



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería Química

Colegio de Ingeniería Química

**“ZEOLITAS IMPLEMENTADAS EN SUSTRATOS GENERADOS
EN UN COMPOST DE RESIDUOS ORGÁNICOS CON CARBÓN
ACTIVADO Y SU APLICACIÓN EN SUELOS”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

PRESENTA:

IRVIN PERALTA HERNÁNDEZ

Director de Tesis:

Dra. María Dolores Guevara Espinosa

Puebla, Pue, septiembre 2025





Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería Química

Colegio de Ingeniería Química

“Zeolitas implementadas en sustratos generados en un compost de
residuos orgánicos con carbón activado y su aplicación en
suelos”

Presenta

Irvin Peralta Hernández

Directora de Tesis

Dra. María Dolores Guevara Espinosa

Hoja de registro de tema



Oficio No. FIQ/AC/153/2025
Asunto: Registro de Tema de Tesis.

C. IRVIN PERALTA HERNÁNDEZ
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN
INGENIERÍA QUÍMICA
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Química cuyo título es el siguiente:

"Zeolitas implementadas en sustratos generados en un compost de residuos orgánicos con carbón activado y su aplicación en suelos"

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN


CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Directora de Tesis: Dra. María Dolores Guevara Espinosa.

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **UNICAMENTE POR UN AÑO**

Atentamente
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"
H. Puebla de Z., a 9 de Septiembre de 2025


Dr. Rubén Jonatan Aranda García
Secretario Académico



C.c.p. Directora de Tesis: Dra. María Dolores Guevara Espinosa.
C.c.p. Archivo.

Facultad
de Ingeniería
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San
Manuel, Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C. P. 72500
(222) 229 55 00
Ext. 7250 y 7251

Agradecimientos

A Dios, por regalarme la vida, la fortaleza y la claridad para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mi familia, quienes son mi motor y razón de ser. Cada logro y cada paso que doy lleva implícito todo mi cariño y gratitud hacia ustedes. Su apoyo incondicional y sus palabras de aliento han sido fundamentales en este camino.

A mi mamá por ser una “roca” en diferentes sentidos para mí, que a pesar de que nuestras opiniones no siempre se encuentren, nuestros corazones siempre vuelven al mismo lugar, gracias por seguir a mi lado siempre.

A mi papá y a mis hermanos, que con su apoyo silencioso siempre he podido ser yo mismo.

A mis tías Cristina, Rosalía y Guillermina, que con su apoyo siempre me sentí respaldado, me dieron oportunidades, tranquilidad y sobre todo un ejemplo de generosidad sin límites.

A mi abuelita Josefina por verme siempre con ojos de amor y a mi abuelo Alberto que, aunque ya no está con nosotros siempre me impulso para seguir adelante.

A mis amigos, por acompañarme en mis momentos más oscuros, ustedes fueron la luz que me hizo quedarme, por no solo aceptarme si no también celebrarme, por apoyarme y levantarme, por acompañarme y sostenerme.

A la Dra. Dolores por todo su apoyo y enseñanza durante la carrera, a mis sinodales la Dra. Ma. Ángeles y la Dra. Ma. Lourdes, por su apoyo de las tres para que este trabajo fuera posible.

Índice

Índice de Figuras	7
Índice de Tablas	9
Abreviaturas y símbolos	10
Resumen	11
Introducción	12
Planteamiento del problema	16
Justificación.....	18
Objetivos	20
Objetivo general	20
Objetivos específicos	20
Hipótesis de la investigación.....	21
1. ANTECEDENTES	22
1.1. Marco Teórico.....	24
1.1.1. Importancia de la materia orgánica en el suelo.....	24
1.1.2. Residuos Orgánicos.....	26
1.1.3. Fundamentos teóricos del compostaje.....	30
1.1.4. ZEOLITA	51
1.1.5. CARBÓN ACTIVADO.....	53
2. METODOLOGÍA.....	55
2.1. Tipo de investigación.....	55
2.2. Materiales:	55
2.2.1. Materiales del Compostaje:.....	55
2.2.2. Materiales de Control y monitoreo	56
2.3. Área de compostaje	56
2.4. Sistema de composteo	57
2.5. Diseño experimental	58
3. PROCEDIMIENTO	60
3.1. Preparación de materiales:.....	60
3.2. Acondicionamiento de los residuos:	60
3.3. Pesaje y mezcla de materiales:	63
3.3.1. Obtener la relación de C:N (carbono-nitrógeno):	63
3.3.2. Problemas por desbalance C/N	65

3.4. Formación de capas.....	66
3.5. Volteo:.....	67
3.6. Monitoreo de temperatura	68
3.7. Monitoreo de Humedad:.....	69
3.8. Monitoreo de pH:.....	70
3.9. Maduración del compost:	72
3.10. Evaluación final	74
4. RESULTADOS	75
4.1. Temperatura:	75
4.2. pH:.....	76
4.3. Humedad.....	77
4.4. Estabilidad y madurez.....	78
4.5. Observaciones cualitativas	78
4.6. Uso del compost en germinación de semillas	80
4.7. Relación C:N.....	81
5. DISCUSIÓN.....	82
6. CONCLUSIONES	85
7. REFERENCIAS	86
8. ANEXOS	95
8.1. Glosario.....	95
8.2. Ficha técnica de la Zeolita	98

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de materia orgánica y su evolución en el suelo. Fuente propia	25
Figura 2. Compostador de la empresa que comercializa productos químicos en Puebla.	58
Figura 3. Cáscaras de naranja separadas en una cubeta.	60
Figura 4. Cáscaras de naranja cortadas a trozos más pequeños con ayuda de un cuchillo y tijeras.	61
Figura 5. Papel de la oficina tritura y remojado en agua en un tambo.	61
Figura 6. Papel higiénico previamente separado e incorporado a la pila del compost.	62
Figura 7. Recipiente de aluminio donde se llevó a ebullición agua para disolver piloncillo.	62
Figura 8. Piloncillo disuelto en agua listo para humedecer el papel higiénico	62
Figuras 9 y 10. Báscula de suelo de la empresa que comercializa productos químicos en Puebla.	63
Figura 11. Primer volteo del compost.	68
Figura 12. Toma de temperatura con el conductímetro.	68
Figura 13. Medidor de humedad de la empresa que comercializa productos químicos en Puebla.	70
Figura 14. Botón en el parámetro de humedad	70
Figura 15. Conductímetro de la empresa que comercializa productos químicos en Puebla.	71
Figura 16. Medición de pH en solución acuosa.	71
Figura 17. Marcaje de bolsas	73
Figura 18. Seccionado de composta	73
Figura 19. Compost maduro extendido en un contenedor de plástico al sol	74
Figura 20. Compost tamizado	74
Figura 20. Gráfica Temperatura vs Tiempo.	76
Figura 21. Gráfica pH vs Tiempo.	77
Figura 22. Gráfica Humedad vs Tiempo.	78

Figura 23. Envases reutilizados con mezcla de tierra de encino y compost, con semillas de perejil. Día 1	80
Figura 24. Envases reutilizados con mezcla de tierra de encino y compost, con semillas de perejil. Día 10	81
Figura 25. Envases reutilizados con mezcla de tierra de encino y compost, con semillas de perejil. Día 20	81

Índice de Tablas

Tabla 1. Separación de residuos. Fuente propia.....	27
Tabla 2. Residuos que se generan normalmente en una zona urbana. Fuente propia.	30
Tabla 3. Tipos de polímeros y su degradación en un compost. Fuente propia.	36
Tabla 4. Control de aireación. Fuente propia	40
Tabla 5. Parámetros óptimos de humedad. Fuente propia	43
Tabla 6. Parámetros óptimos de temperatura. Fuente propia.	46
Tabla 7. Cuadro comparativo del pH en el compostaje. Fuente propia.....	48
Tabla 8. Parámetro de la relación de carbono/nitrógeno. Fuente propia.....	50
Tabla 9. Relaciones carbono-nitrógeno de diferentes materiales. Fuente: Adaptado de P. Román. Manual del compostaje. FAO. (2013).	66
Tabla 10. Características para evaluar el compost maduro. Fuente propia	72
Tabla 11. Datos obtenidos de temperatura	76
Tabla 12. Datos obtenidos de pH.....	77
Tabla 13. Datos obtenidos de humedad.....	78
Tabla 14. Tabla de muestras de las cuatro secciones.	80
Tabla 15. Datos obtenidos de pesaje y relación C:N.....	81
Tabla 16. Formula relación C:N.....	82

Abreviaturas y símbolos

<i>H₂O</i>	Agua
<i>CH₄</i>	Metano
<i>CO₂</i>	Dióxido de carbono
<i>Si</i>	Silicio
<i>Al</i>	Aluminio
<i>O</i>	Oxígeno
<i>NH₄⁺</i>	Ion de amonio
<i>NH₃</i>	Amoniaco
<i>NH₄Cl</i>	Cloruro de amonio
<i>C</i>	Carbono
<i>N</i>	Nitrógeno
C:N	Relación carbono-nitrógeno
pH	Potencial de hidrogeno
mm	Milímetros
Kg	Kilogramos
L	Litros
ml	Mililitros
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la zeolita como aditivo en un sistema cerrado de compostaje, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso y la calidad del producto final.

Se implementó un diseño completamente al azar con solo un tratamiento de 10% de zeolita respecto al peso de la mezcla inicial, junto con un 5% de carbón activado reutilizado de una planta de tratamiento de agua residual (Planta de tratamiento de una empresa compresora de gas natural).

Los residuos utilizados incluyeron restos vegetales y estiércol, ajustados a una relación carbono-nitrógeno inicial de 25–35:1 y humedad de 50–60%.

Durante 5 meses se monitorearon temperatura, pH, humedad, pérdida de masa y características físicas del compost, complementando la evaluación con pruebas de estabilidad y un bioensayo de germinación.

Los resultados mostraron que las unidades con zeolita alcanzaron mayores temperaturas máximas (63 °C) y prolongaron la fase termofílica, en comparación con el control (58 °C).

Asimismo, presentaron menor fluctuación de pH, menores pérdidas de masa y un índice de germinación superior al 80%, frente al 75% del control.

Se obtuvo un compost final con olor terroso, color marrón oscuro y textura homogénea, aunque el material con zeolita mostró mayor esponjosidad.

Se concluye que la incorporación de zeolita en proporciones de 5–10% contribuye a estabilizar el proceso, reducir pérdidas de nutrientes y obtener un compost de mayor calidad, lo que la convierte en una enmienda mineral viable para el aprovechamiento sostenible de residuos orgánicos.

Además, que la adición de 5% de carbón activado no contribuye significativamente al proceso de degradación del compost.

Introducción

En la actualidad, el manejo de desechos orgánicos se ha convertido en una de las principales preocupaciones en la agenda ambiental global. Cada año, millones de toneladas de residuos orgánicos, que incluyen restos de alimentos, residuos de jardinería y otros materiales biodegradables.

Estos desechos terminan en vertederos, contribuyendo a la contaminación del suelo, el agua y el aire.

Este problema no solo afecta al medio ambiente, sino que también representa un desafío significativo para la salud pública y la sostenibilidad de las ciudades. Por tanto, es crucial abordar la gestión de estos desechos de manera efectiva y sostenible.

El desecho orgánico, que comprende aproximadamente un 30% del total de los residuos sólidos urbanos, es un recurso valioso que, si se maneja adecuadamente, puede transformarse en abono natural a través del compostaje.

Este proceso no solo reduce la cantidad de residuos que se envían a los vertederos, sino que también enriquece el suelo, promueve la agricultura sostenible y ayuda a mitigar el cambio climático al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los vertederos, al descomponer estos residuos anaeróbicamente, producen metano, un gas con un potencial de calentamiento global mucho mayor que el dióxido de carbono.

Materia orgánica → Metano (CH₄) + Dióxido de carbono (CO₂) + Otros subproductos

Por ello, el manejo adecuado de los desechos orgánicos no solo contribuye a la salud del planeta, sino que también ofrece soluciones prácticas y efectivas a problemas ambientales urgentes.

Además, el compostaje y la utilización de desechos orgánicos representan una oportunidad para fomentar la economía circular.

En lugar de considerar los residuos como un problema, se pueden ver como un recurso valioso que puede ser reutilizado y reciclado.

Este cambio de paradigma es esencial en un mundo donde los recursos naturales son cada vez más limitados.

Promover el uso de desechos orgánicos como materia prima para la producción de compost puede generar beneficios económicos y sociales, al tiempo que se reduce la dependencia de insumos químicos en la agricultura.

La educación y la concienciación sobre la gestión de desechos orgánicos también son aspectos críticos.

Muchas comunidades, empresas y diferentes tipos de organismos aún carecen de información adecuada sobre cómo reducir, reutilizar y reciclar sus residuos.

Por lo que, implementar programas de educación ambiental que enseñen a las personas sobre la importancia del compostaje y cómo llevarlo a cabo puede ser un paso significativo hacia una gestión más sostenible de los desechos.

Al empoderar a los individuos y a las comunidades para que adopten prácticas de compostaje, se fomenta una cultura de sostenibilidad que puede tener un impacto duradero.

En este contexto, es fundamental investigar y desarrollar estrategias efectivas para la gestión de desechos orgánicos.

A medida que las ciudades crecen y la población mundial aumenta, la necesidad de soluciones sostenibles para la gestión de desechos orgánicos se vuelve cada vez más apremiante.

De acuerdo con el Banco Mundial nuestro país (*México*), la generación de residuos sólidos fue de 53.1 millones de toneladas, lo que nos daría de una persona al día un total de 1.2 kilogramos en promedio (Kaza et al. 2018).

El porcentaje mayor corresponde a desechos orgánicos lo cual si hacemos la comparación del año pasado encontramos un exorbitante aumento en la generación residuos sólidos.

A nivel nacional, en 2023 se estimó que se generan 38.51 toneladas diarias de residuos susceptibles de ser aprovechados mediante reciclaje o recuperación de energía; 56,427 toneladas diarias de residuos orgánicos que podrían ser tratados a través de compostaje o biodigestión; y 26,779 toneladas diarias de otros residuos que posiblemente no sean aprovechables (SEMARNAT, Medio Ambiente 2024).

Esta información indica que la sociedad está comenzando a reutilizar estos desechos, principalmente en la producción de compost.

Por lo tanto, es necesario implementar nuevas metodologías en el proceso de compostaje que no solo fortalezcan el procedimiento, sino que también lo hagan más eficiente.

Las zeolitas naturales extraídas de yacimientos en México tienen la capacidad de promover el crecimiento de plantas y flores que contribuyen a la biorremediación de suelos.

Esto se debe a su estructura tridimensional cristalina, altamente ordenada, compuesta por silicio (Si), aluminio (Al) y átomos de oxígeno (O), los cuales están conectados a través de puentes de oxígeno.

Las unidades tetraédricas que constituyen la estructura cristalina de la zeolita están formadas por un átomo central de silicio o aluminio, enlazado a cuatro átomos de oxígeno.

Esta estructura tetraédrica confiere a la zeolita propiedades que pueden potenciar y mejorar los resultados del sustrato en procesos de compostaje.

El potencial de aplicación de las zeolitas es vasto y aún no completamente explorado, ya que existen numerosas aplicaciones que permanecen desconocidas.

No obstante, el presente proyecto se centra en evaluar de manera específica la eficacia de las características de las zeolitas en combinación con otro material, el

cual es “carbón activado”. El objetivo es determinar en qué medida estas propiedades sinérgicas pueden contribuir a mejorar los resultados en el contexto de estudio.

El presente estudio contribuirá a la generación de avances significativos que permitirán una utilización más eficiente de los desechos en comparación con los métodos previos.

Utilizando residuos generados por la empresa que comercializa productos químicos en el estado de Puebla, este trabajo establecerá un precedente para otras organizaciones, tanto del sector privado como público, en cuanto a la gestión de sus desechos orgánicos.

Además, servirá como referencia para abordar de manera más efectiva el problema del desaprovechamiento de estos residuos.

Planteamiento del problema

A pesar de la importancia del compostaje como una solución sostenible para la gestión de residuos orgánicos, su adopción a nivel comunitario sigue siendo limitada.

Las razones pueden incluir la falta de conocimiento, la percepción de que es un proceso complicado o la ausencia de políticas de apoyo.

La empresa de la que se tomó los residuos es dedicada a la venta de productos químicos, genera una cantidad significativa de residuos orgánicos, los cuales representan un desafío tanto ambiental.

La gestión inadecuada de estos residuos no solo incrementa los costos operativos, sino que también contribuye a la huella de carbono de la empresa. Conscientes de la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles, la empresa ha decidido implementar un sistema de compostaje.

Sin embargo, este proceso enfrenta diversas dificultades. A pesar de la intención de transformar los residuos orgánicos en compost, la empresa carece de conocimiento sobre el uso de aditivos como la zeolita y el carbón activado, los cuales pueden mejorar significativamente la calidad del compost y acelerar su descomposición.

La zeolita, con su capacidad de retener nutrientes y agua, y el carbón activado, conocido por su capacidad de adsorción de contaminantes, son herramientas que podrían optimizar el proceso, pero su correcta aplicación y beneficios no están suficientemente investigados dentro del contexto de la empresa.

Además, existe incertidumbre respecto a la efectividad de combinar estos materiales en el proceso de compostaje, lo que puede generar resistencia interna a su implementación.

Esto se traduce en una necesidad de investigación que no solo evalúe la viabilidad técnica de esta práctica, sino que también analice la percepción del personal y los posibles beneficios económicos y ambientales que la empresa podría obtener.

La falta de datos concretos y de una estrategia clara para la implementación del compostaje utilizando zeolita y carbón activado limita el avance hacia un modelo de gestión de residuos más sostenible y eficiente.

Por lo tanto, es fundamental abordar esta problemática para facilitar la transición hacia un sistema de compostaje efectivo que optimice el aprovechamiento de los residuos orgánicos y contribuya a los objetivos de sostenibilidad de la empresa.

Justificación

El potencial de aplicación de las zeolitas es vasto y aún no completamente explorado, ya que existen numerosas aplicaciones que permanecen desconocidas.

No obstante, el presente proyecto se centra en evaluar de manera específica la eficacia de las características de las zeolitas en combinación con otro material, el cual es “carbón activado”.

El objetivo es determinar en qué medida estas propiedades sinérgicas pueden contribuir a mejorar los resultados en el contexto de estudio.

El presente estudio contribuirá a la generación de avances significativos que permitirán una utilización más eficiente de los desechos en comparación con los métodos previos.

Utilizando residuos generados por la empresa que comercializa productos químicos en Puebla, con este trabajo se establecerá un precedente para otras organizaciones, tanto del sector privado como público, en cuanto a la gestión de sus desechos orgánicos.

Servirá como referencia para abordar de manera más efectiva el problema del desaprovechamiento de estos residuos.

Además de que el aprovechamiento de residuos orgánicos representa múltiples beneficios, igualmente que se disminuye la problemática que viven las poblaciones aledañas al relleno sanitario, que en últimas son las personas más afectadas con el mal manejo de los residuos orgánicos.

Dentro de los beneficios ambientales que representa se encuentra:

- Reducen la cantidad de residuos que llegan al relleno sanitario.
- Se transforman en materia prima para fertilización ecológica.
- Contribuyen a la recuperación de suelos degradados.

Los sustratos orgánicos, al aplicarse al suelo, activan principalmente los procesos microbianos, mejorando simultáneamente su estructura, aireación y capacidad de retención de humedad, además de aportar pequeñas cantidades de nutrientes.

Estos sustratos incluyen subproductos animales, estiércoles, residuos vegetales y lombri-compuestos.

Su importancia en la agricultura radica en su capacidad para aumentar el potencial productivo del suelo, actuando como potenciadores de sus características físicas, químicas y biológicas.

Los abonos orgánicos proporcionan diversos nutrientes esenciales para las plantas, incrementando la fertilidad del suelo.

Asimismo, favorecen el desarrollo radicular, fortalecen el soporte de las plantas, promueven la salud del cultivo y aportan hormonas que influyen positivamente en los mecanismos fisiológicos de las especies vegetales.

Objetivos

Objetivo general

Crear un sustrato capaz de ayudar a fertilizar plantas derivado de un compost con desechos orgánicos emitidos por la empresa que comercializa productos químicos en Puebla, en combinación con zeolita $(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ y carbón activado reutilizado de una planta de tratamiento de agua.

Objetivos específicos

- Analizar la eficiencia del carbón activado y la zeolita dentro de un sustrato de un compost utilizando los siguientes puntos:
 - Mejora de la calidad del compost.
 - Impacto en la descomposición de materiales orgánicos.
 - Influencia en la retención de humedad y nutrientes.
 - Seguimiento de la Descomposición:
 - ◆ Temperatura y Humedad: Medir y registrar regularmente la temperatura y humedad del compost.
 - ◆ Velocidad de Descomposición: Evaluar la tasa de descomposición observando la reducción del volumen y el cambio en la textura y color del compost.
- Investigar las posibles aplicaciones del sustrato generado como resultado del compost al tema de biorremediación de suelos.
- Analizar el pH, la temperatura y el % de humedad del proceso del compost.
- Analizar y comparar el tiempo de maduración del composteo propuesto a de composteos convencionales utilizando los siguientes parámetros:
 - Análisis de la Calidad del Compost:

- ◆ Propiedades Físicas: Medir la textura, la estructura y la aireación del compost. La zeolita puede mejorar la aireación y la estructura del compost.
- ◆ pH: Medir el pH del compost para evaluar su acidez o alcalinidad.
- ◆ C/N Ratio: Calcular la relación carbono/nitrógeno del compost para asegurar un equilibrio adecuado.
- Pruebas de Madurez del Compost:
 - ◆ Pruebas de Germinación: Realizar pruebas de germinación de plantas utilizando el compost para evaluar su calidad y su capacidad para apoyar el crecimiento de plantas.

Hipótesis de la investigación

El sustrato generado por el compost es capaz de ayudar a fertilizar eficazmente semillas y plantas que ayuden a la biorremediación de suelos, aumento la velocidad promedio de maduración de un compost sin zeolita ni carbón activado.

1. ANTECEDENTES

El compostaje es un proceso biológico que transforma residuos orgánicos en un producto útil, el compost, que mejora la calidad del suelo y contribuye a la sostenibilidad ambiental.

En las últimas décadas, la creciente preocupación por la gestión de residuos y el impacto ambiental ha llevado a un aumento significativo en la investigación sobre técnicas de compostaje y su implementación en diferentes tipos de organismos.

Diversos estudios han demostrado que el compostaje no solo reduce la cantidad de desechos que terminan en vertederos, sino que también disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero, como el metano, que se generan en los vertederos.

Según una investigación realizada por Smith et al. (2020), el compostaje puede reducir en un 30% la cantidad de residuos orgánicos que se envían a vertederos, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático.

A pesar de estos beneficios, la adopción del compostaje a nivel comunitario ha sido desigual.

Investigaciones previas, como las de García y Pérez (2019), han identificado barreras significativas para la implementación del compostaje, que incluyen la falta de conocimiento sobre el proceso, la percepción negativa hacia los olores y la falta de infraestructura adecuada.

Estas barreras resaltan la necesidad de desarrollar programas de educación y sensibilización que fomenten la participación ciudadana en prácticas de compostaje.

Asimismo, estudios recientes, como el realizado por López et al. (2021), han explorado diferentes métodos de compostaje, como el compostaje en pilas y el vermicompostaje, destacando sus respectivas eficiencias y beneficios.

Sin embargo, aún existen vacíos en la literatura que abordan las condiciones específicas que favorecen la adopción del compostaje en áreas urbanas y rurales.

El estudio de este compost en función de su proceso combinando zeolita y carbón activado proponen aumentar más conocimiento en el área de compostaje, teniendo como precedente un estudio realizado en Brasil por Ramos, F. T., Weber, O. L., Morais, E. B., Dores, E. F., & Lima, Z. M. (2018). con título “Physical, chemical, and microbiological evaluation of a compost conditioned with zeolites” donde se comprobó que las zeolitas aumentaban la capacidad de intercambio catiónico de los composts y reducían la concentración de micronutrientes hidrosolubles, así como la concentración de microorganismos no deseables como las bacterias coliformes.

Este contexto pone de manifiesto la relevancia de esta investigación, que tiene como uno de los objetivos analizar las prácticas de compostaje en la empresa que comercializa productos químicos, identificar los factores que influyen en su adopción y proponer estrategias para mejorar su implementación.

Al abordar estas cuestiones, se espera contribuir a un mejor manejo de los residuos orgánicos y fomentar prácticas sostenibles en la comunidad.

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Importancia de la materia orgánica en el suelo

La materia orgánica es vital para la salud del suelo y, por ende, para la producción agrícola y la sostenibilidad ambiental. Sin ella, los suelos se vuelven menos productivos y más vulnerables a la degradación.

A demás de esto, es de mucha importancia por las siguientes razones:

- 1.1.1.1. **Fertilidad:** La materia orgánica mejora la capacidad del suelo para retener nutrientes y agua, lo que es esencial para el crecimiento de las plantas. Actúa como un reservorio de nutrientes y ayuda a liberarlos de manera gradual.
- 1.1.1.2. **Estructura del suelo:** Contribuye a la formación de una buena estructura del suelo, lo que mejora la aireación y el drenaje. Esto es vital para el desarrollo de las raíces y la actividad biológica en el suelo.
- 1.1.1.3. **Biodiversidad:** La materia orgánica es un hábitat y fuente de alimento para microorganismos y fauna del suelo. Estos organismos son clave para descomponer la materia orgánica, reciclar nutrientes y mantener la salud del ecosistema del suelo.
- 1.1.1.4. **Capacidad de retención de agua:** Aumenta la capacidad del suelo para retener agua, lo que es especialmente importante en épocas de sequía. Esto ayuda a mantener la humedad necesaria para las plantas.
- 1.1.1.5. **Ciclo de nutrientes:** La descomposición de la materia orgánica libera nutrientes esenciales, como nitrógeno y fósforo, que las plantas necesitan para crecer.
- 1.1.1.6. **Control de la erosión:** La materia orgánica ayuda a estabilizar el suelo, reduciendo la erosión por agua y viento. Esto es crucial para mantener la integridad del suelo y la salud del ecosistema.
- 1.1.1.7. **Secuestro de carbono:** La materia orgánica en el suelo actúa como un sumidero de carbono, lo que ayuda a mitigar el cambio climático al reducir la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera.

Materia Orgánica y su Evolución en el suelo

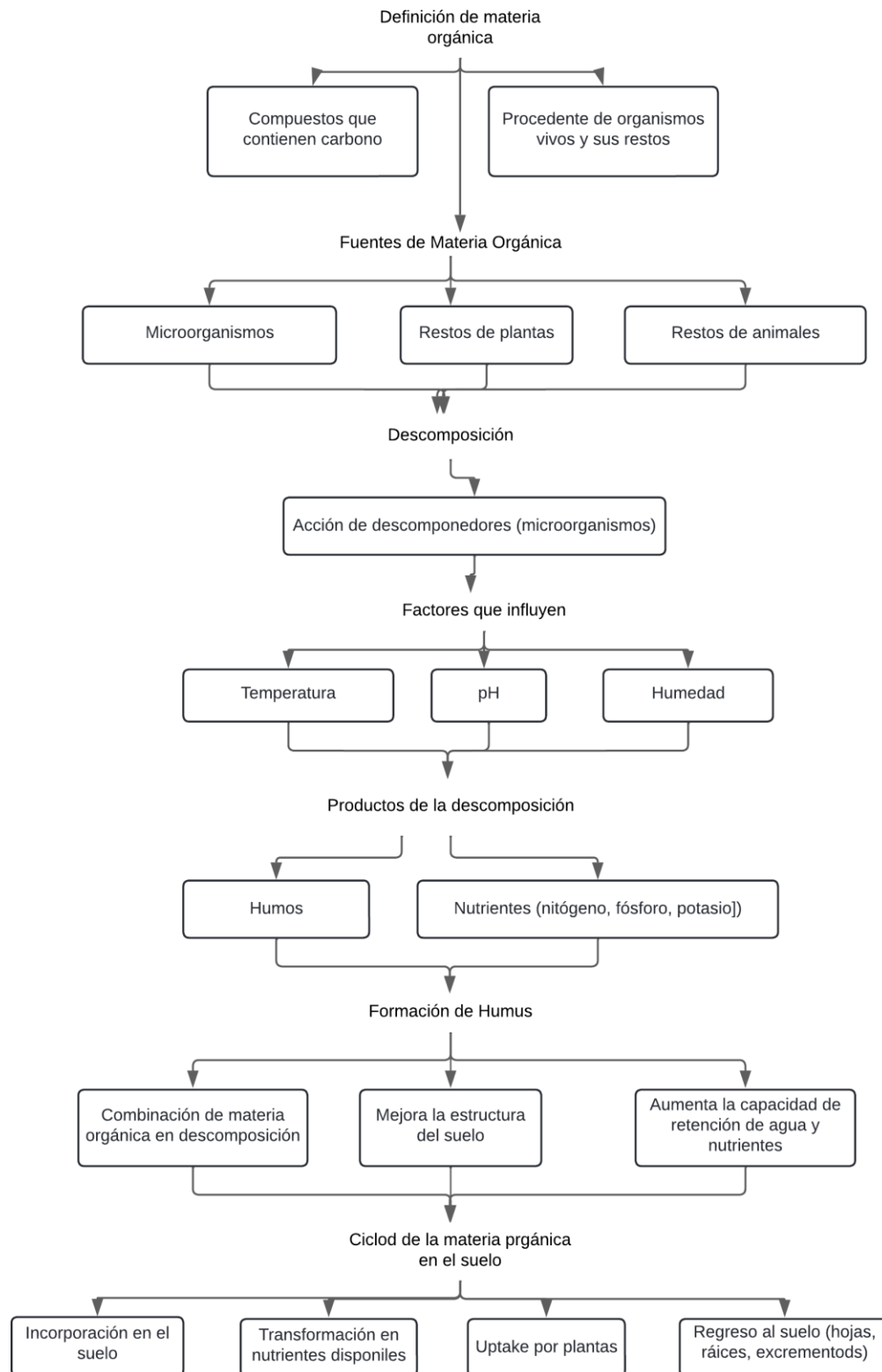


Figura1. Diagrama de materia orgánica y su evolución en el suelo. Fuente propia

1.1.2. Residuos Orgánicos

Dentro de los materiales aprovechables para la elaboración de abonos orgánicos se encuentran los residuos orgánicos. Estos son residuos naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente.

Entre estos se encuentran: restos de residuos vegetales y alimenticios, papeles no aptos para reciclaje que no tengan tintas, pasto, hojarasca, estiércoles de la cría de animales domésticos, residuos de cosechas, aserrines puros o con mezclas de excretas animales, líquidos biodegradables, madera, y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente en materia orgánica.

Para un mejor aprovechamiento de los residuos orgánicos es recomendable hacer una separación de los residuos desde donde se generan, en categorías dependiendo el uso que se les vaya a dar.

ORGÁNICOS	RECICLABLES	ORDINARIOS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Residuos de cocina crudos ✓ Restos de comida cocinados (lavazas) solamente grandes generadores* ✓ Restos de cosecha ✓ Desyerbes ✓ Podas ✓ Hojarasca 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Papel y cartón ✓ Plásticos ✓ Envases de tetra pack ✓ Vidrio ✓ Metales (Aluminio, Cobre, Chatarra) ✓ Discos compactos ✓ Textiles (Telas, trapos, lanas e hilos). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Papel higiénico ✓ Papel absorbente Usado: Servilletas, Papel de cocina, Faciales Pañales y elementos sanitarios ✓ Papel parafinado ✓ Papel plastificado ✓ Papel carbón ✓ Material papel o cartón impregnado de grasa

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Corte de césped ✓ Cáscaras de frutas y tubérculos. ✓ Restos de verduras en general. ✓ Vainas de granos. ✓ Cáscaras de huevo. Cuncho de café Estiércoles ✓ Aserrín y viruta de madera ✓ Papel y cartón libre de tintas ✓ Cenizas. 		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cajas y colillas de cigarrillos ✓ Materiales reciclables que se encuentran contaminados, sucios y /o húmedos.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 1. Separación de residuos. Fuente propia

RESIDUOS TÍPICOS ZONA URBANA			
Tipo de residuo	Descripción	Utilización	Descomposición
Residuos crudos	Corresponden a residuos antes de la preparación de los alimentos, tales como, frutas, verduras en general, cáscaras de frutas y verduras, restos de hortalizas,	Excelente material para utilizar en la producción de abonos orgánicos, es mejor adicionar los residuos frescos antes de que se descompongan.	Lenta

	residuos de preparación de jugos en general, granos, etc.		
Lavaza	Conformados por alimentos que han pasado por algún proceso de cocción, entre estos están: restos de comida y carnes, restos de plantas aromáticas, etc.	No se recomienda su uso en producción de abonos orgánicos por la posible contaminación microbiológica generada por la saliva humana y su alto contenido de sales. Se aconseja su uso para actividades que no sean agrícolas	Rápida
Pasto	Residuo generado cuando se corta el césped	Cuando está recién cortado contiene altas cantidades de nitrógeno, y a medida que va pasando el tiempo se reduce el contenido de nitrógeno y es remplazado por carbono, es un buen material para producción de abonos orgánicos, además, una vez que esté seco, se puede tener acumulado para realizar su introducción en las pilas de compostaje y balancear la relación carbono / nitrógeno.	Rápida
Aserrín	Proveniente de las labores de carpintería	Este residuo es muy bueno para poder tener una relación carbono / nitrógeno	Muy lenta

		adecuada, y se puede tener almacenado por largos periodos de tiempo e ir introduciéndolo cuando se haga la mezcla.	
Chipiado de árboles	Residuo que se genera en la actividad de corte de árboles o de su mantenimiento	Picado o chipiado, es un material excelente para introducir en las mezclas, ya que, debido a su rigidez, le adiciona porosidad a la pila y permite el paso del aire dentro de la mezcla.	Muy lenta
Hojarasca	Residuo que proviene de las hojas de los árboles que caen al piso y se secan	Buen material para utilización en las pilas de compostaje y armado del lecho de las lombrices, ya que les da estructura a las pilas de compostaje y a los lechos de lombrices, además tiene la ventaja de que puede ser acumulado por periodos de tiempo prolongados, así que puedo tener material acumulado e ir introduciéndolo en las mezclas a media que se necesite	Lenta
Cáscaras de huevo	Cáscaras de huevos de gallina u otras aves	Material con alto contenido de calcio, enriquece el abono, lo	Muy lenta

		ideal es introducirlo pulverizado	
Papel y cartón sin tintas		Es un buen material para introducir, pero hay que tener cuidado que no contengan tintas, ya que estas afectan a los microorganismos y lombrices, además reducen la calidad del producto final	Lenta
Cuncho de café	Residuo generado de la preparación de café	Material excelente para cubrir las pilas de compost y así evitar la presencia de moscas y roedores	Lenta

Tabla 2. Residuos que se generan normalmente en una zona urbana. Fuente propia.

1.1.3. Fundamentos teóricos del compostaje

1.1.3.1. Proceso del compostaje

De acuerdo con diversas fuentes de la bibliografía citada, o revisada para realizar esta tesis, muchos autores están en sintonía al creer que un problema ambiental de las explotaciones agrícolas es el de los “residuos orgánicos”.

Este problema consiste en lo que se desecha y no es aprovechado como lo es: resto de podas, de cosecha, de postcosecha, estiércol, fruta caída, pasto, entre diversos otros.

Todo esto debido a la falta de conocimiento, espacios adecuados, tiempo, o falta de capacitación a los trabajadores de las actividades, incluyendo las prácticas que se realizan: quema, enterramiento o abandono del material a la intemperie hasta su putrefacción.

La composta crea la posibilidad de transformar de una manera eficaz y segura los residuos orgánicos en material capaz de ser usado para los procesos de la producción agrícola.

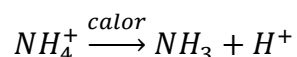
La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. (Portal Terminológico de la FAO, FAOTERM)

Sin embargo, no todos los materiales que son transformados aeróbicamente son considerados compostaje, esto debido a que el proceso incluye diferentes etapas que cumplir con ciertos parámetros para obtener un compostaje de calidad.

Que se utilice un material que no haya finalizado correctamente el proceso del compostaje puede provocar riesgos como:

-Fitotoxicidad: El nitrógeno (Ni) está más en forma de amonio (NH_4^+) en lugar de nitrato (NO_3^-). Cuando el amonio está en condiciones de calor y humedad se transforma en amoniaco, creando un medio tóxico para el crecimiento de la planta y abriendo puerta a los malos olores.

Reacción:



Detalle del proceso:

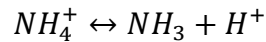
1. Fuente del ion amonio (NH_4^+): El amonio puede provenir de sales como cloruro de amonio (NH_4Cl), sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), o de la disociación de amoniaco en soluciones acuosas.
2. Condiciones necesarias:
 - Calor: La temperatura elevada ayuda a desestabilizar el ion amonio, facilitando la formación de amoniaco gaseoso (NH_3).
 - Humedad: La presencia de agua favorece la disociación del ion amonio y permite que el amoniaco se mantenga parcialmente en solución o se libere en forma gaseosa.

3. Mecanismo químico:

En presencia de calor, el ion amonio se descompone en amoníaco (NH_3) y un ion hidrógeno (H^+). Este último puede reaccionar con agua para formar iones hidronio (H_3O^+), afectando el pH del medio si ocurre en solución.

4. Equilibrio ácido-base:

En solución acuosa, el equilibrio que gobierna este proceso es:



El desplazamiento hacia la producción de amoníaco (NH_3) se favorece a temperaturas elevadas porque el gas amoníaco es más estable bajo esas condiciones.

-Bloqueo biológico del nitrógeno, también conocido como “hambre de nitrógeno”: Si el material orgánico no ha llegado a una relación de carbono/nitrógeno equilibrada ocurre que algún material debe tener mayor presencia de carbono sobre el nitrógeno, y esto en consecuencia cuando se aplique al suelo; los microorganismos consumen el carbono presente en el material y así incrementan su consumo de nitrógeno, agotando este elemento en el suelo.

-Reducción de oxígeno en el radio de la planta en el suelo: Si aplicamos al suelo un material aun en fase de descomposición, los microorganismos consumirán el oxígeno presente en el suelo para poder concluir con el proceso de descomposición, a consecuencia de esto, no habrá disponibilidad de oxígeno disponible en el radio de la planta para su crecimiento.

1.1.3.2. Fases del Compostaje

durante el compostaje, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido que, aunque contiene menos carbono y nitrógeno, es más estable y se conoce como compost (Román et al., 2013).

Dentro de los objetivos de realizar un compostaje están:

- Aprovechar los residuos orgánicos para que no sean llevados al relleno sanitario.

- Destruir microorganismos que causan enfermedades a plantas, animales y humanos.
- Estabilizar residuos orgánicos en materia orgánica para los suelos.
- Transformar los residuos orgánicos en un producto estable y maduro utilizable en agricultura.

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos emiten calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Conforme a la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

- **1.1.3.2.1. Fase mesófila:** el material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 40°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de carbono (C) y nitrógeno (N) generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares generan ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días) (Román et al., 2013).

Cuando el material alcanza temperaturas entre 40 y 45°C, los microorganismos mesófilos son sustituidos por bacterias filamentosas (actinomicetos) y hongos. A temperaturas superiores a 45°C, emergen bacterias termófilas, que facilitan la degradación de compuestos de carbono más complejos, como lo es la celulosa y la lignina.

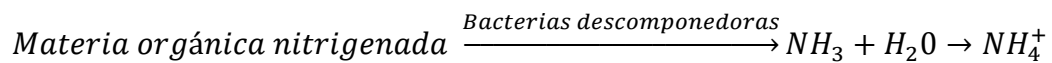
Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas del lugar y otros factores.

- **1.1.3.2.2. Fase de 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 (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina.

Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube.

Durante la descomposición de los desechos orgánicos ricos en nitrógeno, como proteínas y ácidos nucleicos, los microorganismos descomponedores (bacterias y hongos) convierten este nitrógeno en amoníaco (NH_3) o ion amonio (NH_4^+).



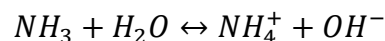
Descripción del Proceso:

1. Mineralización (Descomposición de la materia orgánica):

- Proteínas, aminoácidos y ácidos nucleicos presentes en los desechos orgánicos son degradados por microorganismos.
- Estas biomoléculas liberan compuestos nitrogenados como urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) o ácido úrico.

2. Amonificación:

- En condiciones cálidas y húmedas, bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Clostridium* descomponen los compuestos nitrogenados en amoníaco (NH_3) o ion amonio (NH_4^+), dependiendo del pH del medio.
- Si el medio es ácido, el amonio predomina:



- En un ambiente más alcalino, el amoníaco gaseoso (NH_3) puede volatilizarse y perderse en la atmósfera.

Factores que afectan la conversión

- Temperatura: Mayor actividad microbiana ocurre entre 25/+60°C.
- Humedad: Necesaria para la actividad microbiana, pero en exceso puede provocar pérdida de NH₃.
- Oxígeno: Influye en qué tipo de microorganismos dominan la descomposición

En especial, a partir de los 60°C aparecen las bacterias que producen esporas y actino bacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores.

Esta etapa es conocida como la fase de higienización, ya que el calor generado durante el proceso destruye bacterias y contaminantes fecales, como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Esta fase es crucial, ya que las temperaturas superiores a 55°C eliminan quistes y huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas presentes en el material inicial, resultando en un producto higienizado.

- **1.1.3.2.3. Fase de enfriamiento o mesófila II:** 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.

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. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

La degradación de polímeros en el compostaje es un proceso complejo que depende de la naturaleza del polímero, las condiciones ambientales y la actividad

de los microorganismos descomponedores. Se da en varias etapas y puede tardar desde semanas hasta varios meses, dependiendo del tipo de material.

Tipos de polímeros y su degradación

1. Polímeros naturales (biodegradables): Se degradan con facilidad en el compostaje. Ejemplos:
 - Celulosa (papel, cartón, fibras vegetales)
 - Almidón (bioplásticos, bolsas compostables)
 - Proteínas (sedas, lana, queratina)

2. Polímeros sintéticos biodegradables: Diseñados para descomponerse con microorganismos. Ejemplos:
 - Ácido poliláctico (PLA) (utensilios compostables)
 - Polihidroxialcanoatos (PHA) (envases biodegradables)

3. Polímeros sintéticos no biodegradables: Difícilmente se degradan en compostaje. Ejemplos:
 - Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS)
 - Poliuretanos y PVC

Tipo de polímero	Ejemplo	Tiempo de degradación en compost
Naturales	Celulosa, almidón.	Semanas a meses
Biodegradables sintéticos	Ácido poliláctico (PLA, PHA).	Meses a años
No Biodegradables	Polietileno, Pet.	Décadas a siglos

Tabla 3. Tipos de polímeros y su degradación en un compost. Fuente propia.

- **1.1.3.2.4. Fase de maduración:** Este proceso puede extenderse durante varios meses a temperatura ambiente, tiempo en el cual ocurren reacciones

secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados, dando lugar a la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

La formación de ácidos húmicos y fúlvicos durante la degradación de materia orgánica en el compostaje ocurre a través de una serie de reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados.

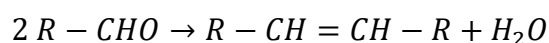
Reacciones de Condensación:

La condensación ocurre cuando dos moléculas se combinan con la pérdida de una molécula pequeña, como agua.

a) Condensación Aldólica

- Ocurre entre aldehídos y cetonas con hidrógenos α disponibles.
- Es clave en la formación de estructuras policíclicas en los ácidos húmicos.

Ejemplo de reacción:

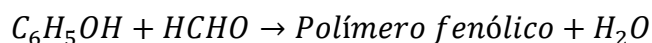


(Dos aldehídos se condensan formando un compuesto insaturado con eliminación de agua).

b) Reacciones de Fenol-Formaldehído (Polimerización de Lignina)

- La lignina y otros compuestos fenólicos se condensan con aldehídos (como el formaldehído) para formar polímeros de estructura aromática.

Ejemplo de reacción:



(El fenol reacciona con formaldehído formando enlaces metílicos, que luego polimerizan para formar estructuras complejas en los ácidos húmicos).

En el compostaje, este proceso contribuye a la estabilidad química de la materia orgánica y la formación del humus.

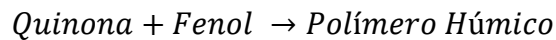
Reacciones de Polimerización

Son reacciones en las que moléculas pequeñas (monómeros) se unen para formar estructuras más grandes.

a) Polimerización de Quinonas y Fenoles

- Derivados fenólicos y quinonas reaccionan entre sí para formar polímeros de tipo húmico.

Ejemplo de reacción:



(Las quinonas reaccionan con fenoles, formando estructuras policíclicas presentes en los ácidos húmicos).

b) Reacciones de Maillard (Polimerización de Melanoidinas)

- Ocurren entre azúcares reductores y grupos aminos, formando estructuras nitrogenadas de color oscuro similares a los ácidos húmicos.

Ejemplo de reacción:



(Los compuestos formados contribuyen a la complejidad química del humus).

Estas reacciones conducen a la formación de macromoléculas complejas, que estructuran los ácidos húmicos (moléculas grandes y resistentes a la degradación) y los ácidos fúlvicos (moléculas más solubles y móviles en el suelo).

1.1.3.3. Monitoreo durante el compostaje

Teniendo en cuenta que realizar una composta es también un proceso biológico en el que participan diferentes microorganismos, se deben de tomar importancia a los parámetros que afectan su reproducción.

Estos parámetros incluyen el oxígeno o aireación, la humedad del sustrato, temperatura, potencial de hidrógeno y la relación carbono-nitrógeno.

Una parte importante para considerar es que el proceso de degradación del compostaje dependerá de las condiciones ambientales en donde se realice, así como el método aplicado, las materias primas que se utilicen y demás elementos.

Por lo que los parámetros varían dependiendo de contexto, no obstante, estos deben estar en constante supervisión para que siempre se encuentren dentro del rango óptimo.

1.1.3.3.1. Oxígeno

El oxígeno (O₂) es un elemento químico fundamental para la vida y uno de los más abundantes en la Tierra. Se encuentra en la tabla periódica con el número atómico 8 y pertenece al grupo de los calcógenos.

Propiedades del Oxígeno

- Símbolo químico: O
- Número atómico: 8
- Masa atómica: 15.999 u
- Estado natural: Gas incoloro, inodoro e insípido a temperatura ambiente.
- Reactividad: Altamente reactivo, forma compuestos con la mayoría de los elementos.
- Solubilidad: Se disuelve ligeramente en agua, permitiendo la respiración acuática de los organismos marinos.

Al ser el compostaje un proceso aerobio, se debe de cumplir con una aireación adecuada para que los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera.

Esto también actúa como un factor de ayuda ya que elimina la posibilidad de que al material se compacte o se encharque.

El oxígeno es un factor primordial durante todo el proceso, sin embargo; su mayor consumo será necesario durante la fase termofílica.

La saturación de oxígeno en la composta no debe de bajar del 5%, siendo un nivel adecuado el 10%.

Si se da el caso de que haya un exceso de aireación, provocaría un descenso de temperatura en nuestro proceso y pérdida de humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición del material orgánico se detenga por falta de agua.

Así mismo las células de los microorganismos se deshidratarían, que como consecuencia producirían esporas, además de detener la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos.

Porcentaje de aireación	Problema		Soluciones
<5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua.	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación.
5% - 15% Rango ideal			
>15%	Exceso de aireación	Descenso de temperatura y evaporación de agua.	Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Regular la humedad proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua.

Tabla 4. Control de aireación. Fuente propia.

1.1.3.3.2. Dióxido de Carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro e inodoro compuesto por un átomo de carbono (C) y dos átomos de oxígeno (O₂). Es un componente clave del ciclo del

carbono y tiene un papel fundamental en la atmósfera, la respiración, la fotosíntesis y el cambio climático.

Propiedades del Dióxido de Carbono

- Fórmula química: CO_2
- Masa molar: 44.01 g/mol
- Estado a temperatura ambiente: Gas
- Densidad: Más denso que el aire (1.98 kg/m^3)
- Solubilidad: Se disuelve en agua formando ácido carbónico (H_2CO_3), lo que lo hace responsable de la acidez en lluvias y océanos.

Ya sea para un proceso como realizar composta o como respirar para un ser vivo que se mueva, el oxígeno sirve para transformar (oxidar) el C presente en las materias primas (sustrato o alimentos) en combustible.

Durante el proceso del compostaje el CO_2 se libera por acción de la respiración de los microorganismos presentes, por lo que la concentración varía con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato.

La producción de CO_2 durante el proceso de compostaje se considera de bajo impacto ambiental ya que llega a ser capturado de las plantas para realizar fotosíntesis.

1.1.3.3.3. Humedad

La humedad es la cantidad de vapor de agua presente en el aire o en una superficie. Es un factor clave en diversos procesos naturales y afecta desde el clima hasta la conservación de materiales y la comodidad humana.

Tipos de Humedad

- Humedad Absoluta: Cantidad total de vapor de agua en el aire, expresada en g/m^3 .

- Humedad Relativa: Relación entre la cantidad de vapor de agua en el aire y la cantidad máxima que podría contener a una temperatura dada. Se expresa en porcentaje (%).
- Humedad Específica: Relación entre la masa de vapor de agua y la masa total del aire húmedo.
- Punto de Rocío: Temperatura a la cual el aire debe enfriarse para que el vapor de agua se condense en forma de gotas o rocío.

45% - 60% Rango ideal			
Porcentaje de humedad	Problema		Posible solución
<45%	Humedad insuficiente	El proceso de compostaje se puede detener por falta de agua para los microorganismos presentes.	Se debe regular la humedad, algunas posibles soluciones es administrar agua al material, añadir material fresco con mayor contenido de agua.
>60%	Oxígeno insuficiente	El material del compost está muy húmedo, el oxígeno no es suficiente para satisfacer el proceso de degradación, lo que puede llegar a	Reducir la humedad, algunas posibles soluciones es adicionar material seco con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como lo

		generar zonas anaerobias.	son aserrines, paja u hojas secas.
--	--	---------------------------	------------------------------------

Tabla 5. Parámetros óptimos de humedad. Fuente propia.

1.1.3.3.4. Temperatura

Se define como la magnitud física que mide el grado de calor o energía cinética promedio de las partículas en un cuerpo o sistema. En otras palabras, indica qué tan caliente o frío está un material respecto a una escala de medición.

En el compostaje, la temperatura es un parámetro fundamental porque:

1. Indicador de actividad microbiana:

- La descomposición de la materia orgánica depende de la acción de bacterias, hongos y otros microorganismos.
- Cuando la actividad microbiana es intensa, se libera calor, elevando la temperatura de la pila.

2. Control de fases del compostaje:

- Fase mesófila (20–40 °C): los microorganismos iniciales degradan azúcares y compuestos simples.
- Fase termófila (40–70 °C): se alcanzan temperaturas altas, lo que favorece la descomposición de compuestos más complejos como celulosa y lignina.
- Fase de maduración: la temperatura desciende hasta acercarse a la ambiental, indicando la estabilización del material.

3. Higienización del material:

- Mantener temperaturas entre 55–65 °C durante cierto tiempo permite la eliminación de patógenos, huevos de parásitos y semillas de malezas.

4. Indicador de manejo:

- Permite decidir cuándo voltear la pila para oxigenarla y reactivar la actividad microbiana.
- Si la temperatura baja demasiado o sube en exceso (más de 70 °C), indica desequilibrio en la mezcla (falta de humedad, oxígeno o proporción adecuada de carbono/nitrógeno).

La temperatura no solo refleja la intensidad del proceso biológico, sino que también sirve como guía de control y seguridad para asegurar que em compost final sea estable, seguro y de buena calidad.

Temperatura (°C)	Posibles Causas		Posible Solución
Baja temperatura (Temperatura ambiente <35°C)	Humedad insuficiente	La temperatura normalmente es causada por la falta de humedad en el compost, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	Una posible solución sería humedecer el material o añadir material fresco con un mayor porcentaje de humedad, pueden ser restos de fruta, verdura o pasto mojado.
	Material insuficiente	Insuficiente material u la forma de la pila del compost es inadecuada para el buen	Una posible solución es añadir una capa más de material al compost.

		aprovechamiento de una temperatura adecuada.	
	Déficit de nitrógeno/ Baja relación de C:N.	El material tiene una alta relación de C:N por lo que los microorganismos no tienen el nitrógeno suficiente para generar enzimas y proteínas lo que hace que disminuyan o ralenticen su actividad.	Una posible solución es añadir material con alto contenido en nitrógeno como lo es el estiércol.
Altas temperaturas (Temperatura ambiente >70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición, por lo que la actividad microbiana se mantiene en un nivel bajo, insuficiente para activar a los microorganismos	Una posible solución es voltear y verificar el porcentaje de humedad, además de añadir material con alto contenido en carbono con baja tasa de degradación como lo es madera y pasto seco, lo que ocasionará una

		mesófilos y así facilitar la fase final del proceso del compostaje.	ralentización del proceso.
--	--	---------------------------------------------------------------------	----------------------------

Tabla 6. Parámetros óptimos de temperatura. Fuente propia.

1.1.3.3.5. pH

El pH es una medida que expresa la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en una disolución, indicando su grado de acidez o alcalinidad en una escala que va de 0 a 14:

- pH < 7: medio ácido
- pH = 7: neutro
- pH > 7: medio alcalino

pH en el compostaje:

1. Condiciones para la actividad microbiana

- La mayoría de los microorganismos descomponedores se desarrollan mejor en un rango de pH entre 6 y 8.
- Valores muy ácidos (<5,5) o muy alcalinos (>9) reducen la diversidad y eficiencia microbiana.

2. Evolución del proceso

- En las primeras fases puede bajar el pH por la formación de ácidos orgánicos.
- Posteriormente, a medida que avanza la degradación y se libera amoníaco, el pH tiende a subir hacia valores alcalinos.
- En la fase de maduración, el pH suele estabilizarse en torno a la neutralidad (6,5–7,5).

3. Indicador de estabilidad y calidad

- Un pH estable y cercano a neutro indica que la materia orgánica ya está estabilizada.
- Si el compost terminado presenta pH extremo, puede ser tóxico para plantas o afectar la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

El pH es un parámetro clave de control ya que refleja el equilibrio químico del proceso, asegura un ambiente adecuado para los microorganismos y permite determinar cuando el compost ha alcanzado la madurez y la calidad necesaria para su uso.

Etapa del compost	Rango típico de pH	Causas	Interpretación
Mesófila	5,5 – 6,5	Se forman ácidos orgánicos por la descomposición inicial de azúcares y proteínas.	Podemos obtener datos de acidez ligera; si baja demasiado es un indicador de que la actividad microbiana es demasiado lenta.
Termófila	7,0 – 9,0	Degradación intensa de proteínas y liberación de amoníaco (NH ₃).	El pH tiende a alcalinizarse, tendemos a obtener datos con valores altos (>9) por lo general indican un exceso de nitrógeno.
Mesófila II	5,5 – 6,5	Continúa la degradación de	Los organismos mesófilos reinician

		polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista.	su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino.
Maduración	6,5 – 7,5	Neutralización de compuestos y humidificación de la materia orgánica.	El pH se estabiliza finalmente a un nivel neutro, lo que nos indica que el compost es estable y seguro para su aplicación.

Tabla 7. Cuadro comparativo del pH en el compostaje. Fuente propia.

1.1.3.3.6. Relación Carbono – Nitrógeno (C:N)

La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) es la proporción existente entre la cantidad de carbono y de nitrógeno en los materiales orgánicos que se emplean en un compostaje.

El carbono (C) es la principal fuente de energía para los microorganismos, ya que lo utilizan para su metabolismo.

El nitrógeno (N) es esencial para la síntesis de proteínas y enzimas, fundamentales para el crecimiento y reproducción microbiana.

La importancia de la relación C:N en el compostaje:

Equilibrio para la actividad microbiana

- Una relación adecuada garantiza que los microorganismos tengan suficiente energía (C) y nutrientes (N) para degradar la materia orgánica eficientemente.

Velocidad del proceso

- Una relación óptima inicial se sitúa entre 25:1 y 30:1.
- Si hay exceso de carbono (C/N muy alta, >40:1): el proceso es lento, ya que falta nitrógeno para la síntesis de proteínas.
- Si hay exceso de nitrógeno (C/N baja, <20:1): se generan pérdidas de amoníaco, malos olores y riesgo de toxicidad.

Evolución del compost

- Durante el proceso, el carbono se va perdiendo en forma de CO₂, lo que hace que la relación C/N disminuya progresivamente.
- Un compost maduro suele alcanzar valores de 10:1 a 15:1, lo que indica estabilización.

Calidad del compost final

- Un C/N equilibrado en el producto terminado evita fitotoxicidad y asegura que los nutrientes estén disponibles para las plantas.

La relación C:N es un parámetro clave de monitoreo, porque determina la eficiencia del proceso y la calidad del compost.

Rango ideal	15:1 – 35:1		
C:N	Problema	Causas	Posible Solución
>35:1	Exceso de carbono	En el compost existe una cantidad considerablemente mayor de material rico en carbono, el proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse.	Adicionar material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N

<15:1	Exceso de Nitrógeno	En el compost existe una cantidad considerablemente mayor de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoniaco liberado.	Adicionar material rico en carbono como son restos de poda, hojas secas o aserrín.
-------	---------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 8. Parámetro de la relación de carbono/nitrógeno. Fuente propia.

1.1.3.3.7. Tamaño de partícula

Se refiere a la dimensión física de los fragmentos de los materiales orgánicos que se utilizan en una pila de compostaje, es decir, qué tan grandes o pequeños son los trozos de residuos después de ser triturados o preparados.

Importancia del tamaño de partícula en el compostaje:

Superficie de contacto para los microorganismos

- Cuanto más pequeñas son las partículas, mayor superficie queda expuesta para que los microorganismos actúen.
- Esto acelera la descomposición de la materia orgánica.

Aireación y oxigenación

- Si las partículas son demasiado finas, la pila puede compactarse, reduciendo el flujo de aire y favoreciendo condiciones anaerobias (malos olores, fermentación no deseada).
- Si las partículas son demasiado grandes, queda mucho espacio vacío y la descomposición se hace más lenta.

Retención de humedad

- Un tamaño intermedio ayuda a mantener el agua distribuida en la pila.
- Materiales muy finos retienen demasiada humedad, mientras que partículas grandes la pierden rápidamente.

Eficiencia del proceso

- El equilibrio ideal se logra con partículas de 1 a 5 cm de diámetro aproximadamente, dependiendo del material.
- Ramas o restos leñosos deben triturarse para mejorar la descomposición y mezclarse con materiales más húmedos y ricos en nitrógeno.

Calidad del compost final

- Un triturado adecuado asegura un producto homogéneo, más estable y fácil de manejar en aplicaciones agrícolas.

1.1.4.ZEOLITA

La zeolita es un mineral de origen natural o sintético que pertenece al grupo de los aluminosilicatos cristalinos.

Su estructura está formada por una red tridimensional de tetraedros de silicio (SiO_4) y aluminio (AlO_4) unidos entre sí por átomos de oxígeno.

Esta disposición genera un sistema de canales y cavidades internas de tamaño molecular, lo que convierte a la zeolita en un material con propiedades de tamiz molecular.

Dentro de estas cavidades suelen alojarse cationes intercambiables (como sodio [Na], potasio [K], calcio [Ca] o magnesio [Mg]) y moléculas de agua, que pueden entrar o salir sin alterar la estructura sólida del mineral.

Existen dos tipos de zeolitas:

Naturales: se forman en ambientes volcánicos e hidrotermales, por la interacción de cenizas volcánicas con aguas ricas en minerales.

Sintéticas: se producen en laboratorio, ajustando su estructura para usos específicos en la industria (como catálisis, petroquímica o purificación de gases)

La zeolita es un mineral microporoso con estructura ordenada y propiedades de intercambio iónico y adsorción, lo que le otorga un papel versátil en agricultura, medio ambiente, industria y biomedicina.

Entre sus propiedades principales son:

- La alta capacidad de intercambio catiónico: lo que significa que puede retener y liberar nutrientes o iones.
- Una superficie interna extensa: debido a su estructura porosa ofrece un área de contacto muy grande.
- Adsorción selectiva: atrapa moléculas pequeñas como agua (H_2O), amoníaco (NH_3) o dióxido de carbono (CO_2).
- Estabilidad térmica y química: mantiene su estructura bajo diferentes condiciones.
- Acción como tamiz molecular: discrimina y selecciona el paso de moléculas según su tamaño y forma.

1.1.4.1. Historia de la Zeolita

El término zeolita proviene del griego zeo (“hervir”) y lithos (“piedra”), y fue acuñado en 1756 por el mineralogista sueco Axel Fredrik Cronstedt.

Durante un experimento, observó que, al calentar un mineral natural, este liberaba vapor de agua como si estuviera “hirviendo”, pero sin descomponerse. Así nació el nombre de “piedra que hierve”.

Los estudios iniciales empezaron en el siglo XVIII–XIX: se empezaron a identificar distintas variedades de zeolita natural en yacimientos volcánicos y en rocas sedimentarias alteradas por procesos hidrotermales.

Se reconoció pronto su capacidad de absorber y liberar agua y de intercambiar iones, aunque en ese momento no se entendía del todo su estructura interna.

Durante el siglo XX en la década de 1920–1930 se empezó con el desarrollo de la cristalografía de rayos X, se logró describir la estructura interna de la zeolita, basada en una red tridimensional de aluminosilicatos con cavidades y canales.

En la década de 1950 se empezaron a sintetizar zeolitas en laboratorio, con estructuras controladas, lo que abrió el camino a aplicaciones industriales (refinación del petróleo, catálisis, detergentes).

Además, se descubrió que las zeolitas sintéticas podrían fabricarse con poros de tamaños específicos, lo que permitió actuar como tamices moleculares.

En la segunda mitad del siglo XX, la zeolita natural comenzó a emplearse en agricultura y ganadería, gracias a su capacidad de retener agua (H_2O), amonio (NH_4^+) y nutrientes.

En industria y medio ambiente, se consolidó como material clave en:

- Purificación de gases (eliminación de CO_2 , SO_2 , NH_3).
- Tratamiento de aguas residuales y potables.
- Producción de biogás y compostaje.
- Catálisis petroquímica (craqueo de hidrocarburos).

Hoy se conocen más de 40 tipos de zeolitas naturales y más de 200 sintéticas.

Su importancia es tal que se consideran materiales estratégicos en agricultura sostenible, tecnologías ambientales y procesos industriales.

1.1.5. CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado es un material de origen carbonoso, normalmente obtenido a partir de madera, cáscaras, carbón mineral u otros residuos vegetales, que ha sido sometido a un proceso de activación física o química para desarrollar una estructura altamente porosa.

Esta red de poros microscópicos le otorga una enorme superficie interna, lo que lo convierte en un sólido con gran capacidad de adsorción, es decir, de retener y concentrar moléculas, iones o compuestos presentes en gases o líquidos.

Algunas de sus características principales son:

- Elevada superficie específica: puede superar los 1,000 m² por gramo.
- Diversidad de poros: microporos, mesoporos y macroporos, útiles para retener contaminantes de distintos tamaños.
- Versatilidad: se presenta en polvo, gránulos o pellets.
- Químicamente inerte: no reacciona fácilmente, lo que lo hace seguro en distintos usos.

El carbón activado es como una “esponja molecular” que atrapa contaminantes y nutrientes gracias a su enorme superficie interna y a la afinidad que presenta por diferentes compuestos.

1.1.5.1. Carbón activado en el compostaje

El carbón activado tiene una superficie altamente porosa, capaz de retener fenoles, ácidos grasos volátiles y otros compuestos que, en exceso, pueden inhibir la actividad microbiana.

Esto contribuye a que la población microbiana trabaje de forma más estable.

Absorbe compuestos volátiles como amoníaco (NH₃) y sulfuro de hidrógeno (H₂S), que son los responsables del mal olor en el compost.

Aumenta la superficie de la colonización microbiana, sus poros funcionan como refugio para bacterias y hongos benéficos, favoreciendo la diversidad microbiana que acelera la degradación de la materia orgánica.

Mejora la calidad final del compost debido al reducir fitotoxinas y olores, y retener nutrientes, el compost final suele presentar mejor madurez y mayor aceptación en aplicaciones agrícolas.

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación aplicada, dado que busca generar información útil para mejorar y evaluar el proceso de compostaje en condiciones prácticas, con la finalidad de obtener un producto de mayor calidad y aprovechar los residuos orgánicos de manera sostenible.

El alcance de la investigación es descriptivo-comparativo, ya que se centra en observar, registrar y analizar la evolución de parámetros fundamentales del proceso (temperatura, pH, humedad, tamaño de partícula y relación C:N estimada), contrastando los resultados obtenidos con los de un compostaje previo, sin recurrir a análisis de laboratorio sofisticados.

Finalmente, la investigación se clasifica como de campo, porque los datos se recolectaron directamente en el lugar donde se desarrolló el compostaje, bajo condiciones reales de operación, lo que permitió un seguimiento continuo de los parámetros a lo largo de todo el proceso.

2.2. Materiales:

2.2.1. Materiales del Compostaje:

Para la elaboración de la pila del compost se recolectaron los siguientes residuos orgánicos, todos provenientes de la empresa que comercializa productos químicos en Puebla.:

Residuos Vegetales: Restos de frutas, verduras y hojas secas previamente trituradas, poda de pasto y demás residuos del parea de cocina.

Residuos animales: estiércol fresco de los perros de alrededor del perímetro de la empresa, y papel higiénico y servilletas.

Residuos de oficina: hojas de papel sin tanta tinta previamente trituradas y remojadas.

Aditivos:

Zeolita natural triturada (1–3 mm de tamaño de partícula), incorporada en una proporción del 1% en peso de la mezcla total, con el objetivo de mejorar la retención de nutrientes y controlar la liberación de amoníaco.

Carbón activado (1-3 mm de tamaño de partícula) reutilizado de una planta de tratamiento de agua, incorporada en una proporción del 0.5% en peso de la mezcla total, con el objetivo de proporcionar microorganismos extras que ayuden a la degradación de la materia.

2.2.2. Materiales de Control y monitoreo

Para el seguimiento de los parámetros del proceso se utilizaron:

- Conductímetro digital.
- Balanza digital
- Recipientes plásticos
- Medidor de humedad de varilla

2.2.2.1. Material instrumental:

- 3 vasos de precipitados de 1 L
- 2 vasos de precipitados de 50 ml
- Pisseta

2.2.2.2. Reactivos

- Solución Buffer pH 4
- Solución Buffer pH 7
- Agua destilada

2.3. Área de compostaje

El compostaje se llevó a cabo en un espacio abierto de aproximadamente 2 m², con piso de tierra compactada, donde se construyó la pila en capas alternadas de material seco (rico en carbono) y material húmedo (rico en nitrógeno).

2.4. Sistema de composteo

Para el desarrollo de la investigación se seleccionó un sistema cerrado de composteo, el cual consiste en la descomposición controlada de los residuos orgánicos dentro de un contenedor diseñado específicamente para este fin.

Este sistema permite mantener las condiciones internas más estables en comparación con el compostaje a cielo abierto, lo que favorece la eficiencia del proceso y la calidad del producto final.

El sistema empleado fue un compostador tipo contenedor de hierro cilíndrico con capacidad aproximada de 200 kg, provisto de pequeñas perforaciones laterales que aseguran la aireación natural y evitan la acumulación de líquidos en exceso.

La tapa superior hermética facilita la incorporación de materiales y la protección contra la entrada de agua de lluvia o la dispersión de olores.

La elección de este sistema respondió a varios criterios:

- Control ambiental: al ser cerrado, reduce la proliferación de insectos, la dispersión de olores y la pérdida de nutrientes por lixiviación.
- Monitoreo eficiente: la estructura facilita la medición periódica de parámetros como temperatura, pH y humedad.
- Optimización del espacio: al concentrar el material en un volumen definido, se maximiza la superficie disponible y se agiliza la descomposición.
- Sostenibilidad: el sistema requiere un manejo sencillo, bajo costo de mantenimiento y puede adaptarse a espacios reducidos, lo que lo hace viable para proyectos comunitarios o académicos.



Figura 2. Compostador de la empresa que comercializa productos químicos en Puebla.

2.5. Diseño experimental

Hipótesis: la inclusión de zeolita reduce pérdidas de N (vía NH_3), estabiliza pH, acelera la fase termofílica y mejora indicadores de madurez frente al control sin zeolita.

Se implementó un diseño completamente al azar con un solo tratamiento (10% p/p de zeolita; tamaño de partícula 1–3 mm) y sin réplica por tratamiento.

La unidad experimental fue un compostador cerrado de 200 kg.

La mezcla inicial se ajustó a C/N 25–30:1 y humedad 50–60%.

Se monitorearon temperatura (diaria las primeras dos semanas), pH (bisemanal), humedad (bisemanal, prueba del puño), olor (escala 0–3) y pérdida de masa (semanal).

Se registraron el tiempo a termófila los días ≥ 55 °C y el pH final.

La madurez se evaluó mediante prueba de autocalentamiento (ΔT 24 h) y, de manera opcional, un bioensayo de germinación con lechuga.

Los datos se analizaron mediante ANOVA y pruebas no paramétricas cuando fue necesario, considerando $\alpha = 0.05$.”

VARIABLES POR MEDIR (CAMPO, BAJO COSTO) EN EL PROCESO:

- Temperatura interna (°C): diaria los primeros 14 días; luego cada 2–3 días. Registrar pico y grado-días >55 °C (higienización).
- pH: 2 veces/semana (extracto 1:5 agua–compost o medidor de suelo).
- Humedad: 2 veces/semana (prueba del puño + ajuste con agua si <50%).
- Olor (escala cualitativa 0–3): 2 veces/semana (0 = sin olor; 3 = fuerte amoniacal).
- Volteos: registrar fecha y motivo (temperatura baja, compactación, olor).
- Pérdida de masa/volumen: semanal (peso o altura/diámetro del material).

Calidad/Resultado:

- Tiempo a fase termofílica: hasta >45 °C.
- Días efectivos de higienización: ≥55 °C.
- pH final: meta 6.5–7.5.
- Estabilidad (autocalentamiento simple): ensayar 1 kg en cubo ventilado 24 h; $\Delta T < 10$ °C sugiere estabilidad.
- Textura/olor/color final: cualitativo (terroso, homogéneo, sin restos reconocibles).

Procedimiento operativo estándar (POE):

- Formulación de mezcla: ajustar C/N inicial (25–30:1) y humedad 50–60%.
- Incorporación de zeolita según tratamiento (0, 5 o 10% p/p).
- Carga en cada compostador (mismo volumen/masa).
- Monitoreo (T, pH, humedad, olor) y volteos programados (día 3–4, 7–8 y luego según temperatura/olor).
- Cierre de fase activa cuando T descienda y se estabilice cercana a ambiente.
- Maduración sin disturbios mayores.
- Evaluación final (pH, estabilidad, bioensayo de germinación, apariencia). Plan de análisis de datos:

Criterios de éxito (a priori):

- Higienización: ≥ 3 días acumulados a ≥ 55 °C.
- pH final: 6.5–7.5.
- Estabilidad: ΔT 24 h < 10 °C.
- Madurez: índice de germinación $\geq 80\%$ (si lo aplicas).
- Olor final: terroso, sin notas amoniacales.

3. PROCEDIMIENTO

El compostaje se llevó a cabo en un sistema cerrado, bajo un diseño completamente al azar con un tratamiento de 10% de zeolita respecto al peso de la mezcla inicial.

El procedimiento se desarrolló en las siguientes etapas:

3.1. Preparación de materiales:

Se recolectaron residuos orgánicos de toda la planta de la empresa, los principales desechos recolectados fueron los residuos orgánicos de cocina, papel higiénico servilletas, podas de pasto y hojarasca.



Figura 3. Cáscaras de naranja separadas en una cubeta.

3.2. Acondicionamiento de los residuos:

Se utilizó un cuchillo, unas tijeras y una trituradora eléctrica para reducir el tamaño de partícula, obteniendo un tamaño de entre 5 y 10 cm.

Cortarlos más pequeños generaría un problema de aireación en la pila del compost.



Figura 4. Cáscaras de naranja cortadas a trozos más pequeños con ayuda de un cuchillo y tijeras.

Para el papel de oficina, este se trituro con la ayuda del triturador eléctrico, después se colocó en una tina con agua para eliminar la mayor cantidad de tinta posible y humedecerlo.

Se dejó humedecer durante un periodo de 2 días antes de utilizarlo y se agitó para ayudar a quitar la tinta.



Figura 5. Papel de la oficina tritura y remojado en agua en un tambo.

Para el papel higiénico se separó de otro tipo de residuos que no sean de papel. Este fue colocado en capas de acuerdo al orden que se propuso, para

después humedecerlo con melaza, haciendo una mezcla de 100 ml por litro de agua.



Figura 6. Papel higiénico previamente separado e incorporado a la pila del compost.



Figura 7. Recipiente de aluminio donde se llevó a ebullición agua para disolver piloncillo.



Figura 8. Piloncillo disuelto en agua listo para humedecer el papel higiénico.

3.3. Pesaje y mezcla de materiales:

Se realizó un pesaje de los residuos previamente para conocer el peso de cada material a incorporar, y así conocer el peso del volumen determinado.



Figuras 9 y 10. Báscula de suelo de la empresa que comercializa productos químicos en Puebla.

Una vez pesado cada material, se realizó un mezclado de cada material por capas consecutivas de cada material.

Se lograron obtener un total de 3 series de capas consecutivas.

Se ajustó la relación carbono – nitrógeno inicial en un rango de 25 a 35.

La humedad de la mezcla se mantuvo en un 50 – 60%, determinada mediante la prueba manual de “puño”.

3.3.1. Obtener la relación de C:N (carbono-nitrógeno):

Para calcular la relación carbono – nitrógeno de una mezcla, por ejemplo, 2 kg de papel mezclado, 10 kg de desechos de fruta y 13 kg de heces de perro:

a. Ir a la tabla de relaciones C/N que aparece en la tabla 3, buscar los valores correspondientes a cada uno de estos residuos, donde veremos que al papel mezclado le corresponde una relación 150/1, a los desechos de fruta una relación 35/1 y a las heces de perro una relación de 10/1.

b. Sumar los kilos de todos los componentes de la mezcla (en este caso: 2 kg + 10 kg + 13 kg = 25 kg, los cuales se toman como el 100% del peso).

c. Hallar el porcentaje correspondiente de cada componente, lo que se resuelve mediante una regla de tres simple para cada uno de los componentes:

$$25 \text{ kg} = 100\%$$

$$\text{Papel mezclado: } (2 \text{ kg}) (100\%) / 25 = 8\%$$

$$\text{Desechos de fruta: } (10) (100) / 25 = 40\%$$

$$\text{Heces de perro: } (13) (100) / 25 = 52\%$$

d. Después de haber hallado el porcentaje de cada uno de los componentes en la mezcla, dividiremos cada uno de estos resultados entres 100, dando:

$$\text{Papel mezclado: } 8\% / 100 = 0.08\%$$

$$\text{Desechos de fruta: } 40\% / 100 = 0.4\%$$

$$\text{Heces de perro: } 52\% / 100 = 0.52\%$$

e. Los resultados anteriores se multiplican por sus correspondientes valores en la tabla carbono-nitrógeno (C/N):

$$\text{Papel mezclado: } (0.08\%) (150) = 12$$

$$\text{Desechos de fruta: } (0.4\%) (35) = 14$$

$$\text{Heces de perro: } (0.52\%) (10) = 5.2$$

f. Por último, sumamos todos los valores, obteniendo 31.2 de relación carbono por 1 de nitrógeno (31.2/1).

La suma debe ser un valor entre 25 y 35 o cercano, dependiendo del clima donde se vaya a elaborar el compost: 25 para clima frío y frío moderado; 35 para clima medio y cálido).

3.3.2. Problemas por desbalance C/N

Si el compostaje almacena demasiada cantidad de elementos con contenido en carbono se producirá una evacuación en forma de dióxido de carbono a la atmósfera. La fermentación en este caso será lenta y de temperatura baja y tardaremos más tiempo en obtener el compost final.

En el caso de exceso de contenido de nitrógeno, se producirá una evacuación de amoníaco a la atmósfera, emisión de olores desfavorables y temperaturas altas.

Existen unos parámetros empíricos para identificar y controlar la relación carbono-nitrógeno del compost.

Cuando una composta tiene una relación C/N baja:

- La temperatura del compost es muy alta.
- La pila de compost desprende un olor desagradable a amoníaco.
- Gran presencia de fauna. Gusanos, moscas y otros insectos.
- La materia se oxida o procesa con suma velocidad.

Cuando una composta tiene una relación C/N alta:

- El proceso de compostaje es lento, casi detenido.
- La composta no se calienta, aun aireando adecuadamente y teniendo una cantidad considerable.
- Tarda en aparecer esa textura negra y arenosa y en su lugar hay componentes muy reconocibles y de color marrón.

En general:

- Relaciones menores a 20/1, nos dan alta disponibilidad de nitrógeno y baja de carbono.
- Relaciones entre 20 y 40 moderada disponibilidad de nitrógeno y carbono.

- Relaciones mayores a 40/1 baja disponibilidad de nitrógeno y alta de carbono.

MATERIAL	RELACIÓN C/N	MATERIAL	RELACIÓN C/N
Gallinaza pura	5/1	Estiércol caballo fresco	18/1 – 25/1
Estiércol porcino	7/1	Estiércol caballo seco	60/1
Estiércol vacuno c/paja	20/1	Estiércol de conejo	11/1
Heces humanas	6/1 – 10/1	Estiércol de conejo seco	19/1
Heces perro croquetas	10/1	Heces perro comida	6/1 – 8/1
Hojas de frijol	27/1	Ramas de poda primavera finas	25/1 – 40/1
Restos de podas	44/1	Ramas de poda otoñal	30/1 - 80/1
Hierba fresca	17/1	Mazorca de maíz	117/1
Césped fresco	14/1	Peladura de papa	25/1
Heno	21/1	Papel mezclado	150/1 – 200/1
Restos de hortalizas	37/1	Papel periódico	400/1
Desperdicios de cocina	15/1 – 25/1	Pulpa de café	29/1
Restos de lechugas	14/1	Hojas de café	38/1
Caña fresca de maíz	52/1	Hojas de plátano	32/1
Caña seca de maíz	150/1	Cartón	250/1 – 500/1
Restos de frutas	35/1 – 80/1	Hojarasca seca	47/1
Cáscara de manzana	48/1	Hojarasca fresca	17/1

Tabla 9. Relaciones carbono-nitrógeno de diferentes materiales. Fuente: Adaptado de P. Román. Manual del compostaje. FAO. (2013).

3.4. Formación de capas

Después de tener los resultados de la relación C/N, el material se dispuso formando capas en el compostador, intercalando en material rico en carbono (hojas secas, papel, aserrín) y el rico en nitrógeno (material verde, estiércol).

Las capas tuvieron un espesor aproximado de 10 a 15 cm.

No se debe olvidar ponerse el equipo de protección antes de comenzar (guantes, lentes de seguridad, botas y bata).

Propuesta para la formación de capas:

- I. -Tierra
- II. -Residuos verdes fresco (aporte de N)
- III. -Papel higiénico y de oficina (aporte de C)
- IV. -Tierra
- V. -Material verde
- VI. -Residuos orgánicos
- VII. -Papel
- VIII. -Tierra
- IX. -Residuos secos (hojarasca)

Una vez pesado cada material, se realizó un mezclado de cada material por capas consecutivas de cada material.

Se lograron obtener un total de 3 series de capas consecutivas.

3.5. Volteo:

En el estudio de Oviedo et al. (2014), se mostró que a mayor incremento en la frecuencia de volteo hubo mayores tasas de degradación de la materia orgánica.

Oviedo et al., propone un incremento en la frecuencia de volteo en las fases mesofílicas y termófila (aprox. en las primeras 4 semanas del proceso).

De esta manera se realizarán 6 volteos semanales y posteriormente a las 4 semanas, 1 volteo por semana.

Es recomendable realizar el primer volteo a los dos días de haber establecido la composta.



Figura 11. Primer volteo del compost.

3.6. Monitoreo de temperatura

Se medirá diariamente durante las primeras 4 semanas del proceso.

Si no se cuenta con termómetro digital se puede realizar la prueba introduciendo una varilla metálica en el centro de la pila de compost: si el calor que se percibe es tolerable, posiblemente esté en la fase mesofílica; si el calor que se percibe es intolerable puede que la pila se encuentre en la fase termofílica.

López et al. (2018) en su trabajo midieron la temperatura del sustrato en 3 sitios seleccionados al azar.



Figura 12. Toma de temperatura con el conductímetro.

En la cartilla para la elaboración de abono orgánico del ICA (2015), se recomienda que la composta alcance una temperatura de 60°C a 65°C por los menos dos días para inactivar o eliminar patógenos.

Si la pila sube más de 65°C se debe enfriar realizando volteos.

También podría realizarse con ayuda de nuestras manos, ya que sabemos que, en la primera y la tercera fase del proceso, la temperatura de la pila debe estar caliente pero nuestra mano va a soportar el calor.

En cambio, en la segunda fase, es complicado mantener la mano en contacto con la pila ya que la temperatura está muy elevada.

De esta manera, podremos determinar en campo y sin instrumental las diferentes fases y hacer un control de la temperatura

3.7. Monitoreo de Humedad:

Se medirá diariamente durante la primera semana del proceso y posteriormente al menos tres veces por semana.

La mezcla se debe humedecer con agua hasta obtener una humedad deseada entre el 45% y 60 %.

Esto es importante para que se active más rápido el proceso de degradación. El agua se aplicará con ayuda de una regadera o una cubeta.

La aplicación de agua se hará al momento de ir colocando las capas de desechos en el compostador y durante el proceso de compostaje según lo vaya requiriendo.

La comprobación de la humedad se hará por la prueba de puño.

Esta prueba se realiza agarrando una pequeña cantidad de compost con el puño y apretar.

También se puede hacer el monitoreo con el medidor de humedad con el que cuenta la empresa comercializadora de productos químicos este se introduce en varios puntos de la composta para saber el porcentaje de humedad que presenta. El botón

del medidor se debe colocar en el parámetro de “moist” (humedad en español) antes de comenzar la medición.



Figura 13. Medidor de humedad de la empresa que comercializa productos químicos en Puebla.



Figura 14. Botón en el parámetro de humedad.

3.8. Monitoreo de pH:

Se monitoreará en dos modalidades de medida, una directamente en la pila y otra en un extracto de compost.

- Medida del pH en la pila: si el compost está húmedo, pero no encharcado, se puede insertar una tira indicadora de pH en el compost.

Se deja reposar durante unos minutos para absorber el agua, y se lee el pH mediante la comparación del color.

- Medida del pH en solución acuosa: de acuerdo con Oveido et al. (2014), se toma una muestra representativa de 200 g proveniente de cuatro puntos opuestos de la composta que luego son integrados.
- Se agita y se toma la lectura, preferiblemente con conductímetro, si no se tiene conductímetro, entonces con tira indicadora, empleando agua destilada y material a analizar en una relación 5:1 (volumen/volumen).



Figura 15. Conductímetro de la empresa que comercializa productos químicos en Puebla.



Figura 16. Medición de pH en solución acuosa.

El tiempo requerido para obtener un compost maduro varía de acuerdo con las condiciones ambientales y al manejo dado del sistema de compostaje, el rango de tiempo está entre 1 a 6 meses.

Los tiempos de degradación se reducen teniendo en cuenta todos los parámetros descritos anteriormente, con la implementación de volteos más frecuentes y aplicación de microorganismos eficientes.

3.9. Maduración del compost:

Las características para evaluar un compost maduro se muestran en la siguiente tabla:

Características Físicas	
Olor	El olor debe ser agradable (como a tierra de bosque), no se debe percibir ningún olor que de indicios de los materiales iniciales.
Color	El compost debe oscurecer con la madurez, llegando a un color café oscuro o negro.
Textura	Esponjosa
Humedad	Humedad entre 30 a 35%. Cuando el proceso termina el compostaje, este debe ser capaz de retener su peso en agua, es decir a un kilo de compost agregar un litro de agua y este debe ser capaz de retenerlo.
Características Químicas	
pH	Debe estar entre 7 y 8.
Temperatura	Debe descender a temperatura ambiente, una forma de saber si el compost termino es hacer la prueba de Jarra, consiste en ponerle un litro de agua a un kilo de compost y dejarlo 24 horas, pasado este tiempo debo verificar si la temperatura aumento, de ser así, el compost está inmaduro y le falta degradación.

Tabla 10. Características para evaluar el compost maduro. Fuente propia

Otros métodos para la comprobación de la maduración del compost son:

1. Tomar mínimo 3 muestras representativas del tamaño de la pila para analizar el aspecto y el olor del material compostado. Debe estar oscuro, con olor a suelo húmedo, y cuando se realiza la prueba de puño, no debe mostrar exceso de humedad.

2. Hacer un cuarteo (división de la pila en 4 partes iguales) y tomar de cada cuarto, 3 muestras de 100 gramos de material compostado, introducirlas en bolsas plásticas y dejarlas por dos días en un lugar fresco y seco.

Si al cabo de este tiempo la bolsa aparece hinchada (llena de aire) y con condensación de humedad puede ser indicativo de que el proceso aún no ha finalizado (el compost está inmaduro) (Román et al., 2013).

Siguiendo este método se recolectarán 12 muestras en total.



Figura 17. Marcaje de bolsas

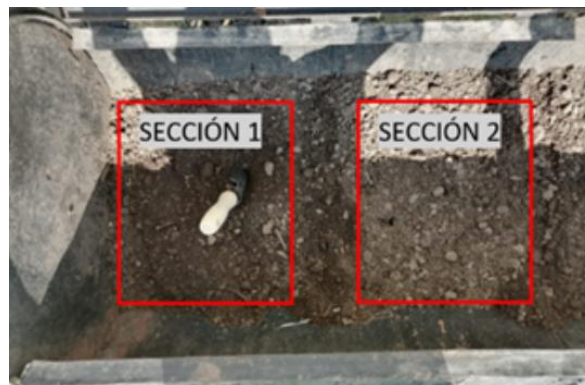


Figura 18. Seccionado de composta.

3.10. Evaluación final

Después de su cosecha el compost debe extenderse sobre un plástico y dejar allí hasta que la humedad disminuya hasta el 30%, posteriormente debe pasarse a través de una malla o tamiz, con el fin de retirar partículas extrañas y materiales que no alcanzaron a ser degradados.

El compost maduro puede ser introducido durante un nuevo proceso.



Figura 19. Compost maduro extendido en un contenedor de plástico al sol.



Figura 20. Compost tamizado.

4. RESULTADOS

Se obtuvieron registros de temperatura, pH, humedad y pérdida de masa en cada una de las unidades experimentales durante un periodo de 3 meses.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada variable monitoreada.

4.1. Temperatura:

Las pilas alcanzaron la fase termofílica entre los días 2 y 4, con temperaturas superiores a 26°C.

El tratamiento con 10% de zeolita alcanzó la máxima temperatura (63 °C), mientras que el control (0%) registrado anteriormente tuvo un valor menor (58 °C).

FECHA	TEMPERATURA
24-ene-24	17.1 °C
31-ene-24	26.6 °C
01-feb-24	30.6°C
08-feb-24	33.8°C
21-feb-24	35.48°C
22-feb-24	41.2°C
23-feb-24	44.22°C
24-feb-24	53.48°C
27-feb-24	56.36°C
28-feb-24	59.9°C
01-mar-24	68.94°C
02-mar-24	35.78°C
08-mar-24	42.94°C
10-mar-24	33.1°C
22-mar-24	25.58°C
29-mar-24	24.18°C

12-may-24 | 22°C
 Tabla 11. Datos obtenidos de temperatura

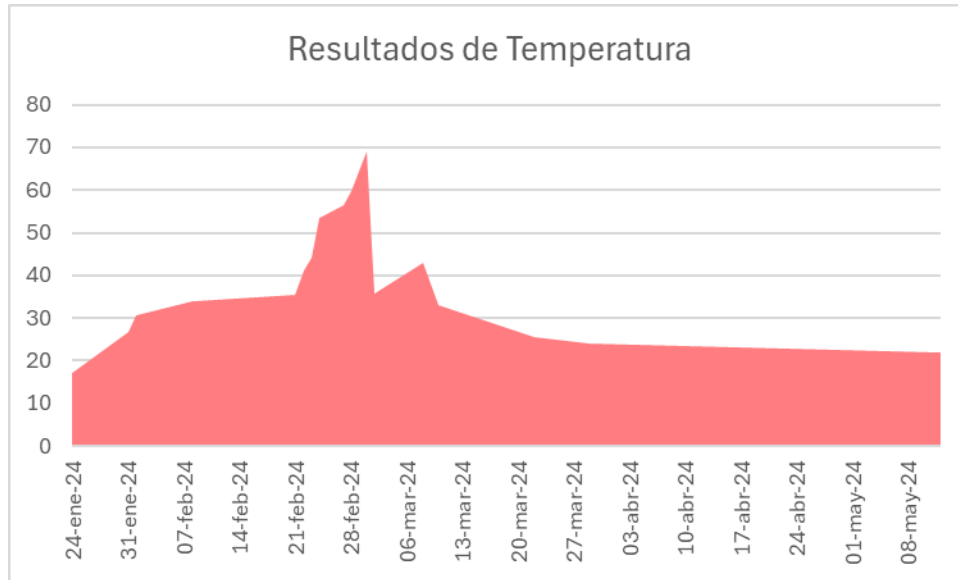


Figura 20. Gráfica Temperatura vs Tiempo.

4.2. pH:

El pH inicial se encontraba en un rango de 7.2–7.3. Durante la fase termofílica se observó un incremento hasta valores alcalinos (7.5–8.0), seguido de una estabilización hacia el final del proceso en un rango óptimo de 7.6–7.96.

Los tratamientos con zeolita mostraron una menor variación en los valores de pH en comparación con el control.

FECHA	pH
24-ene-24	7.23
31-ene-24	7.48
01-feb-24	7.49
08-feb-24	7.76
21-feb-24	7.93
22-feb-24	8
23-feb-24	7.96
24-feb-24	7.88
27-feb-24	7.77
28-feb-24	7.64
01-mar-24	7.66
02-mar-24	7.76

08-mar-24	7.96
10-mar-24	8
22-mar-24	8.4
29-mar-24	7.79
12-may-24	8.4

Tabla 12. Datos obtenidos de pH

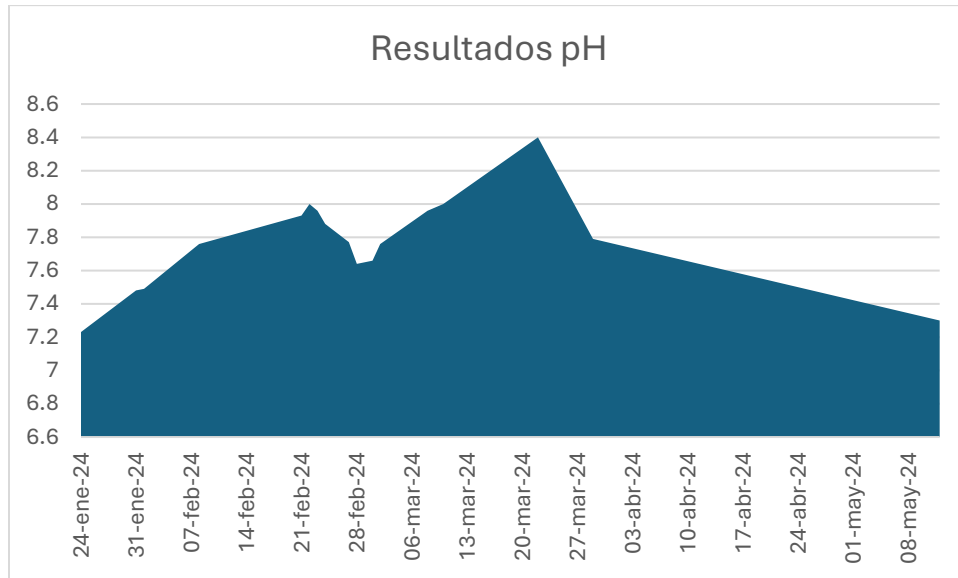


Figura 21. Gráfica pH vs Tiempo

4.3. Humedad

La humedad inicial fue de 50%. A lo largo del proceso se registró una disminución gradual, alcanzando valores de 60% en la etapa de maduración. Se realizaron riegos complementarios cuando la humedad descendió por debajo de 50%.

FECHA	HUMEDAD
24-ene-24	50%
31-ene-24	60%
01-feb-24	60%
08-feb-24	60%
21-feb-24	60-70%
22-feb-24	70-80%
23-feb-24	70-80%
24-feb-24	80-90%
27-feb-24	50-60%
28-feb-24	50-60%

01-mar-24	50-60%
02-mar-24	50-60%
08-mar-24	60-70%
10-mar-24	60-70%
22-mar-24	50-60%
29-mar-24	50-60%
12-may-24	30%

Tabla 13. Datos obtenidos de humedad

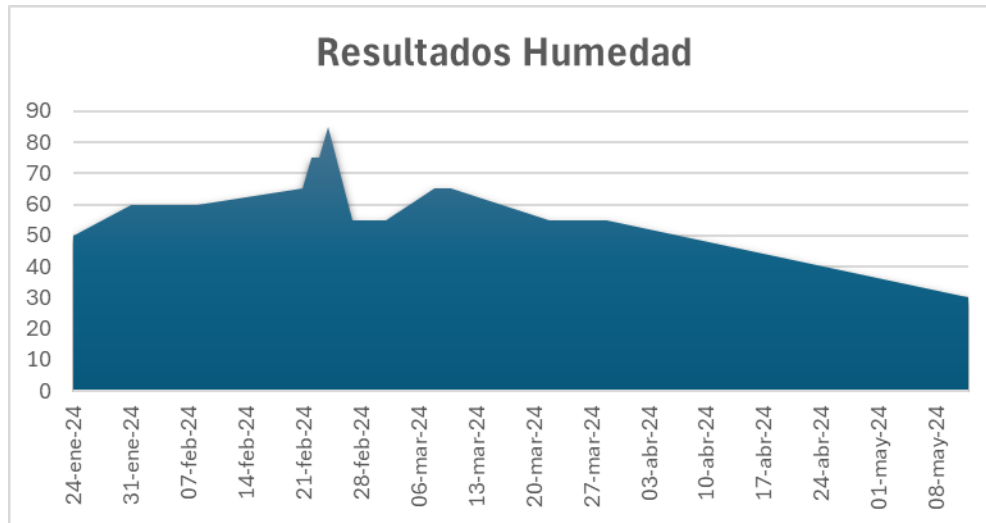


Figura 22. Gráfica Humedad vs Tiempo.

4.4. Estabilidad y madurez

En la prueba de autocalentamiento, todos los tratamientos mostraron una diferencia de temperatura menor a 10 °C en 24 h, lo que indica estabilidad.

El bioensayo de germinación reveló un índice de germinación superior al 85% en los tratamientos con zeolita, mientras que el control alcanzó un 75%.

4.5. Observaciones cualitativas

El compost final de todos los tratamientos presentó olor terroso, color marrón oscuro y textura homogénea. Sin embargo, el material con zeolita mostró mayor esponjosidad y menor compactación.

El peso inicial de cada unidad fue de 54.9 kg. Al final del proceso, el control presentó una reducción del 35%, mientras que los tratamientos con zeolita reportaron pérdidas menores (30% en promedio).

Al cabo de los dos días que se dejaron las muestras colectadas el 29 de marzo de 2024, se observó que la mayoría de las bolsas no se notaba “hinchada” (por presencia de oxígeno) y ninguna presento condensación de humedad.

Sin embargo, por el par de bolsas que se notó un poco hinchada se tomó la decisión de dejar una semana más la composta en reposo.

	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2
MUESTRA 1	 <p>Sin oxígeno Sin humedad</p>	 <p>Poco oxígeno Sin humedad</p>
MUESTRA 2	 <p>Sin oxígeno Sin humedad</p>	 <p>Sin oxígeno Sin humedad</p>
MUESTRA 3	 <p>Sin oxígeno Sin humedad</p>	 <p>Sin oxígeno Sin humedad</p>
	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4
MUESTRA 1	 <p>Sin oxígeno Sin humedad</p>	 <p>Sin oxígeno Sin humedad</p>

<p>MUESTRA 2</p>	 <p>Sin oxígeno Sin humedad</p>	 <p>Sin oxígeno Sin humedad</p>
<p>MUESTRA 3</p>	 <p>Poco oxígeno Sin humedad</p>	 <p>Sin oxígeno Sin humedad</p>

Tabla 14. Tabla de muestras de las cuatro secciones.

4.6. Uso del compost en germinación de semillas

Se utilizó una mezcla de tierra de encino con el compost ya maduro en una proporción de 80:20 (80% de tierra y 20% de compost), se germinaron semillas de perejil.



Figura 23. Envases reutilizados con mezcla de tierra de encino y compost, con semillas de perejil. Día 1



Figura 24. Envases reutilizados con mezcla de tierra de encino y compost, con semillas de perejil. Día 10



Figura 25. Envases reutilizados con mezcla de tierra de encino y compost, con semillas de perejil. Día 20

4.7. Relación C:N

MATERIALES	CANTIDAD (Kg)	RELACIÓN C/N
Papel mezclado	0	150
Materia orgánica	1	44
Heces de perro	6.2	10
Hojarasca seca	14	47
Hierba fresca	0.5	17

Total de material (kg)	21.7
-------------------------------	------

54.9 33.2 kg de arena-tierra

Tabla 15. Datos obtenidos de pesaje y relación C:N

FÓRMULA RELACIÓN C/N		
MATERIAL	% INDIVIDUAL	C/N
Papel mezclado	0.083665339	12.5498008
Desechos de fruta (cáscaras de naranja)	0.290836653	12.79681275
Heces de perro	0.498007968	4.980079681
Hojasca seca	0.067729084	3.183266932
Hierba fresca	0.059760956	1.015936255

Resultado suma C/N	34.52589641
---------------------------	-------------

Tabla 16. Formula relación C:N

5. DISCUSIÓN

Esta composta es la segunda en la empresa comercializadora de productos químicos con papel y residuos orgánicos, con solo un antecedente así que en base en toda la investigación hecha previamente y siguiendo metodologías de otros trabajos similares como el de Ayala (2020).

El cual se hizo con papel de oficina, permitió llevar a cabo métodos más acertados para la descomposición de los residuos, además de agregarle zeolita en una proporción del 10% y 5% de carbón activado del peso total del compost.

De igual manera, basándose de los manuales de compostaje como el de Román et al. (2013), en sus métodos para monitoreo de temperatura, humedad, pH y la disposición de las capas para la composta.

Basándose en los parámetros empíricos para identificar y controlar la relación carbono-nitrógeno (C/N) mencionados en la metodología se puede afirmar que la composta tuvo una correcta relación C/N, ya que la temperatura siempre fue estable.

No se desprendía ningún olor desagradable, no había presencia de fauna, que son indicadores de una relación C/N baja, tampoco tuvo una relación C/N alta, el proceso de compostaje a fue rápido a comparación del anterior, la composta si elevo de temperatura y presenta un color oscuro.

Al inicio de la composta hubo problemas de humedad, ya que estaba por encima del 60% a 70% de humedad recomendada, así que se optó por sacarla por partes del compostador y extenderla en el piso para que redujera la humedad.

Cuando llego al porcentaje de humedad recomendable se devolvió al compostador y en los días siguientes se hicieron los volteos como lo recomienda Oviedo (2014). Estos volteos sin duda contribuyeron a la oxigenación de la composta y a su degradación.

Desde el primero de febrero de 2024 se comenzó a monitorear el pH, el más bajo fue de 7.23 y el más alto fue de 8.4, esto se respalda con la información anteriormente citada, el cual dice que el pH óptimo para la composta debe oscilar entre 7 y 8.

De acuerdo con la prueba del cuarteo que propone Román et al. (2013), se puede decir que el compost está maduro, listo para uso como abono orgánico.

Pese a que no se llegaron a altas temperaturas, los resultados fueron aceptables.

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que el sistema cerrado de compostaje permitió alcanzar temperaturas superiores a 55 °C, lo cual asegura la higienización del material y concuerda con lo reportado por Haug (1993), quien señala que este rango es indispensable para la eliminación de patógenos.

La fase termofílica se prolongó más en los tratamientos con zeolita en comparación con el control, lo que sugiere que la adición de este material favoreció la retención de nutrientes y la actividad microbiana, resultados similares a los descritos por Bernal et al. (2009).

En cuanto al pH, se observó la típica tendencia de aumento durante la fase activa, atribuida a la liberación de compuestos amoniacales, seguida de una estabilización cercana a la neutralidad en la etapa de maduración.

Este comportamiento coincide con los patrones descritos por Vargas-García et al. (2010). Sin embargo, los tratamientos con zeolita mostraron fluctuaciones menos

pronunciadas, lo que indica un posible efecto regulador de este material sobre la alcalinidad, en concordancia con lo observado por Wang et al. (2016).

La pérdida de masa y volumen fue menor en las unidades con zeolita respecto al control, lo que podría relacionarse con la capacidad de este mineral para retener amonio y reducir pérdidas por volatilización, como también lo señalan Kithome et al. (1998).

Este aspecto resulta particularmente relevante para mejorar el aprovechamiento de nutrientes en sistemas de compostaje a pequeña escala.

El bioensayo de germinación mostró valores superiores al 80% en los tratamientos con zeolita, lo que indica ausencia de fitotoxicidad y un compost maduro apto para su aplicación agrícola.

El control presentó un menor índice de germinación (75%), lo que sugiere que la zeolita contribuyó a una mayor estabilización del material y a la reducción de compuestos inhibidores.

En conjunto, los resultados evidencian que la incorporación de zeolita en proporciones de 5–10% mejora la eficiencia del proceso y la calidad final del compost.

No obstante, se recomienda ampliar el número de repeticiones y realizar análisis de laboratorio (contenido de nitrógeno, fósforo y carbono) para confirmar con mayor precisión los beneficios observados.

6. CONCLUSIONES

- A. Se creó un sustrato eficiente para fertilizar semillas derivado del compost de desechos orgánicos de la empresa que comercializa productos químicos en Puebla.
- B. El sistema cerrado de compostaje empleado permitió alcanzar temperaturas superiores a 55 °C durante varios días, garantizando la higienización del material y demostrando ser una alternativa viable para el manejo de residuos orgánicos a pequeña escala.
- C. La adición de zeolita favoreció la estabilidad del proceso, prolongando la fase termofílica, reduciendo las variaciones de pH y disminuyendo la pérdida de nutrientes por volatilización, en comparación con el tratamiento control.
- D. Los tratamientos con zeolita (5% y 10%) mostraron compost final con mejores características físicas (olor terroso, textura homogénea y mayor esponjosidad), así como mayor madurez, reflejada en un índice de germinación superior al 80%.
- E. El uso de zeolita como enmienda mineral representa una estrategia efectiva para optimizar la calidad del compost, con potencial aplicación en sistemas agrícolas sostenibles.
- F. La adición de carbón activado reutilizado de una planta de tratamiento de agua favoreció el proceso de degradación de la materia, aportando microorganismos para una mayor velocidad de maduración del compostaje.
- G. Como limitación, el estudio se realizó únicamente con evaluaciones de campo; por lo tanto, se recomienda complementar futuros trabajos con análisis de laboratorio de nutrientes y materia orgánica para validar los beneficios observados.

7. REFERENCIAS

Cortés, A. C. (2009). La importancia de las zeolitas. Cuadernos del Tomás, 1, 211-227.

Toro, F. D. J. C., Benítez, L. M. L., & Herrera, M. I. Á. (2006). La zeolita en la mitigación ambiental. Revista Lasallista de Investigación, 3(1), 30-34.

Zamudio, N. S., & Avalos, W. R. (2020). Efecto de dietas con zeolita natural en el crecimiento y supervivencia del camarón de río *Cryphiops caementarius*. Rebiol, 40(1), 30-38.

Torri, S. I., Amaturro, J. I., Sánchez, L., & Pacheco-Rudz, E. O. (2021). Efecto de las zeolitas sobre ciertas propiedades de un suelo enmendado con biosólidos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 37, 419-430.

Legorreta-García, F., Valdez-Sierra, J., Chávez-Urbiola, E. A., Ramírez-Cardona, M., Reyes-Cruz, V. E., & Pérez-Labra, M. (2024). Análisis de la transformación del caolín de Hidalgo en zeolita cancrinita y fases secundarias por el método hidrotermal. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.

Condor Mena, J. S., & Maza Parrilla, D. (2020). Remoción de plomo para mejorar el agua de Mórrope utilizando carbón activado del endocarpio de aceituna y cáscara de coco.

Macías Cedeño, G. M. (2021). Aprovechamiento de residuos de cáscara de cacao en la obtención de carbón activado para ser usado como medio filtrante.

Álvarez Huamán, F., & Rios Bujaico, L. A. (2020). Revisión sistemática y meta-análisis sobre el uso de carbón activado para la adsorción de antibióticos en aguas residuales.

Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.

Universidad Nacional de Colombia. (2021). Guía técnica para el aprovechamiento de recursos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. Contrato Interadministrativo 369 UAESP - Universidad Nacional de Colombia.

Oviedo, E. R., Marmolejo, L. F., & Torres, P. (2014). Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), 91-100.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2015). Cartilla práctica para la elaboración de abono orgánico. Grupo de trabajo. Centro Ecológico M&C LTDA Ventaquemada, Boyacá.

Ayala, D. F. (2020). Implementación de compost utilizando papel de oficina como estrategia ambiental para minimizar el impacto que genera su uso en la Secretaría de Desarrollo Económico del municipio de San Gil, Santander. Universidad Libre de Colombia, Facultad de Ingeniería Ambiental.

De la Iglesia, S. M. (2005). Compostaje de residuos orgánicos. In *Galicia: Ecología* (pp. 18-43). Hércules de Ediciones.

Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 23(2), 123-129.

Izquierdo, C. G. (1990). Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agrícola (Doctoral dissertation, Universidad de Murcia).

Varnero, M. T., Rojas, C., & Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 7(1), 28-37.

Azurduy, S., Azero, M., & Ortuño, N. (2016). Evaluación de activadores naturales para acelerar el proceso de compostaje de residuos orgánicos en el municipio de Quillacollo. *Acta Nova*, 7(4), 369-388.

González-Jiménez, Y., & Villalobos-Morales, J. (2021). Manejo ambiental de residuos orgánicos: Estado del arte de la generación de compostaje a partir de residuos sólidos provenientes de sistemas de trampas de grasa y aceite. *Revista tecnología en marcha*, 34(2), 11-22.

Alzate, C. A. C., Toro, Ó. J. S., Arango, J. A. R., & Ramírez, L. E. A. (2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. *Revista colombiana de biotecnología*, 6(2), 78-89.

Ballesteros Trujillo, M., Hernández Berriel, M. D. C., de la Rosa Gómez, I., Mañón Salas, M. D. C., & Carreño de León, M. D. C. (2018). Crecimiento microbiano en pilas de compostaje de residuos orgánicos y biosólidos después de la aireación. *Centro azúcar*, 45(1), 1-10.

Escobar Escobar, N., Mora Delgado, J., & Romero Jola, N. J. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 16(1), 75-88.

Acosta, Y., Cayama, J., Gómez, E., Reyes, N., Rojas, D., & García, H. (2006). Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias*, 6(3), 220-227.

Vargas, J. W. P., Buzón, J. A., Vergara, D. A., & Molina, E. (2011). Reducción de los residuos sólidos orgánicos en Colombia por medio del compostaje líquido. *Ingeniare*, (11), 37-44.

Bustos, D. M. (2013). Propuesta para el aprovechamiento de residuos orgánicos en el colegio Summerhill School, empleando el compostaje.

Carvalho, A. M., & Cirión, L. E. C. (2022). Compostaje y biodigestores como solución al problema de los residuos orgánicos en el medio rural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 990-1013.

Iliquín, R. (2014). Elaboración de compost utilizando residuos orgánicos aplicando los métodos takakura y em-compost. *Agroindustrial Science*, 4(2), 109-118.

Arenas Osorno, C. Y. (2017). Implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos en el Centro Educativo Rural Josefa Romero, Municipio de Dabeiba.

Acosta, Y., El Zauahre, M., Rodríguez, L., Reyes, N., & Rojas, D. (2012). Indicadores de calidad bioquímica y estabilidad de la materia orgánica durante el proceso de compostaje de residuos orgánicos. *Multiciencias*, 12(4), 390-399.

Da Costa Ferreira, D. A., DA SILVA DIAS, N. I. L. D. O., da Costa Ferreira, A. K., BARBOSA E LIMA VASCONCELOS, C. Y. B. E. L. L. E., DE SOUSA JUNIOR, F. S., NASCIMENTO PORTO, V. C., ... & Navarro Vásquez, M. A. (2018). Efecto del compost de residuos orgánicos domiciliarios, vegetales y estiércol en el crecimiento de lechuga. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 464-474.

Villacis, E. C. A., Murillo, R. M. A., García, F. H. C., & Delgado, H. E. V. (2016). Uso de biopreparados en el compostaje de residuos orgánicos urbanos. *Revista Espamciencia*, 7(2), 135-140.

Rafael Avila, M. D. P. (2015). Proceso de producción y aplicación del producto microorganismos eficaces en la calidad de compost a partir de la mezcla de tres tipos de residuos orgánicos, Sapallanga–Huancayo.

Álvarez-Palomino, L., Vargas-Bayona, J. E., & García-Díaz, L. K. (2018). Abono orgánico: aprovechamiento de los residuos orgánicos agroindustriales. *Spei Domus*, 14(28-29), 1-10.

Bohórquez Santana, W. (2019). El proceso de compostaje (Vol. 1). Universidad de la Salle.

Muñoz, J., Dorado, J., & Pérez, E. H. (2015). Sistema de compostaje y lombricompostaje aplicado en residuos orgánicos de una galería municipal. *suelos Ecuatoriales*, 45(2), 72-83.

Arce, T. S. (2014). Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos. *Revista de investigación universitaria*, 3(2).

Barbaro, L. A. (2022). Compostaje de residuos orgánicos.

Muñoz Millet, O. M., & Yepes Jiménez, A. (2020). Elaboración de compostaje con los residuos orgánicos del comedor para el huerto escolar ecológico.

Storino, F. (2017). Compostaje descentralizado de residuos orgánicos domiciliarios a pequeña escala: estudio del proceso y del producto obtenido (Doctoral dissertation, Universidad Pública de Navarra).

Garrido-Acosta, L. R., Florida-Rofner, N., Nazar-Cipriano, J., & Rengifo-Rojas, A. (2023). Calidad del compost a base de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado, Perú. *Producción+ limpia*, 18(1), 109-128.

Huapaya Cruz, Y. H. (2024). Evaluación del compostaje a diferentes composiciones para aprovechar los residuos orgánicos domiciliarios de la ciudad de Puno para contribuir en contrarrestar el cambio climático. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 26(1), 24-35.

González, G. P. B., Aguilar, D. A., Rodríguez, R. C., & Rodríguez, F. P. (2016). Estudio comparativo del uso de dos sustratos con inóculos microbiales para el tratamiento de residuos orgánicos sólidos en compostaje doméstico: Análisis Económico. *Tecnología en Marcha*, 29(1), 28-37.

Alarco, R. V. A., Peralta, J. R., Vargas, J. R. S., & Villegas, M. I. T. (2020). Desarrollo de un modelo de negocio de compostaje de residuos sólidos orgánicos para la comercialización de abono orgánico (Master's thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru)).

Avellaneda Enriquez, F. X. E. (2019). Protocolo para la producción de compost de residuos sólidos orgánicos del mercado de la ciudad de Lambayeque en el año 2018.

Hernández-Cázares, A. S., Real-Luna, N., Delgado-Blancas, M. I., Bautista-Hernández, L., & Velasco-Velasco, J. (2016). Residuos agroindustriales con potencial de compostaje.

Barrena Gómez, R. (2007). Compostaje de residuos sólidos orgánicos: aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Universidad Autónoma de Barcelona.

Docampo, R. (2013). Compostaje y compost. *Revista INIA-Nº*, 35, 64.

Saltos, K. A. C., Álvarez, A. E. B., Navarrete, E. T., & López, G. A. J. (2023). Características físicas y transformación productiva y reproductiva de la *Eisenia Foetida* en compostaje con residuos orgánicos. *Revista de Investigación TALENTOS*, 10(2), 1-15.

Marín, D. J. (2019). Impacto del uso de biofertilizantes a base de residuos orgánicos en los suelos. *Conciencia Tecnológica*, (58), 47-50.

Pillco Mamani, K. (2020). Evaluación del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces.

Acosta-Durán, C. M., Solís-Pérez, O., Villegas-Torres, O. G., & Cardoso-Vigueros, L. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía costarricense*, 37(1), 127-139.

Dávila, T. L. A., & Zambrano, S. A. R. (2020). Revisión de estrategias sostenibles para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las organizaciones. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(2), 76-94.

Padilla, A., & Rivero, J. (2016). Producción de Biogás y compost a partir de Residuos Orgánicos recolectados del Complejo Arqueológico Huaca de la Luna. *SCIÉNDIO INGENIUM*, 12(1), 29-43.

Díaz, L., Laguna, H., Gutiérrez, Y., Melo, A., & Vega, A. (2020). Tratamiento de suelos mineros mediante co-compostaje con Biochar, estiércol ovino y residuos orgánicos domiciliarios. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 5(2), 11-18.

Bejarano Bejarano, E. P., & Delgadillo Acosta, S. M. (2007). Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá "la modelo" por medio de la utilización de microorganismos eficientes (EM).

Vizcaíno Ramón, B. E. (1998). Identificación y caracterización de la zeolita natural tipo clinoptilolita (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Salcedo Rivera, V. E. (2021). Estudio de las propiedades físicas de zeolita natural (aluminosilicato) de tipo clinoptilolita para remplazo parcial del cemento portland.

González Camarillo, M., Gómez Montiel, N. O., Muñiz Espiritu, J., Valencia Espinosa, F., Gutiérrez Guillermo, D., & Figueroa López, H. O. (2012). Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1129-1144.

Jordán Hernández, R., Betancourt-Riera, R., Betancourt-Riera, R., Cabrera Galdo, E., & Cabrera Germán, D. (2014). Mejorador de suelo a partir de una zeolita natural: Una propuesta sustentable para la agricultura. *Nova scientia*, 6(11), 1-11.

Villarreal-Núñez, J. E., Barahona-Amores, L. A., & Castillo-Ortiz, O. A. (2015). Efecto de zeolita sobre la eficiencia de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de arroz. *Agronomía Mesoamericana*, 315-321.

Díaz Álvarez, H. J., Liriano González, R., & Abreu Cruz, E. O. (2019). Evaluación agronómica de fertilizantes de fórmula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Centro Agrícola*, 46(1), 24-30.

Soca, M., & Daza, M. C. (2015). La zeolita y su efecto en la eficiencia del nitrógeno en arroz y maíz. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 46-55.

Cortés, F. B. (2009). Adsorción de Agua en Materiales compuestos y en Zeolita. Universidad Nacional de Colombia.

Soca, M., & Daza-Torres, M. C. (2016). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia*, 50(8), 965-976.

Losada, L. M., Bonilla, N. C., Buitrago, R. C., Bonilla, J. H. O., & Salamanca, M. (2015). Estudio preliminar de la capacidad de remoción de iones inorgánicos de una zeolita sintética tipo faujasita. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 114-123.

Ocanto, F., Linares, C., Urbina, C., & Álvarez, R. (2005). Síntesis y caracterización de zeolita tipo sodalita con cloruro como anión de compensación. *Acta microscópica*, 14(1), 15.

Rojas Alljahuaman, J. L. (2021). Influencia del tectosilicato-zeolita en la retención del nitrógeno durante la preparación de compost en Tingo María.

ESTRADA ROBLES, G. C. (2021). Germinación de frijol y chile sobre jales mineros aplicando zeolita y composta.

Vargas, I. A. G., Mulet, R. A. C., Galvis, M. F. B., Ospina, J. D., & Daza, F. F. F. Uso de la capacidad de intercambio iónico de zeolitas para la reducción de olores en el compost de gallinaza. <https://investigaciones.usc.edu.co>, 11.

Franco, A. Á., & Guillén, P. I. V. (2019). Compostaje aerobico de estiércol bovino y Pollinaza con adiciones de zeolitas en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*). *REVISTA DELOS*, 12(35).

Díaz Arca, O. A. (2017). Aplicación de aditivos minerales para la reducción de pérdidas de nitrógeno por volatilización durante el compostaje de pulpa de café

Pérez, M. V., Baker, A. G., Garriga, I. C., Chávez, P. C., Basulto, A. C., Abreu, M. V., & Fonseca, M. V. (2010). Compost a partir de residuos de cosechas y alternativas que mejoran su calidad. *Centro Agrícola*, 37(2), 75-80.

González Camarillo, M., Gómez Montiel, N. O., Muñiz Espíritu, J., Valencia Espinosa, F., Gutiérrez Guillermo, D., & Figueroa López, H. O. (2012). Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1129-1144.

Soca, M., & Lorente, E. (2015). Efecto de las zeolitas naturales y activadas en la producción de tomate. *CRIOBANCO: SU IMPORTANCIA PARA LA CONSERVACIÓN A LARGO PLAZO EN LOS BANCOS DE GERMOPLASMA*. Cryobank: Their importance for preservation to long time in th e germplasm bank., 39(1).

Sevilla, U. D. (2011). Manual del carbón activo. *Aula. aguapedia.org*, 1-89.

Reinoso, R. F., & Sabio, M. M. (2002). El carbón activado en procesos de descontaminación. Departamento de Química Inorgánica. Universidad de Alicante. España.

Reyes Toriz, E. D., Cerino Córdova, F. D. J., & Suárez Herrera, M. A. (2006). Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. *Ingenierías*, 9(31), 59-64.

Mejia, M. V. V. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et technica*, 23(3), 411-419.

Bastidas, M., Buelvas, L. M., Márquez, M. I., & Rodríguez, K. (2010). Producción de carbón activado a partir de precursores carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia. *Información tecnológica*, 21(3), 87-96.

RUBIO-GRANADOS, S., GRANADOS-CORREA, F., & JIMÉNEZ-BECERRIL, J. (2000). Retención de fenol en solución acuosa sobre carbón activado y zeolita X. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 16(1), 37-40.

Vilema, V., Magdalena, B., & Basantes Vizcaíno, T. F. (2017). Evaluación de zeolita y carbón activado en el cultivo de brócoli (*brassica oleracea* var. avenger) en la granja la pradera, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura.

Gualteros Velásquez, D. G. G., & Piñeros Cáceres, S. D. (2021). Estudio comparativo entre la capacidad de adsorción del carbón activado y la zeolita para la remoción de nitrógeno amoniacal en lixiviados de un relleno sanitario.

García Rojas, M. A., & Herrera Vasquez, L. E. (2023). Mejoramiento de la calidad de agua de lluvia mediante el proceso de filtración a través de carbón activado granular, zeolita y arena en la ciudad de Cajamarca.

Silva, Y. A. V., Salamanca, A. F. P., Paz, P. J. P., Maquera, A. R. A. G., & Galdos, F. S. A. (2024). Tratamiento de la salinidad del suelo de la Yarada baja-Tacna mediante humus y carbón activado. *Ciencia y Educación*, 5(8), 67-82.

8. ANEXOS

8.1. Glosario

Abonado: acción o proceso cuya finalidad es hacer que la tierra sea fértil o productiva. Aplicación de fertilizante, ya sea sintético o natural.

Abono orgánico: el abono orgánico abarca los abonos elaborados con estiércol de ganado, compost rurales y urbanos, otros desechos de origen animal y residuos de cultivos. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los suelos ha sido demostrada.

Aeróbico: proceso que ocurre en presencia de oxígeno. Para que un compost funcione con éxito se debe proporcionar suficiente oxígeno para que mantenga el proceso aeróbico.

Amonio: es una forma inorgánica del nitrógeno. Se encuentra reducido y es soluble en la solución del suelo. Se pierde con más facilidad por volatilización.

Anaeróbico: proceso que ocurre en ausencia de oxígeno. Si esto ocurre durante el proceso de compostaje, éste se ralentiza y se pueden desprender malos olores, como consecuencia de procesos de pudrición.

Bacterias termófilas: grupo de bacterias que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 40°C a 70°C.

Compost maduro: compost que ha finalizado todas las etapas del compostaje.

Compost semimaduro: compost que no ha terminado la etapa termófila del proceso de compostaje.

Descomposición: degradación de la materia orgánica.

Humificación: es el proceso de formación de ácidos húmicos y fúlvicos, a partir de la materia orgánica mineralizada.

Humus: materia orgánica descompuesta, amorfa y de color marrón oscuro de los suelos, que ha perdido todo indicio de la estructura y la composición de la materia vegetal y animal a partir de la que se originó.

Inoculante: concentrado de microorganismos que, aplicado al compost, acelera el proceso de compostaje. Un compost semimaduro puede funcionar de inoculante.

Inorgánico: sustancia mineral.

Lavado o lixiviación de nitratos: cuando el agua entra en contacto con fertilizantes nitrogenados o con estiércol, puede disolver los nitratos y otros componentes solubles del estiércol y transportarlos disueltos en su seno cuando se infiltra en el suelo y desciende hasta las aguas subterráneas.

Macroorganismos: organismos vivos que pueden ser observados a simple vista (arañas, lombrices, roedores, hormigas, escarabajos...). También se denomina mesofauna.

Materia orgánica: residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo.

Microorganismos: organismos vivos microscópicos (hongos, incluyendo levaduras, bacterias incluyendo actino bacterias, protozoos como nemátodos etc.).

Microorganismos mesófilos: grupo de bacterias, y hongos (levaduras u hongos filamentosos) que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 30°C a 40°C.

Mineralización: transformación de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos y la liberación de formas inorgánicas esenciales para el desarrollo de las plantas.

Nitrato: es una forma inorgánica del nitrógeno. Se encuentra oxidado y es soluble en la solución del suelo. Se pierde con más facilidad por lixiviación.

Nitrógeno: elemento indispensable para las plantas que puede estar en forma orgánica (proteínas y compuestos orgánicos), o inorgánica (nitrato o amonio).

Orgánico: un compuesto orgánico es una sustancia que contiene carbono e hidrógeno y, habitualmente, otros elementos como nitrógeno, azufre y oxígeno.

Patógeno: microorganismo capaz de producir una enfermedad. Puede ser fitopatógeno, cuando la enfermedad se produce en plantas, o patógenos humanos o animales.

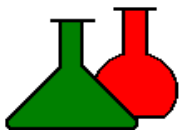
Reciclaje de nutrientes: ciclo en el que los nutrientes orgánicos e inorgánicos, se transforman y se mueven en el suelo, los organismos vivos, la atmósfera y el agua.

Relación C:N: cantidad de carbono con respecto a la cantidad de nitrógeno que tiene un material.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, es una agencia de las Naciones Unidas que se encarga de los temas relacionados con la alimentación y la agricultura.

Vermicompostaje: Proceso biológico que consiste en utilizar lombrices para descomponer materia orgánica y producir vermicompost.

8.2. Ficha técnica de la Zeolita



QUIMICA INDUSTRIAL OLYMPUS, S.A. DE C.V.

CAMINO REAL A SAN ANDRÉS CHOLULA # 3805, COL. EMILIANO ZAPATA
C.P. 72824, SAN ANDRÉS CHOLULA, PUE.,
TELEFONOS Y FAX, (01222) 2 85 73 14, 2 85 73 15, 2 85 73 23, 2 85 73 24
E-mail: quiosa@prodigy.net.mx

ALUMINOSILICATO (ZEOLITA) ESPECIFICACIONES QUIMICAS Y FISICAS PROMEDIO

Su formula química aproximada es $(Na_4k_4)(Al_8Si_40O_96) \cdot 24 \cdot H_2O$

Genero: Clinoptilolita

Propiedades Físicas

TAMAÑO DE PORO	3.55 – 9.45 Å°
COLOR	BLANCO GRISASEO
DENSIDAD	0.82 a 0.90 g/cm ³
ABSORCION DE AGUA (GRAMOS POR 100 GRAMOS)	30%
PERDIDA LOR IGNICION	5.7%
VALOR PH	7 a 8
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	2.23 mS/cm
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO	120 a 130 meq / 100 g

Composición química aproximada

SiO ₂	66.1%
Al ₂ O ₃	11.93
CaO	2.80%
MgO	0.81%
K ₂ O	2.54%
Na ₂	0.24%
Fe ₂ O ₃	4.49%