\_CO2\\_de\\_materiales\\_organicos\\_compostados\\_en\\_relacion\\_al\\_contenido\\_de\\_humedad](https://www.researchgate.net/publication/236867805_Determinacion_del_flujo_de_liberacion_de_CO2_de_materiales_organicos_compostados_en_relacion_al_contenido_de_humedad)



- Castro García, G., Constanza Daza Torres, M., Fernando Marmolejo Rebellón, L., Sanitario, I., & Asociado, P. (2016). Assessment of the adequacy of moisture in the municipal biowaste composting origin Solid Waste Management Plant (SWMP) in the municipality of Versalles, Valle del Cauca. *Gestión y Ambiente*, 19(1), 179–191. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169446378012.pdf>
- Chavez Perez, P. (2015). *UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA INFORME FINAL DE PRÁCTICA PRE PROFESIONAL CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MADUREZ DEL COMPOST DE LAS CIUDADES DE TINGO MARIA Y AUCAYACU MEDIANTE TEST DE AUTOCALENTAMIENTO*.
- Chen, L. (2016). *Understand the 5 most influencing factors in composting manure - Progressive Dairy | Ag Proud*. AG PROUD. <https://www.agproud.com/articles/19250-understand-the-5-most-influencing-factors-in-composting-manure>
- Chen, W. H., Lin, Y. C., Lin, J. H., Yang, P. M., & Jhang, S. R. (2014). Treating odorous and nitrogenous compounds from waste composting by acidic chlorination followed by alkaline sulfurization. *Environmental Engineering Science*, 31(11), 583–592. <https://doi.org/10.1089/EES.2013.0272>
- Choudhary, M., Meena, V. S., Panday, S. C., Mondal, T., Yadav, R. P., Mishra, P. K., Bisht, J. K., & Pattanayak, A. (2021). Long-term effects of organic manure and inorganic fertilization on biological soil quality indicators of soybean-wheat rotation in the Indian mid-Himalaya. *Applied Soil Ecology*, 157. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2020.103754>
- Cooperband, L. (2002). Art and science of composting: a resource for farmers and compost producers. *Center for Integrated Agricultural Systems, University of Wisconsin, Madison, WV.*, 17.
- Cubilla, K., González, Y., Montezuma, G., & Samudio, M. (2019). *Vista de Fibra de coco y cáscara de plátano como alternativa para la elaboración de material biodegradable | Revista de Iniciación Científica*. Revista de Iniciación Científica . <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/2496/3571>
- Damián Martínez, Y. (2018). *TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN LA ETAPA DE COMPOSTAJE MEDIANTE EL PROCESO DE COAGULACIÓN CON MÚCILAGO DE Opuntia Ficus Indica* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5610/T010\\_45819869\\_M.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5610/T010_45819869_M.pdf?sequence=1)
- Delgado Arroyo, M. D. M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V. (2019). Assessment of the composting process of poultry manure using different mixtures of substrates. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(4), 965–977. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.15>
- Dhyani, V., & Bhaskar, T. (2018). A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. *Renewable Energy*, 129, 695–716. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2017.04.035>

- Echenique, J. A. (2015). *El compostaje en silos*.  
<https://es.slideshare.net/JoseAaronEchenique/compostaje-en-silos-52910964>
- Estrada Bonilla, G., & Peña, A. (2017). (PDF) Factores que afectan el buen desarrollo del compostaje de mortalidad porcina. *Porkcolombia*, 23–28.  
[https://www.researchgate.net/publication/317648086\\_Factores\\_que\\_afectan\\_el\\_buen\\_desarrollo\\_del\\_compostaje\\_de\\_mortalidad\\_porcina](https://www.researchgate.net/publication/317648086_Factores_que_afectan_el_buen_desarrollo_del_compostaje_de_mortalidad_porcina)
- Evans, J. (2021). *How Often Should You Turn Your Compost Pile?* | WoollyGreen. WG.  
<https://woollygreen.com/how-often-to-turn-compost/>
- FAO. (2018). *Seguimiento del mercado del arroz de la FAO*. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/economic/est/publicaciones/publicacionessobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>
- Fedegan. (2018). *Córdoba, pasión por la ganadería*. El Heraldo.  
<https://www.elheraldo.co/cordoba/cordoba-pasion-por-la-ganaderia-558670>
- Fernandez, C. (2019). *Proyecto de diseño de un Biorreactor para la producción de compost a partir de Biorresiduos*. Universitat Jaume I.  
[http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/183933/TFG\\_C.Pastor.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/183933/TFG_C.Pastor.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ferraris, G. N., & Couretot, L. A. (2008). *PERDIDAS DE NITROGENO POR VOLATILIZACION Y SU IMPLICANCIA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAIZ, EFECTO DE LA FUENTE, DOSIS Y USO DE INHIBIDORES*. 1–11.  
<https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/perdidas-de-nitrogeno-por-volatilizacion-y-su-implicancia-en-el-rendimiento-del-cultivo-de-maiz-2008-09.pdf>
- Forge, W. (2022). *compost en silo - Búsqueda de Google*. Wayfair.  
<https://www.wayfair.ie/storage-organisation/pdp/williston-forge-steel-and-wood-compost-silo-700l-i001256683.html>
- Galindo Castro, L. A., Martínez Osorio, J. W., & Estrada Bonilla, G. Á. (2018). Compostaje enriquecido con fósforo como método de reaprovechamiento de los residuos orgánicos. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(11), 7–15. <https://doi.org/10.29018/ISSN.2588-1000VOL2ISS11.2018PP7-15>
- García Gil, J. C. (2018). *TEMPERATURAS BAJAS EN NUESTRO COMPOST*. CIUDAD CIENCIA. <https://www.ciudadciencia.es/temperaturas-bajas-en-nuestro-compost/>
- García, M., Vargas, M., Díaz, D., Aragón, M., & Sánchez, H. (2018). *ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO*. [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16009/1/ESTUDIO\\_DE\\_VIABILIDAD\\_PARA\\_LA\\_PRODUCIÓN\\_Y\\_COMERCIALIZACIÓN\\_DE\\_ABONO\\_ORGÁNICO.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16009/1/ESTUDIO_DE_VIABILIDAD_PARA_LA_PRODUCIÓN_Y_COMERCIALIZACIÓN_DE_ABONO_ORGÁNICO.pdf)
- Garzón Marín, L. (2020). *Compostaje de flores, una práctica nutritiva para los suelos*. Agronet. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Compostaje-de-flores,-una-practica-nutritiva-para-los-suelos.aspx>
- Gondek, M., Weindorf, D. C., Thiel, C., & Kleinheinz, G. (2020). Soluble Salts in Compost

and Their Effects on Soil and Plants: A Review.  
<https://doi.org/10.1080/1065657X.2020.1772906>, 28(2), 59–75.  
<https://doi.org/10.1080/1065657X.2020.1772906>

- Gonzalez, I. (2021). *El compostaje. 1ª parte*.  
<https://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>
- Halo Velastegui, A. J., Borja Arevalo, A. E., & Triviño Bloisse, S. Y. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *DOMINIO DE LAS CIENCIAS*, 3(2), 506–525. <http://dx.doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.2.esp.506-525>
- Helmer, J. (2021). *A Guide to Composting: Turn Food Waste Into Garden Gold*. TIPS & TROUBLESHOOTING THE LATEST. <https://www.seriousseats.com/composting-guide-5185400>
- ICONTEC. (2004). *NTC 5167 2004*. NTC 5167. [https://kupdf.net/download/ntc-5167-2004\\_59cd2ae708bbc53e51686ebd\\_pdf](https://kupdf.net/download/ntc-5167-2004_59cd2ae708bbc53e51686ebd_pdf)
- ICONTEC. (2022, May 31). *NTC 5167 2022*. [www.icontec.org](http://www.icontec.org)
- Ishola, T. M., & Ishola, E. T. (2019). Composting and Sustainable Development. *Encyclopedia of Sustainability in Higher Education*, 1–8. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63951-2\\_122-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63951-2_122-1)
- Jara Samaniego, L. J. (2016). *OPORTUNIDADES DE VALORIZACIÓN MEDIANTE COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE ORIGEN URBANO Y AFINES EN ECUADOR: PROPUESTA DE GESTIÓN PARA LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO* [UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE].  
[http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2770/1/TD Jara Samaniego%2C Lourdes Janneth.pdf](http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2770/1/TD%20Jara%20Samaniego%20 Lourdes%20Janneth.pdf)
- Jiang, J., Kang, K., Chen, D., & Liu, N. (2018). Impacts of delayed addition of N-rich and acidic substrates on nitrogen loss and compost quality during pig manure composting. *Waste Management*, 72, 161–167. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.11.025>
- Jiang, J., Liu, X., Huang, Y., & Huang, H. (2015). Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. *Waste Management*, 39, 78–85.  
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2015.02.025>
- Jorge Montalvo, P. A., Ortiz Dongo, L. F., Calle Maravi, J. L., Tellez Monzón, L. A., Césare Coral, M. F., & Visitacion Figueroa, L. (2018). Transformación del nitrógeno durante el compostaje de bosta de caballo 1. *SCIELO REVISTA PRODUCCION + LIMPIA*, 13(2), 77–88. <https://doi.org/10.22507/pml.v13n2a9>
- Kalaivanan, D., Dinakara Adiga, J., & Lakshmipathi Ramapura, R. (2017). (PDF) Compost from cashew leaf litter and cashew apple waste. *KISAN WORLD A Journal of Agriculture and Rural Development*, 44(11).  
[https://www.researchgate.net/publication/320878337\\_Compost\\_from\\_cashew\\_leaf\\_litter\\_and\\_cashew\\_apple\\_waste](https://www.researchgate.net/publication/320878337_Compost_from_cashew_leaf_litter_and_cashew_apple_waste)

- Kappe, S. (2015). *Carbono Orgánico Total (COT)*. Industria Química. Process Analytics Competence Center, Metrohm AG; A. Fernández Fernández (Traducción), Departamento de Analizadores de Proceso, Gomensoro, S.A.  
<https://www.industriaquimica.es/articulos/20151112/carbono-organico-total-cot#.Y26BznZBzIU>
- Kefyalew, G., & Muaid, S. A. (2017). *Compost Turning: The Key to Quick Composting* / Oklahoma State University. OKLAHOMA STATE UNIVERSITY.  
<https://extension.okstate.edu/fact-sheets/compost-turning-the-key-to-quick-composting.html>
- Krososky, A. (2020). *Does Compost Need Sun to Break Down? Here's What's Required*. GREEMATTERS. <https://www.greenmatters.com/p/does-compost-need-sun-to-break-down>
- Lagunes-Fortiz, E., Zavaleta-Mejía, E., Lagunes-Fortiz, E., & Zavaleta-Mejía, E. (2016). Función de la lignina en la interacción planta-nematodos endoparásitos sedentarios. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 34(1), 43–63.  
<https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1506-7>
- Lewis, O. (2016). *Factors Affecting The Composting Process*. LinkedIn.  
<https://www.linkedin.com/pulse/factors-affecting-composting-process-olivia-lewis>
- Liberato Soto, N. E. (2020). Microorganismos eficientes y su efecto en el tratamiento de lixiviados generados en el proceso de compostaje en el centro ecoturístico de protección ambiental “Santa Cruz” - CEPASC, Concepción, 2019. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8572>
- Lipford, D. (2020). *What Nutrients Can Be Found in Compost? - Today's Homeowner*.  
<https://todayshomeowner.com/what-nutrients-can-be-found-in-compost/>
- Liu, Z., Yang, J., Yang, Z., & Zou, J. (2012). Effects of rainfall and fertilizer types on nitrogen and phosphorus concentrations in surface runoff from subtropical tea fields in Zhejiang, China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 2012 93:3, 93(3), 297–307.  
<https://doi.org/10.1007/S10705-012-9517-X>
- Lobo, M. G., & Dorta, E. (2019). Utilization and Management of Horticultural Waste. *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, 639–666.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00019-5>
- Lopez Bravo, E., Andrade Rivera, A. J., Herrera Suarez, M., Gonzales Cueto, O., & Garcia de la Figal Costales, A. (2017). Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. *SciELO*, 44(Santa Clara).  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852017000300007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000300007)
- Lopez Villalba, H. M., & Durango Quintero, E. (2018). *Córdoba - Camporigen*. Camporigen . <https://www.camporigen.com/cordoba/>
- Lorente, B., Zugasti, I., Ortuño, M. F., Nortes, P., Bañón, S., Hernández, J. A., & Sánchez-Blanco, M. J. (2021). Substrate composition affects the development of water stress and subsequent recovery by inducing physiological changes in *Cistus albidus* plants.

- Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 125–135.  
<https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2020.11.048>
- Lou, Z., Zhu, J., Wang, Z., Baig, S. A., Fang, L., Hu, B., & Xu, X. (2015). Release characteristics and control of nitrogen, phosphate, organic matter from spent mushroom compost amended soil in a column experiment. *Process Safety and Environmental Protection*, 98, 417–423. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2015.10.003>
- Luque, S. L. (2018). *¿Fertilizantes líquidos o sólidos?* . Suministros Agrícolas. <https://www.suministrosagricolasluque.com/fertilizantes-liquidos-o-solidos/>
- Maaroufi, N. I., Nordin, A., Palmqvist, K., Hasselquist, N. J., Forsmark, B., Rosenstock, N. P., Wallander, H., & Gundale, M. J. (2019). Anthropogenic nitrogen enrichment enhances soil carbon accumulation by impacting saprotrophs rather than ectomycorrhizal fungal activity. *Global Change Biology*, 25(9), 2900–2914. <https://doi.org/10.1111/GCB.14722>
- Mangan, F., Barker, A., Bodine, S., & Borter, P. (2016). *Vegetable: Compost Use and Soil Fertility | Center for Agriculture, Food, and the Environment at UMass Amherst*. Center for Agriculture. ) University of Massachusetts Extension. <https://ag.umass.edu/vegetable/fact-sheets/compost-use-soil-fertility>
- Marchi, C. M. D. F., & Gonçalves, I. D. O. (2020). Compostagem: a importância da reutilização dos resíduos orgânicos para a sustentabilidade de uma instituição de ensino superior. *Revista Monografias Ambientais*, 1, 1. <https://doi.org/10.5902/2236130841718>
- Martínez Cruz, A. (2017). *Método Alternativo para Tratar Lixiviados Maduros Mediante el Proceso de Coagulación Floculación con Mucílago de Opuntia ficus-indica*. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/13937>
- Masaguer Rodríguez, A., Lopez Fabal, A., Carmona Chiara, E., Fornés, F., Ordovas Ascaso, J., Gomez Sanchez, M. A., Moreno Aguirre, M. T., Marfá Pagés, O., Cáceres Reyes, R., López Núñez, R., & Belda Navarro, R. (2015). *Uso del compost como componente de sustratos para cultivo en contenedor / [coordinador del volumen, Alberto Masaguer Rodríguez ; autores Alberto Masaguer Rodríguez ... (et al.)]*. Mundi-Prensa. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat03043a&AN=bupn.00434387&site=eds-live>
- Mawahib, E., Abdelgadir, E. A., & Badr Eldin, A. El. S. (2015). (PDF) Effects of Banana Compost on Growth, Development and Productivity of Sorghum bicolor Cultivar (Tabat) Council for Innovative Research. *Council for Innovative Research*. [https://www.researchgate.net/publication/284440534\\_Effects\\_of\\_Banana\\_Compost\\_on\\_Growth\\_Development\\_and\\_Productivity\\_of\\_Sorghum\\_bicolor\\_Cultivar\\_Tabat\\_Council\\_for\\_Innovative\\_Research](https://www.researchgate.net/publication/284440534_Effects_of_Banana_Compost_on_Growth_Development_and_Productivity_of_Sorghum_bicolor_Cultivar_Tabat_Council_for_Innovative_Research)
- Meek, B. D., & Chesworth, W. (2016). Redox Reactions and Diagrams in Soil. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 600–605. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3995-9\\_477](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3995-9_477)

- Meena, L. A., Karwal, M., Dutta, D., & Misra, R. (2021). Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. *AGRICULTURE & FOOD: E- NEWSLETTER*, 3(1), 85–90.  
[https://www.researchgate.net/publication/348098151\\_Composting\\_Phases\\_and\\_Factors\\_Responsible\\_for\\_Efficient\\_and\\_Improved\\_Composting](https://www.researchgate.net/publication/348098151_Composting_Phases_and_Factors_Responsible_for_Efficient_and_Improved_Composting)
- Melo Henriquez, A. I. (2019). *PROBLEMÁTICA AMBIENTAL POR MAL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS EN EL MUNICIPIO DE GALAPA*.  
<https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/463-Colombia-oral.pdf>
- Miguel Martínez, M., Pliego Marín, L., Robles Pérez, C., & Aragón Robles, E. (2018). CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE MATERIALES COMPOSTEADOS PARA USO POTENCIAL EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE DE AGUA 1 [CHARACTERIZATION OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF COMPOSTED MATERIALS FOR POTENCIAL IN WATER CHILE PRODUCTION]. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(1), 12–23.
- Mladenov, M. (2018). Chemical composition of different types of compost. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 713–716.  
[https://www.researchgate.net/publication/325554533\\_Chemical\\_composition\\_of\\_different\\_types\\_of\\_compost](https://www.researchgate.net/publication/325554533_Chemical_composition_of_different_types_of_compost)
- Modi, S. K., Durga Prasad, B., & Basavaraj, M. (2014). Effect of moisture content and temperature on thermal conductivity of Psidium guajava L. by line heat source method (transient analysis). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 78, 354–359.  
<https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2014.06.076>
- Mondragón García, J. M., Serna Jimenez, J. A., Garcia Alzate, L. S., & Jaramillo Echeverry, L. M. (2018). Vista de Caracterización fisicoquímica de los subproductos cáscara y vástago del plátano Dominicano harton | Revista ION. *Universidad La Gran Colombia*, 31(1).  
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/8753/9504>
- Moreira Carrión, K. del P. (2013). *REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA CÁSCARA DE BANANOS ( MUSAPARADISIACA ) Y PLÁTANOS ( MUSA SAPIENTUM ) PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS DESTINADOS AL CONSUMO HUMANO* [Universidad de Guayaquil].  
[https://www.academia.edu/33267183/Composicion\\_quimica\\_de\\_la\\_cascara\\_de\\_platano](https://www.academia.edu/33267183/Composicion_quimica_de_la_cascara_de_platano)
- Moreno, J., Moral, R., Garcia Morales, J., Pascual, J., & Bernal, M. (2014). El camino hacia la sostenibilidad. In Editores científicos de residuo a recurso. (Ed.), *Editores científicos de residuo a recurso*. <https://www.researchgate.net>
- Neklyudov, A. D., Fedotov, G. N., & Ivankin, A. N. (2008). Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 44(1), 6–18. <https://doi.org/10.1007/S10438-008-1002-6>
- Nicoleta Dinca, M., Ferdes, M., Paraschiv, G., URGUREANU, N., ZABAVA, B.,

- IONESCU, M., & MOICEANU, G. (2019). (PDF) Recovery of organic waste through composting process. *ResearchGate*.  
[https://www.researchgate.net/publication/337012752\\_Recovery\\_of\\_organic\\_waste\\_through\\_composting\\_process](https://www.researchgate.net/publication/337012752_Recovery_of_organic_waste_through_composting_process)
- Oviedo-Ocaña, E. R., Marmolejo-Rebellon, L. F., & Torres-Lozada, P. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 18(1), 31–42. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432017000100031&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432017000100031&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Padilla, T. (2020). *Instituto Colombiano Agropecuario - ICA*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-cultivos-platano-cordoba-prioridad>
- Palaniveloo, K., Amran, M. A., Norhashim, N. A., Mohamad-Fauzi, N., Peng-Hui, F., Hui-Wen, L., Kai-Lin, Y., Jiale, L., Chian-Yee, M. G., Jing-Yi, L., Gunasekaran, B., & Razak, S. A. (2020). Food Waste Composting and Microbial Community Structure Profiling. *Processes* 2020, Vol. 8, Page 723, 8(6), 723.  
<https://doi.org/10.3390/PR8060723>
- Rastogi, M., Nandal, M., & Khosla, B. (2020). Microbes as vital additives for solid waste composting. *Heliyon*, 6(2), e03343. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E03343>
- Razza, F., D'Avino, L., L'Abate, G., & Lazzeri, L. (2018). The Role of Compost in Bio-waste Management and Circular Economy. *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies*, 133–143. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66981-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66981-6_16)
- Ren, X., Zeng, G., Tang, L., Wang, J., Wan, J., Wang, J., Deng, Y., Liu, Y., & Peng, B. (2018). The potential impact on the biodegradation of organic pollutants from composting technology for soil remediation. *Waste Management*, 72, 138–149.  
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.11.032>
- Restrepo, A., Betancourt, M., Palacios, S., García, B., Tabares, A., & Díaz, C. (2017). Proyecto fortalecimiento del sector agropecuario y agroindustrial mediante la innovación ciencia y tecnología en el departamento de Risaralda- UNISARC. *Corporación Universitaria Santa Rosa de Cabal – UNISARC*, 75.
- Rhoades, H. (2021a). *Turning Compost: Ways To Turn The Compost Pile*. Gardening KNOW HOW. <https://www.gardeningknowhow.com/composting/basics/turning-compost-pile.htm>
- Rhoades, H. (2021b). *Using Banana Peel In Compost - The Effect Of Bananas On Soil Compost*. Gardening.  
<https://www.gardeningknowhow.com/composting/ingredients/banana-peels-compost.htm>
- Rivas Nichorzon, M., & Silva Acuña, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (Eichhornia Crassipes). *Revista Ciencia UNEM*, 13(32), 87–100.  
<file:///C:/Users/contabilidad2018/Downloads/Dialnet->

- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR*. <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
- Romero Uscanga, E., Montero Alpirez, G., Toscano Palomar, L., Perez Pelayo, L., Torres Ramos, R., & Beleño Cabarcas, M. T. (2014). Determinación de los principales componentes de la biomasa lignonocelulósica; celulosa, hemicelulosa y lignina de la paja de trigo para su posterior pretratamiento biológico. *Agrricultura Sustentable: Uso Eficiente Del Agua, Suelo y Fertilizantes*, 114–118. [https://www.researchgate.net/publication/282365664\\_Determinacion\\_de\\_los\\_principales\\_componentes\\_de\\_la\\_biomasa\\_lignonocelulosica\\_celulosa\\_hemicelulosa\\_y\\_lignina\\_de\\_la\\_paja\\_de\\_trigo\\_para\\_su\\_posterior\\_pretratamiento\\_biologico](https://www.researchgate.net/publication/282365664_Determinacion_de_los_principales_componentes_de_la_biomasa_lignonocelulosica_celulosa_hemicelulosa_y_lignina_de_la_paja_de_trigo_para_su_posterior_pretratamiento_biologico)
- Rondón Perdomo, A. Y., Castillo Campos, L. A., & Miranda, J. (2021). Use of the coconut shell (Cocos nucifera) as a filtering medium in the water treatment of El Salto oilfield, Venezuela. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 125–147. <https://doi.org/10.14482/INDE.38.1.628.16>
- Roy, D., Azañs, A., Benkaraache, S., Drogui, P., & Tyagi, R. D. (2018). Composting leachate: characterization, treatment, and future perspectives. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 17(2), 323–349. <https://doi.org/10.1007/S11157-018-9462-5>
- Sakinah, N., Djoefrie, H. M. H. B., Hariyadi, & Manohara, D. (2013). Utilization of Cashew Nut Shell as Organic Fertilizer and Fungicide. [IPB University Bogor Indonesia ]. In *MT Agriculture*. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/67037>
- Sánchez, L., Chávez, J., Ríos, L. A., & Cardona, S. M. (2015). Evaluación de un Antioxidante Natural extraído del Marañón (*Anacardium occidentale* L.) para mejorar la Estabilidad Oxidativa del Biodiesel de *Jatropha*. *Información Tecnológica*, 26(6), 19–30. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000600004>
- Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management*, 69, 136–153. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.08.012>
- Sarmiento, M. (2018). *Compostaje*. <https://es.slideshare.net/MaraSarmiento6/compostaje-120166162>
- Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F., & Sánchez, A. (2020). Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *Agronomy 2020, Vol. 10, Page 1838, 10(11)*, 1838. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10111838>
- Seipasa. (2021). *Hierro en las plantas y corrección de la clorosis férrica - SEIPASA*. Premio Nacional de Innovación 2020. <https://www.seipasa.com/es/blog/hierro-en-las-plantas-y-correccion-de-la-clorosis-ferrica/>
- Shahbandeeh, M. (2022). *Coconut production worldwide from 2000 to 2020*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/577497/world-coconut-production/>



- Silbert, V. V., & Olivia, A. (2018). Manual de buenas practicas para producir compost hogareño . In *Instituto Nacional de Tecnologia Industrial*.  
<https://alternativahumus.com/7-aspectos-sobre-compostaje/>
- Silva Vasconcelos, O. L., Moraes Carneiro, L., Eurides Marques, G. de C., Nogueira Nojosa, E. C., & Barbosa Lorena, R. (2021). BIOMASS REDUCTION OF ORGANIC MATERIALS IN A DOMESTIC COMPOSTING SYSTEM REDUÇÃO DE BIOMASSA DE MATERIAIS ORGÂNICOS EM SISTEMA DE COMPOSTAGEM DOMÉSTICA. *BIOFIX Scientific Journal* , 6(2), 98–102.  
[https://www.researchgate.net/publication/353267778\\_BIOMASS\\_REDUCTION\\_OF\\_ORGANIC\\_MATERIALS\\_IN\\_A\\_DOMESTIC\\_COMPOSTING\\_SYSTEM\\_REDUC\\_AO\\_DE\\_BIOMASSA\\_DE\\_MATERIAIS\\_ORGANICOS\\_EM\\_SISTEMA\\_DE\\_COMPOSTAGEM\\_DOMESTICA](https://www.researchgate.net/publication/353267778_BIOMASS_REDUCTION_OF_ORGANIC_MATERIALS_IN_A_DOMESTIC_COMPOSTING_SYSTEM_REDUC_AO_DE_BIOMASSA_DE_MATERIAIS_ORGANICOS_EM_SISTEMA_DE_COMPOSTAGEM_DOMESTICA)
- Soto Paz, J., Torres Lozada, P., Oviedo Ocaña, R., Marmolejo Rebellón, F., & Zambrano Cuenca, P. A. (2015). Influencia del pH y nutrientes sobre la biodegradabilidad aerobia de biorresiduos de origen municipal. *AFINIDAD LXXII*, 297–303.  
<https://www.google.com/search?q=pH+acidos+en+compost&oq=pH+acidos+en+compost&aqs=chrome..69i57.6807j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Swarnam, T. P., Velmurugan, A., Pandey, S. K., & Dam Roy, S. (2016). Enhancing nutrient recovery and compost maturity of coconut husk by vermicomposting technology. *Bioresource Technology*, 207, 76–84.  
<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2016.01.046>
- Terreros Camac, F. (2021). *EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ MEDIANTE COMPOSTAJE CON RESIDUOS VERDES Y RESTOS DE COCINA* [UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA].  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4919/terreros-camac-fernando.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Thiyageshwari, S., Gayathri, P., Krishnamoorthy, R., Anandham, R., & Paul, D. (2018). Exploration of Rice Husk Compost as an Alternate Organic Manure to Enhance the Productivity of Blackgram in Typic Haplustalf and Typic Rhodustalf. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2).  
<https://doi.org/10.3390/IJERPH15020358>
- Tobias Cogollo, J. (2018). *Córdoba llamado a liderar la cadena productiva de marañón - LARAZON.CO*. LA RAZON . <https://larazon.co/agro-y-economia/agricultura/cordoba-llamado-a-liderar-la-cadena-productiva-de-maranon/>
- Tokarrz, E., & Urban, D. (2015). SOIL REDOX POTENTIAL AND ITS IMPACT ON MICROORGANISMS AND PLANTS OF WETLANDS. *Journal of Ecological Engineering*, 16(3), 20–30.  
<https://pdfs.semanticscholar.org/c257/823cce43d8deef841bbd65f072b166cd70ce.pdf>
- Tortosa, German. (2018). *La humedad influye más en la actividad microbiana del compost que su temperatura – Compostando Ciencia*. COMPOSTANDO CIENCIAS .  
<http://www.compostandociencia.com/2018/02/la-humedad-influye-mas-en-la-actividad-microbiana-del-compost-que-su-temperatura/>

- Tortosa, German. (2019). *Materiales para compostar: estiércol de vaca – Compostando Ciencia*. Blog Científico Sobre Compost, Abonos Organicos y Biologicos. .  
<http://www.compostandociencia.com/2019/08/materiales-para-compostar-estiercol-de-vaca/>
- Tortosa, German. (2021a). *Biorresiduos, Compostador pequeño, Humedad, Perdida de masa, Perdida de Volumen*. COMPOSTANDO CIENCIAS.  
<http://www.compostandociencia.com/2021/12/cuanta-masa-pierde-un-compost/>
- Tortosa, German. (2021b). *Emisión de gases de nitrógeno durante el compostaje – Compostando Ciencia*. COMPOSTANDO CIENCIA.  
<http://www.compostandociencia.com/2021/12/emision-de-gases-de-nitrogeno-durante-el-compostaje/>
- Tortosa, Germán. (2013). *Factores que influyen en el proceso de compostaje – Compostando Ciencia*. <http://www.compostandociencia.com/2013/04/factores-influyen-compostaje-html/>
- Trail, P. (2019). *Rice Hull Gold - 10 On-Farm Uses of Rice Hulls | ECHOcommunity.org*. Echo Community. <https://www.echocommunity.org/resources/9f9bcb3a-ed2e-4209-bf90-38a759ff3340>
- Vanderlinden, C. (2022). *Hot Composting: How to Make Compost in Less Time*. The Spruce. <https://www.thespruce.com/how-to-hot-compost-2539474>
- Vargas Pineda, O. I., Trujillo Gonzalez, J. M., & Torres Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento . *SCIELO* , 23(2). <https://doi.org/10.22579/20112629.575>
- Villalba, J. V., Jarma, A. J., & Combatt, E. M. (2017). *Respuesta fisiológica de cultivares de arroz a diferentes épocas de siembra en en Córdoba, Colombia*. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/307>
- Villar, I., Alves, D., Garrido, J., & Mato, S. (2016). Evolution of microbial dynamics during the maturation phase of the composting of different types of waste. *Waste Management*, 54, 83–92. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2016.05.011>
- Wang, K., Li, W., Li, X., & Ren, N. (2015). Spatial nitrifications of microbial processes during composting of swine, cow and chicken manure. *Scientific Reports*, 5. <https://doi.org/10.1038/SREP14932>
- Wei, Y., Liang, Z., & Zhang, Y. (2022). Evolution of physicochemical properties and bacterial community in aerobic composting of swine manure based on a patent compost tray. *Bioresource Technology*, 343, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.126136>
- Wu, Y., Chen, Y., Shaaban, M., Zhu, D., Hu, C., Chen, Z., & Wang, Y. (2019). Evaluation of microbial inoculants pretreatment in straw and manure co-composting process enhancement. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118078. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118078>
- Zapata, N., Guerrero, F., & Polo, A. (2005). Evaluación de Corteza de Pino y Residuos

Urbanos como Componentes de Sustratos de Cultivo. *Agricultura Técnica*, 65(4), 378–387. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072005000400004>

Zea Navarro, R. (2020). *Colombia, a las 'grandes ligas' del mercado del coco | EL UNIVERSAL - Cartagena*. El Universal .  
<https://www.eluniversal.com.co/economica/coco-colombiano-busca-mercados-en-el-exterior-BE3512751>

Zhang, L., & Sun, X. (2016). Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 48, 115–126.  
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2015.11.032>

Zhang, S., Sun, L., Wang, Y., Fan, K., Xu, Q., Li, Y., Ma, Q., Wang, J., Ren, W., & Ding, Z. (2020). Cow manure application effectively regulates the soil bacterial community in tea plantation. *BMC Microbiology*, 20(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S12866-020-01871-Y/FIGURES/5>

Zhu, P., Shen, Y., Pan X., Dong, B., Zhou, J., Zhang, W., Li, X., 2021. Reducing odor emissions from feces aerobic composting: additives. *RSC Adv.* 11, 15977-15988.  
<https://doi.org/10.1039/d1ra00355k>