

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**



**ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AGRARIAS**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**TESIS:**

**CONSORCIO MICROBIANO NATIVO EN LA DEGRADACIÓN DE  
RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS JAÉN- PERÚ**

Para optar el Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

Presentada por:

**JAMES PAOLI PAZ CARRILLO**

Asesora:

**M.C. MARCELA NANCY ARTEAGA CUBA**

**Cajamarca, Perú**

**2024**



## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: James Paoli Paz Carrillo
2. DNI: 42346063  
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Mención: Gestión Ambiental
3. Asesora:  
M.C. marcela Nancy Arteaga Cuba
4. Grado académico o título profesional  
 Bachiller     Título profesional     Segunda especialidad  
 Maestro     Doctor
5. Tipo de Investigación:  
 Tesis     Trabajo de investigación     Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
6. Título de Trabajo de Investigación:  
Consortio microbiano nativo en la degradación de residuos sólidos domiciliarios Jaén-Perú
7. Fecha de evaluación: **11/04/2024**
8. Software antiplagio:  TURNITIN     URKUND (OURIGINAL) (\*)
9. Porcentaje de Informe de Similitud: **20%**
10. Código Documento: **3117:346381210**
11. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 **APROBADO**     **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: **03/05/2024**

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 <b>McbIga. Marcela Arteaga Cuba</b> DNI: 27671665

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2024 by  
**JAMES PAOLI PAZ CARRILLO**  
Todos los derechos reservados



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD  
**Escuela de Posgrado**  
CAJAMARCA - PERÚ



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

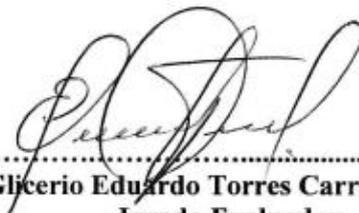
**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

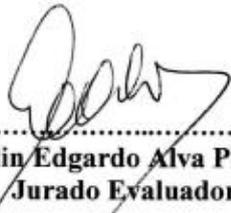
Siendo las ~~diecisiete~~ <sup>dieciséis</sup> horas, del día 26 de enero de dos mil veinticuatro, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. GLICERIO EDUARDO TORRES CARRANZA**, **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, **Mg. Sc. JHON ANTHONY VERGARA COPACONDORI**, y en calidad de Asesora la **M. C. MARCELA NANCY ARTEAGA CUBA** Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **“CONSORCIO MICROBIANO NATIVO EN LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS JAÉN - PERÚ”**, presentada por el **Bachiller en Ciencias Forestales JAMES PAOLI PAZ CARRILLO**

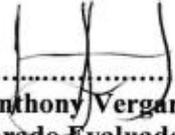
Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó ~~con~~ <sup>con</sup> la calificación de ~~.....(i.e.).....~~ <sup>.....(i.e.).....</sup> la mencionada Tesis; en tal virtud, **Bachiller en Ciencias Forestales JAMES PAOLI PAZ CARRILLO**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**

Siendo las ~~diecisiete~~ <sup>dieciséis</sup> horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

  
.....  
**M. C. Marcela Nancy Arteaga Cuba**  
Asesor

  
.....  
**Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**M. Sc. Jhon Anthony Vergara Copacondori**  
Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A mi mejor amigo, Dios, por las infinitas maravillas naturales que puso a nuestros pies, para que percibamos en ellas su DIVINA PRESENCIA.

A mis padres, Benita y Wilfredo, a mis Hermanos Elvis, Yesica, Adán, Darwin, Con mucho amor para mis hijas: Milagros Nicol y Paola Valentina, y mi esposa María Jaqueline. quienes me inspiraron y me ayudaron a ser mejor cada día.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca por permitirme desarrollarme académicamente.

Agradezco de manera especial a mi asesora de tesis, Marcela Nancy Arteaga Cuba quien con su conocimiento y apoyo me supo guiar en el desarrollo de la investigación hasta su culminación.

También agradezco a todos los amigos y docentes que me brindaron su apoyo y confianza incondicional para la recolección de información.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO .....	3
2.1 Antecedentes .....	3
2.2 Bases teóricas .....	9
2.2.1 Microorganismos de montaña (MM).....	9
2.2.2 Microorganismos nativos.....	9
2.2.3 Consorcios Nativos.....	9
2.2.4 Tipo de microorganismos benéficos.....	10
2.2.5 Consorcios microbianos.....	13
2.2.6 Microorganismos Celulolíticos .....	13

2.2.7	Microorganismos anaerobios y aerobios que degradan la celulosa .....	14
2.2.8	La celulosa .....	15
2.2.9	La biodegradación .....	16
2.2.10	Factores que Afectan en la Biodegradación.....	17
2.2.11	Residuos sólidos .....	17
a)	Residuos orgánicos .....	18
b)	Reaprovechamiento de residuos sólidos .....	18
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Localización del área de estudio.....</b>	<b>19</b>
a)	Condiciones climatológicas .....	20
<b>3.2</b>	<b>Materiales.....</b>	<b>20</b>
3.2.1	Material biológico .....	20
3.2.2	Medios de cultivo .....	21
3.2.3	Materiales y equipos de laboratorio .....	21
3.2.4	Tratamientos.....	22
	Los tratamientos considerados en la presente investigación fueron: .....	22
<b>3.3</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>24</b>
3.3.1	Tipo de estudio .....	24
3.3.2	Diseño de investigación .....	25
3.3.3	Preparación del inóculo del consorcio microbiano celulítico .....	26
3.3.4	Diseño y construcción del Biorreactor .....	27

3.3.5	Recuento microbiano .....	28
3.3.6	Recolección y preparación de la materia prima .....	29
3.3.7	Carga del biorreactor .....	30
3.3.8	Análisis del producto final .....	31
3.3.9	Tamaño de las partículas.....	31
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>32</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>32</b>
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>46</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>46</b>
5.1	Conclusiones.....	46
5.2	Recomendaciones .....	47
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>48</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>48</b>
<b>CAPÍTULO VII .....</b>		<b>60</b>
<b>ANEXO .....</b>		<b>60</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Detalle de los tratamientos a aplicar para la biodegradación.....	<b>23</b>
<b>Tabla 2</b> Recuento de microorganismos.....	<b>34</b>
<b>Tabla 3</b> Análisis de NPK del producto final.....	<b>36</b>
<b>Tabla 4</b> Promedio de días de biodegradación de los Residuos sólidos domiciliarios.....	<b>40</b>
<b>Tabla 5</b> Prueba de homogeneidad de varianzas.....	<b>44</b>
<b>Tabla 6</b> Análisis de varianza del tiempo de descomposición y F.....	<b>44</b>
<b>Tabla 7</b> Comparaciones Múltiples de Duncan en la evaluación de los días de biodegradación del producto final.....	<b>45</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> Representación esquemática del monómero de la celulosa.....	16
<b>Figura 2</b> Ubicación del laboratorioNo se encontraron entradas de tabla de contenido.o de Biología y Microbiología.....	19
<b>Figura 3</b> Distribución al azar de los tratamientos.....	25
<b>Figura 4</b> Inóculos de hongos y bacterias.....	26
<b>Figura 5</b> Biorreactor artesanal-modelo airlift.....	27
<b>Figura 6</b> Recolección y preparación de los RSD recolectados.....	29
<b>Figura 7</b> Recargas del biorreactor con todos los materiales.....	30
<b>Figura 8</b> Recuento de colonias de bacterias(a) y hongos (b).....	34
<b>Figura 9</b> Descomposición de los RSD, antes (a) y después (b) de la aplicación de los microorganismos.....	35
<b>Tabla 9</b> Análisis de NPK del producto final.....	36
<b>Figura 10</b> Porcentaje de NPK en los diferentes tratamientos.....	37
<b>Figura 11</b> Tamizado de las partículas del producto final: hongos (a), bacterias (b) y Testigo(C).....	39
<b>Figura 12</b> Tiempo empleado por el consorcio en la descomposición de los RSD.....	40

## RESUMEN

En Perú, al igual que en otros países se observan factores negativos en el medio ambiente, uno de ellos son los residuos sólidos domiciliarios, que no son manejados adecuadamente. Existen tecnologías con procedimientos biológicos que pueden ser empleados para hacer que estos residuos sean aprovechables en la agricultura. El objetivo de esta investigación fue evaluar un consorcio microbiano nativo en la degradación de residuos sólidos domiciliarios (RSD). El tipo de investigación fue experimental, en la metodología se estableció 4 tratamientos T1 (hongos), T2 (bacterias), T3 (hongos más bacterias) y T4 (testigo), con 5 repeticiones cada uno; los microorganismos utilizados fueron las bacterias *Ochrobactrum pseudogrignonense*, B38, *Paenibacillus lautus*, *Bacillus xiamenensis*, B10, y los hongos *Fusarium* sp., H92, H14a, *Penicillium* sp., *Cylindrocarpon* sp. Se construyó un biorreactor artesanal de tipo airlift, el cual funcionó con un litro de agua destilada, 500 gramos de residuos sólidos domiciliarios (cáscaras de verduras y frutas) previamente fragmentados. Obtenido el producto se le realizó un análisis de NPK. Los datos se validaron con un análisis de varianza (simple) y una prueba de Duncan, obteniéndose como resultado la descomposición de residuos sólidos domiciliarios en 5 días, con un NPK del producto de N 2.44%, P 1.33% y K 2.45% concluyendo que el consorcio de hongos celulíticos utilizado, acelera el proceso de descomposición de los residuos sólidos domiciliarios.

**Palabras claves:** Consorcio microbiano, residuos sólidos domiciliarios, descomposición.

## ABSTRACT

In Perú, as in other countries are observed negative factors in the environment, one of them are home solid waste, which are not properly handled. There are technologies with biological procedures that can be used to make this waste usable in agriculture. The objective of this research was to evaluate a native microbial consortium in the degradation of household solid waste (HSW). The type of research was experimental, in the methodology 4 treatments were established T1 (fungi), T2 (bacteria), T3 (fungi plus bacteria) and T4 (control), with 5 repetitions each; the microorganisms used were the bacteria *Ochrobactrum pseudogrignonense*, B38, *Paenibacillus lautus*, *Bacillus xiamenensis*, B10, and the fungi *Fusarium* sp., H92, H14a, *Penicillium* sp., *Cylindrocarpum* sp. An artisanal "airlift" bioreactor was built, which worked with one liter of distilled water, 500 grams of household solid waste (vegetable peels and fruits) previously fragmented. Once the product was obtained, an NPK analysis was performed. The data were validated with an analysis of variance (simple) and a Duncan test, resulting in the decomposition of household solid waste in 5 days, with a product NPK of N 2.44%, P 1.33% and K 2.45% concluding that the consortium of cellulite fungi used, accelerates the process of decomposition of household solid waste.

**Keywords:** Microbial consortium, household solid waste, decomposition.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

En Perú, al igual que otros países se contemplan constantes factores negativos como la contaminación y deterioro ambiental en todo lugar, una de ellas es la ciudad de Jaén, donde se observa el arrojo de desperdicios en lugares inadecuados como en espacios públicos, calles, laderas de cerro y en el río Amojú. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017), las deficiencias ambientales y la falta de concientización sobre los residuos sólidos lo convierte en un problema mayor ya que estos se depositan en lugares inadecuados como botaderos informales, calles, acequias, entre otros, y debido a su descomposición, pueden ocasionar contaminación del agua, suelo y aire. Los desechos domésticos contaminan y modifican el medio ambiente, provocando la destrucción de los ecosistemas. Los métodos de tratamiento de estos residuos son físicos, químicos y biológicos (Fernández et al., 2018).

Los residuos orgánicos biodegradables se aprovechan utilizándose en otros productos como el compost o productos útiles para la mejora del suelo, gracias al trabajo conjunto de poblaciones de microorganismos (Pellegrini et al., 2014). El tiempo de descomposición tiende a ser mayor cuando se manejan elevados volúmenes de residuos orgánicos lo que implica también costos muy elevados, ya que requieren más áreas proporcionales a sus volúmenes ocupados por los residuos en el tiempo de proceso. La falta de tratamiento adecuado de los desechos orgánicos conduce a la formación de gases y olores desagradables y fomenta el crecimiento de microorganismos causantes de enfermedades, hecho que representa una amenaza para la salud humana (GEDEAM, 2017). Esta situación puede ser revertida por el avance tecnológico incorporando aditivos (enzimas) o microorganismos que descomponen la materia orgánica en menor tiempo (Azurduy et al., 2016).

Según GEDEAM (2017) gerencia de desarrollo ambiental, en la ciudad de Jaén se observa también la existencia de problemas medioambientales como es la gestión inadecuada de los RSD (Residuos Sólidos Domiciliarios). Esta ciudad cuenta con una población de 98 252 habitantes y la cantidad per cápita de RSD generados en el distrito es de 0.63 kg día<sup>-1</sup>. En base a esto, se ha determinado, que la cantidad total de RSD generados es de 61 898 T día<sup>-1</sup>. Se conoce que, de alguna manera los residuos de frutas, verduras y restos de jardinería son aprovechados, pero el tiempo de descomposición es de 3 a 4 meses aproximadamente generando malos olores, aparición de patógenos, moscas y otros insectos; por lo tanto, una alternativa para mejorar la descomposición de los desechos orgánicos domiciliarios es empleando microorganismos que descomponen moléculas como la celulosa componente principal de los vegetales (Cruz et al., 2017).

En el presente trabajo se usó un consorcio microbiano compuesto por : hongos (*Fusarium sp.*, *Penicillum sp.*, *Cylindrocarpon sp* y H92, H14a) y bacterias (*Ochrobactrum pseudogrignonense*, B38, *Paenibacillus lautus*, *Bacillus xiamenensis*, B10), cuya característica principal es ser celulíticos, entendiéndose que contienen un pool enzimático el cual permite la descomposición de la celulosa de los tejidos vegetales elegidos; estos microorganismos fueron aislados de la rizosfera del área de conservación del Bosque “Señor de Huamantanga”, teniendo como objetivo general: Evaluar el efecto de un consorcio microbiano nativo en la degradación de residuos sólidos domiciliarios y como objetivo específico determinar el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio del producto final.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

En el trabajo de investigación, Aislamiento e identificación de un consorcio microbiano nativo para la degradación de la pulpa de café por encima de los 2000 m s.n.m., tuvo como conclusión que, las cepas utilizadas lograron la degradación de la pulpa de café en Perú, en 28 días; el crecimiento del consorcio fúngico elegido fue exponencial, a diferencia del consorcio de bacterias que redujeron su actividad con el tiempo, lo que significa que es posible minimizar el período de degradación de la pulpa de café utilizando microorganismos que contengan enzimas apropiadas para la descomposición de la celulosa. El consorcio bacteriano estuvo formado por *Ochrobactrum pseudogrignonense*, *Paenibacillus lauruscon* y *Bacillus xiamenensis* y el consorcio fúngico por *Fusarium sp.*, *Penicillium sp.*, *Cylindrocarpon sp.* Estos microorganismos se caracterizan por ser celulíticos (Arteaga et al., 2021).

En un trabajo de investigación, realizado para ver el efecto en diversos residuos voluminosos, como virutas de madera, residuos agrícolas y de poda de jardín combinados con el compostaje de fracción orgánica de residuos sólidos municipales (OFMSW), en tres pilas de OFMSW con diferentes residuos voluminosos, se inocularon con un consorcio microbiano, cuyos resultados revelaron que OFMSW, la combinación con viruta de madera y consorcio microbiano (*Phanerochaete chrysosporium*, *Trichoderma viride* y *Pseudomonas aeruginosa*), fueron una herramienta útil para facilitar la actividad enzimática y acortar el período de compostaje en 4 semanas. La actividad enzimática máxima se observó en la pila 1 y 3 durante las primeras 3 semanas, mientras que en la pila 2 fue relativamente

muy baja (Awasthi et al., 2015).

Rastogi et al. (2019), llevó a cabo una investigación en laboratorio para conocer el efecto de la temperatura ambiente y diferentes tratamientos en el compostaje pasivo de residuos sólidos urbanos (RSU) en contenedores. Se usó un potente inóculo degradante de celulasa (*Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. nakamurai* y *B. velezensis*) procedente del suelo del vertedero y estiércol de vaca como complemento a los compostadores de RSU. Los tratamientos se probaron durante la temporada de verano (26-45 °C) e invierno (5-22 °C). Los resultados de esa investigación revelaron que la temperatura ambiente aceleró la degradación de los sustratos orgánicos en el caso de los RSU (60 días), mientras que el compostaje de invierno no pudo lograr los resultados deseados y produjo compost inmaduro incluso después de 90 días.

El objetivo del mencionado estudio fue revelar las composiciones bacterianas y fúngicas de una pila de compostaje de desechos de alimentos y desechos de jardín, donde el proceso de compostaje tuvo una duración de 91 días. Los resultados mostraron que el proceso de compostaje alcanzó su madurez a los 77 días, cambiando significativamente la estructura bacteriana y fúngica. Firmicutes, Proteobacteria y Bacteroidota, fueron las comunidades bacterianas más dominantes, las comunidades fúngicas más dominantes fue la Ascomycota. Las propiedades físicas y químicas de los productos de compost finales, se ajustaron a las normas nacionales de fertilizantes. Los microbios funcionales del compostaje eficiente, incluyendo *Cladosporium*, *Bacillus* y *Saccharomonospora* son de suma importancia en un sistema de compostaje que funciona con éxito (X. Wang et al., 2022).

Se evaluó la influencia de la inoculación en el compostaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales (OFMSW) para producir compost con mayor valor agronómico. Se diseñaron tres biorreactores aireados similares (A, B y C) del mismo tamaño

y forma a escala de laboratorio. El reactor A, fue inoculado con *Aspergillus niger* IBRC-M 30095, el reactor B, se inoculó con compost viejo y el reactor C, se usó como control. Los resultados de este estudio mostraron que la inoculación con el microorganismo redujo el tiempo del proceso a 18 días, lo que es mejor que los resultados de otros investigadores y, por lo tanto, genera ahorros de costos; sin embargo, *Aspergillus niger* es apropiado para la producción de compost como modelo (Heidarzadeh et al., 2019).

En un trabajo de investigación que evaluó la calidad del compost obtenido a partir de estiércol gallina mediante la inoculación con microorganismos benéficos naturales, se llevó a cabo durante 13 semanas a nivel de campo., Los consorcios microbianos benéficos fueron extraídos e inoculados semanalmente al 5%, en pilas de compost divididas al azar en bloques completos, con 3 repeticiones, asignadas a 3 tratamientos: T3 (Testigo), T2 (CMB2) y T1 (CMB1). Hubo una aceleración en la descomposición de la materia orgánica, como lo demuestra un mayor contenido de ácido húmico en el compost final, T1 (3-4%), T2 (3%) en comparación con el compost de control (1%). El mayor contenido de N se determinó en la composta T2 (1.22%), P (0.80%) y K (1.10%) en la composta enriquecida con T1. El mayor contenido de nutrientes se encontró en las compostas enriquecidas con consorcios de microbios benéficos, que fue superior en la composta de control (Alvarez et al., 2019).

Machaca (2017), desarrolló un trabajo de investigación cuyo objetivo fue determinar la influencia del uso de EM en el tiempo de la producción de la composta a partir de residuos sólidos orgánicos en Tacna. Se realizó un diseño experimental con 3 repeticiones y 3 tratamientos. Las muestras de compost obtenidas fueron analizadas químicamente. Los resultados mostraron que al 10% de adición de *Rhizoctonia*, *Trichoderma*, *Bacillus* y *Fusarium*, disminuyó el tiempo de elaboración del compostaje a 49 días y además, se obtuvo los siguientes nutrientes: Nitrógeno total con 0.463%, fósforo disponible 20667 ppm; potasio disponible 156 ppm y la aplicación al 5% en 56 días y en la muestra patrón en 89 días.

El objetivo de dicho estudio fue acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos (RSU). Las pilas de compostaje fueron inoculadas con una mezcla de microorganismos endógenos (*Aspergillus fumigatus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*). Para cada microorganismo se preparó un inóculo a una concentración de  $1 \times 10^7$  UFC/mL y se aplicó por aspersión,  $2 \text{ L m}^{-3}$ . Las pilas de compostaje que fueron adicionadas con microorganismos alcanzaron su madurez 4 semanas antes que el testigo. Los resultados arrojaron que la aplicación de microorganismos es muy favorable para reducir el tiempo del proceso de degradación de los RSU (Cariello et al., 2007).

Najar (2014), desarrolló un estudio en evaluar la eficiencia en la obtención de compost a partir de los residuos orgánicos municipales, comparando la aplicación de la tecnología con la convencional; dicho estudio consistió en 2 tratamientos producción de compost tradicional Municipal (SEM) y CEM (Lactobacillus, Bacterias Fototróficas o Fotosintéticas y Levaduras), con 5 repeticiones por tratamiento. Los resultados obtenidos: del proceso de descomposición final de la materia orgánica con SEM 164 días, color marrón claro, olor a putrefacto muy desagradable y nutrientes (Nitrógeno 0.89%, fósforo 0.99%, potasio 0.94% y 19.74% de MO) y CEM 83 días, color marrón oscuro, olor a tierra de bosque, y contenido nutricional (Nitrógeno 0.89%, fósforo 0.94% y potasio 1,14% y 20.71% de MO).

Niu y Li (2022), en su estudio evaluaron la actividad enzimática, la degradación lignocelulósica y la sucesión bacteriana en compostaje inoculado con diferentes agentes microbianos *Bacillus*. Se identificaron como *B. thermoamylovorans*, *B. hisashii*, *B. licheniformis*, *B. subtilis*, y *B. thermoruber*. Se establecieron cuatro tratamientos, entre ellos un CK (microorganismos no inoculados), A (*B. thermoamylovorans*, *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *B. hisashii*), B (*B. subtilis*, *B. thermoruber*, *B. hisashii* y *B. thermoamylovorans*) y C (*B. hisashii*, *B. subtilis* y *B. thermoamylovorans*), la degradación duró 7-14 días. Las tasas de degradación de lignina y celulosa en B durante el compostaje

fueron 17,1% y 36,7%

En el trabajo de investigación sobre evaluación del efecto de la aplicación de EM en el proceso de compostaje de paja de arroz con estiércol de cabra y residuos verdes (residuos de verduras y frutas del mercado) y evaluar la calidad de ambos tratamientos de compost. 2 tratamientos en este estudio, en los cuales una pila se aplicó con EM (bacterias del ácido láctico, levaduras y bacterias fototróficas) y otra pila sin EM. Cada tratamiento se replicó 3 veces. La descomposición de la materia orgánica ocurrió durante un período de 90 días. La aplicación de EM en el compost aumentó el contenido de macronutrientes. El compost aplicado con EM tuvo más contenido de N:2.4%, P:0.22% y K:1.7% en comparación con el compost sin EM N:1.4%, P:0.17% y K: 1.8%. Este estudio sugiere que la aplicación de EM es adecuada para aumentar la mineralización en el proceso de compostaje (Jusoh et al., 2013).

Aranguren y Hinojosa (2018) realizaron un estudio, elaboración de compost con inóculo de microorganismos benéficos en un biorreactor. Se instaló 2 tratamientos, un control y 3 repeticiones, microorganismos de origen casero *Rhodopseudomona sp*, *Lactobacillus casei* y *Saccharomyces cerevisiae*, (T2) y microorganismos comerciales: *Lactobacillus casei*, *Rhodopseudomona palustris* - bacterias fotosintéticas, *Saccharomyces cerevisiae* - levadura, (T1). La mezcla se depositó en un biorreactor plástico con capacidad de 0.4 m<sup>3</sup>. Los resultados mostraron que el tiempo promedio de compostaje fue de 44 días, el que contenía microorganismos benéficos caseros duró menos tiempo, requiriendo 40.7 días en la obtención de compost. El contenido de nitrógeno (N) total: control 0.49, 0.57 T1 y 0.6 T2 En términos de calidad, T2 dio el mejor resultado.

Nacimba et al. (2018), desarrollaron el estudio denominado “Tratamiento de desechos orgánicos Empleando Microorganismos Celulolíticos”, se instalaron tres tratamientos (T1,

T2 y T3) y un control (TB), tres repeticiones cada uno, se inocularon para el tratamiento T3 *Penicillium* sp, T1 de *Proteus mirabilis*, T2 *Citrobacter freundii* y TB sin inoculó, con un diseño completamente al azar (DCA); habiendo transcurrido 88 días para completar el proceso de compostaje, no hubo significancia estadística entre los tratamientos. Como resultado el T2 los residuos orgánicos se redujeron en un 80,97%, N (4%), P (0,02%), K (0,73%) y sin la presencia de microorganismos fecales.

Vásquez (2022), en su tesis Consorcios microbianos para potenciar el compostaje de residuos sólidos orgánicos urbanos (RSOU), para evaluar los consorcios microbianos, se elaboraron 4 tratamientos y 5 repeticiones cada uno: testigo absoluto (Tabs), testigo control (Tc) y los tratamientos inoculados con los consorcios microbianos: Consorcio 1: *B. wiedmanii*, *B. velezensis* y *B. subtilis* (C:1) y Consorcio 2: *B. subtilis* y *B. safensis* subsp. *safensis* (C:2), el proceso de compostaje RSOU se emplearon macetas de plástico de 50 L de volumen. Cada maceta estuvo compuesta por 26 kg de RSOU picada, más 6.5 kg de forraje seco de avena picado. Se aplicó 100 mL de consorcio por cada 10 kg de material compostado. El consorcio microbiano conformado por las cepas (C:2) con mayor actividad celulítica registró la mejor actividad metabólica en el proceso de compostaje. Obteniéndose un compost en 4 meses con adecuadas características para su uso en la agricultura o jardinería.

Rodríguez et al. (2007), En el trabajo titulado uso de un inoculante termofílico en la transformación de residuos sólidos urbanos (RSU), el estudio consistió en realizar una mezcla de distintos residuos como: 50% de RSU, contenido rumial, cascarilla de arroz y pasto para el proceso de compost, la obtención del compostaje se consiguió en 56 días y el contenido nutricional: 1.16% de N, 1.66% de P y 2.3% de K. El uso de un inoculante, acelera el proceso de degradación de residuos orgánicos y garantiza la reducción del tiempo en el proceso de compostaje.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Microorganismos de montaña (MM)**

Surgen en los años 60, los mayores avances comienzan con los estudios del profesor de horticultura Teruo Higa, de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa aproximadamente en 1970. Este estudioso se motivó por la exploración de elecciones naturales en la producción agrícola, debido a que había sufrido efectos venenosos de plaguicidas sintéticos en sus primeros inicios de ejercitar su profesión, los (MM) son, bacterias, hongos, levaduras, micorrizas, y otros organismos benéficos, los cuales viven y se encuentran en el suelo de bosques, montañas, lugares sombreados, parras de bambú, y sitios donde en los últimos 3 años no se han utilizado agroquímicos (Callisaya y Fernández, 2017).

### **2.2.2 Microorganismos nativos**

Los microorganismos nativos, que aplican un tratamiento biológico tienen grandes ventajas sobre la aplicación de inóculos microbianos exóticos. Así mismo; se evita el uso de microorganismos no autóctonos, que podrían perturbar el delicado equilibrio del ecosistema o causar problemas ambientales y/o de salud pública; sin embargo, suelen tener excelentes características en la biodegradación (Wongbunmak et al., 2020).

### **2.2.3 Consorcios Nativos**

Varios estudios manifiestan que los microorganismos autóctonos degradan con mayor rapidez la materia orgánica y/o contaminantes locales, que los provenientes de otras regiones (Genside et al., 2008). Cuando las comunidades microbianas se encuentran en menores densidades, se puede retrasar o no llevar a cabo la degradación. Sin embargo, la bioaugmentación con la microflora nativa acelera la degradación (D'Annibale et al., 2006).

El uso de microorganismos autóctonos puede mejorar la eficacia de la degradación, considerando que estos organismos están mejor adaptados a su hábitat. Estos microorganismos tienen la ventaja de no combatir con la comunidad nativa por la fuente de carbono y no causan el posible impacto nocivo asociado con la introducción de organismos exógenos (Tao et al., 2017).

Las ventajas que se adquieren con un consorcio nativo es que se forma naturalmente y tiene un mayor potencial de degradación (Tirado et al., 2015).

#### **2.2.4 Tipo de microorganismos benéficos**

**Bacterias:** son procariotas, que están muy extendidas en la biosfera; su rápido crecimiento y metabolismo, plasticidad genética y la capacidad de adaptarse rápidamente a diferentes ambientes los hace muy eficientes en los procesos de biodegradación. Para mejorar la degradación de los contaminantes, los microorganismos tienen una cierta capacidad química llamada quimiotaxis. (Sapuppo, 2018).

**Hongos:** la cantidad de esporas y del gran micelio de estos microorganismos tienen el potencial de absorber los minerales tóxicos y su labor importante es liberar nutrientes y degradar la materia orgánica. Su remediación por parte de estos microorganismos se produce por la acumulación a través de la precipitación tanto intracelular como extracelular o conversión de iones metálicos. Sin duda, los hongos son los únicos microorganismos del planeta capaces de destruir la madera. El micelio del hongo produce ácidos y enzimas extracelulares eficaces capaces de destruir la celulosa y la lignina (Gupta et al., 2017).

**Hongos:** La principal característica de este microorganismo es su fácil adaptación a diferentes hábitats, y su función es la descomposición de la celulosa y la lignina (FUNDASES, 2015).

Entre los principales microorganismos tenemos:

**a) Hongos de fermentación (*Penicillium* sp y *Aspergillus* sp)**

Son hongos de fermentación: *Mucor hiemalis*, *Aspergillus oryzae*, y *Penicillium* sp, que transforman ligeramente a la materia orgánica para producir ésteres, alcohol y sustancias antimicrobianas que evitan la presencia de insectos nocivos. (Dellaglio et al., 2005).

**b) El género *Cylindrocarpon* sp**

Por lo general, habita en la ectorizosfera de muchas especies de plantas diferentes, como leñosas y herbáceas, causando importantes enfermedades de las raíces de los cultivos y las plántulas de coníferas en los viveros (Khorasani, 2013). sus esporas deben ingresar en contacto con la superficie de la raíz, luego la hifa entra y es capaz de descomponer las células del córtex, restringiendo así el transporte de nutrientes y la absorción (Petit et al., 2011).

**c) Género *Bacillus***

El género *Bacillus* son bacilos anaerobio facultativos o aerobios estrictos, La mayoría de ellos son móviles debido a la presencia de flagelos insertados en disposición peritrica. Además, son saprófitos, catalasa positivos y quimiorganotrofos con metabolismo enzimático o respiración aeróbica Estas especies tienen una extensa gama de capacidades fisiológicas que les permite sobrevivir en diferentes entornos.

El periodo de vida de este género tiene dos etapas: esporulación y crecimiento vegetativo. Si los nutrientes comienzan a ser escasos. Las bacterias inician el proceso de esporulación, formando una endospora. La estructura de la endospora, que desarrollan las

bacterias del género *Bacillus*, les permiten sobrevivir a condiciones ambientales desfavorables como: desecación, temperatura, pH, entre otros.

Durante la fase de crecimiento, las bacterias crecen exponencialmente en un ambiente con condiciones nutricionales favorables (Tejera et al., 2015).

**d) *Paenibacillus lautus***

Los miembros de *Paenibacillus* sp. Son aerobios facultativos y producen varias enzimas industrialmente valiosas *Paenibacillus lautus*. Desempeña funciones vitales en la mejora de los atributos celulolíticos y podría ser una herramienta útil para la lignocelulósica. degradación de biomasa y gestión de residuos (Yadav y Dubey, 2018).

**e) *Ochrobactrum* sp**

Las especies de *Ochrobactrum* son organismos gramnegativos no entéricos que están estrechamente relacionados con el género *Brucella*. Desde la designación del género en 1988 (Ryan y Pembroke, 2020). Varias *Ochrobactrum* sp. han sido investigados por su potencial para degradar los contaminantes xenobióticos y para la desintoxicación de metales pesados en una variedad de condiciones ambientales y materia orgánica (WU et al., 2009).

**f) Bacterias Ácido Lácticas**

Estas bacterias originan ácido láctico a partir de carbohidratos y azúcares, que son absorbidas por bacterias de levaduras y fototrópicas. El ácido láctico es un poderoso bactericida que inhibe a los microorganismos patógenos y acelera la desintegración de la materia orgánica. Las bacterias ácido lácticas aumentan la desintegración los componentes del material orgánico, como la celulosa y la lignina, que transforman estos materiales sin afectar negativamente al proceso (Najar, 2014).

### **2.2.5 Consorcios microbianos**

Es una sociedad natural de poblaciones microbianas de dos o más especies diferentes que interactúan juntas como una comunidad en un sistema complejo, en el cual todos se favorecen de las actividades de los demás. Esta relación de asociación refleja un estilo de vida sinérgicos o sintróficos (que significa “comer juntos”) donde el crecimiento y el flujo cíclico de nutrientes son más eficientes que los grupos individuales (López et al., 2017).

Brenner et al. (2008), las comunidades microbianas pueden realizar funciones complejas que las poblaciones individuales no pueden; además, la comunidad colectiva puede ofrecer una mayor resistencia a las fluctuaciones ambientales y contribuir a la estabilidad de los miembros, en el tiempo. Estos rasgos característicos dependen de dos propiedades. Primero, los miembros de un consorcio se comunican entre sí. Ya sea por señales moleculares o a través del intercambio de sustancias, cada comunidad puede detectar y responder la presencia de otras adentro del consorcio, ejerciendo sobre ellas un control positivo o negativo en su desarrollo y/o desintegración. Aquí, "comunicación" se refiere a la interacción fisicoquímica a través de la cual se identifica el emisor, el canal y el receptor de la información. Esta comunicación accede la segunda característica, es la partición del trabajo. El rendimiento general del consorcio depende de la combinación de tareas realizadas por los componentes individuales, es decir, por las poblaciones microbianas participantes. Otra característica importante de los consorcios es su capacidad para realizar funciones que requieren múltiples operaciones. Tales tareas son posibles cuando las diferentes actividades son realizadas, por especies microbianas especializadas.

### **2.2.6 Microorganismos Celulolíticos**

Todos los organismos capaces de degradar la celulosa cristalina mediante la acción de varias enzimas (celulasas) en diferentes fases de especificidad, que ejercen

sinérgicamente para hidrolizar la celulosa (Lynd et al., 2002).

La celulosa es degradada por una serie de microorganismos que contienen hongos y bacterias, aeróbicos y anaeróbicos, mesófilos y termófilos que encuentran en todos sus hábitats: hongos celulolíticos más importantes: *Penicillium funiculosum*, *Trichoderma koningii*, *Trichoderma reesei*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Fusarium solani*, *Cladosporium* sp *Aspergillus* sp., *Mucor* sp., *Helotium* sp. *Alternaria* sp., *Trametes* sp., *Rhizoctonia* sp., *Paecilomyces* sp., *Sporotrix* sp., *Bulgaria* sp., *Chaetomium* sp., *Geotrichum* sp (Martínez et al., 2008).

Las bacterias aerobias más conocidas: Gram positivas *Cellulomonas* y *Thermobifida* pertenecientes al *phylum Actinobacteria* y las anaerobias fermentativas del *phylum Firmicutes*, típicamente Gram positivas, como *Clostridium*, *Ruminococcus* y *Caldicellulosiruptor* y algunas Gram negativas como *Butyrivibrio* y *Acetivibrio* (Rabinovich et al., 2002).

*Thermobifida* sp., *Bacillus* sp., *Vibrio* sp., *Pseudomonas* sp., *Cytophaga* sp., *Cellulomonas* sp anaerobios como: *Bacteroides cellulosolvens*, *Tuminococcus flavefaciens*, *Acetivibrio cellulolyticus*, *Thermo monospora* sp., *Butiri vibrio* sp., *Ruminococcu salbus*, *Clostridium thermocellum*, *Coryne bacterium* sp., *Bacteroides succionogenes*, *Clostridium cellulovorans* (Lynd et al., 2002).

### **2.2.7 Microorganismos anaerobios y aerobios que degradan la celulosa**

Existen diferencias significativas en los mecanismos de hidrólisis enzimática de la celulosa entre hongos (aerobios y anaerobios) y bacterias. Las bacterias aeróbicos y hongos peculiarmente tienen un sistema de celulasa simple que da como resultado la liberación de enzimas hidrolíticas de celulosa en el medio de cultivo. Pero los hongos de los géneros

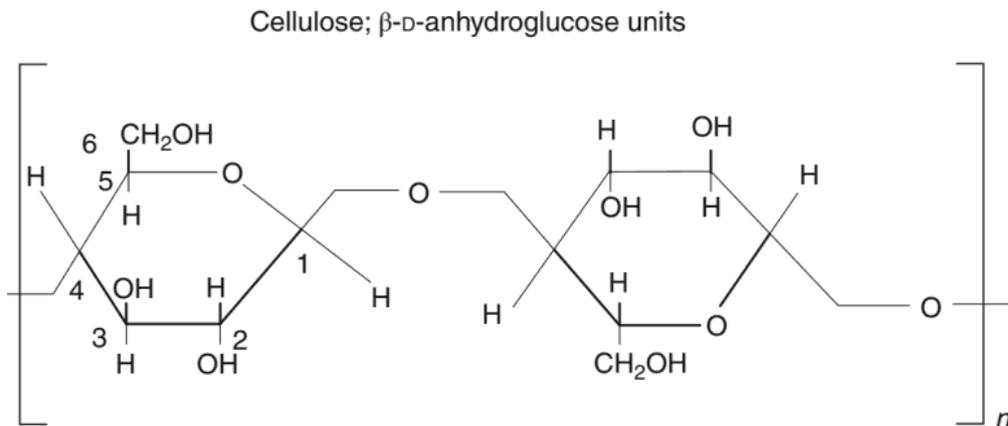
*Piromonasy*, *Neocallimastix*, *Sphaeromonas* y las bacterias anaeróbicas principalmente el *Clostridium* spp., tienen un sistema de celulasas que forman complejos multienzimáticos que catalizan a la celulosa que se encuentran en una unidad de estructuración llamada celulosoma. Esta diferencia de estos microorganismos tiene impedimentos en el uso biotecnológico, los hongos y bacterias anaerobios tienen ventajas sobre los sistemas aeróbicos en métodos de eficacia de hidrólisis. Los sistemas de celulasa dispuestos en un complejo aseguran un alto grado de sincronización con las enzimas incluidas en la oxidación de la celulosa lo que accede a evitar el gasto del intermediario durante la degradación debido a cambios climáticos. Los sistemas aeróbicos que necesitan aireación y agitación continuas, durante la degradación las enzimas son liberadas y en algunos casos son destruidas que puedan afectar la eficacia del proceso. Los aerobios obtienen más energía (38 moles de ATP/mol de glucosa) y los anaerobios (2-4 moles de ATP/ mol de glucosa) lo que conlleva, la supuesta eficacia de hidrólisis de los microorganismos aeróbicos es favorable en ganancia energética (Malherbe y Cloete, 2002).

### **2.2.8 La celulosa**

Mishra et al. (2018), indica que la celulosa es un homopolisacárido lineal con monómeros de monosacáridos (azúcar), compuesto exclusivamente que se origina a partir de monómeros de  $\beta$  glucosa, fusionados por conexiones glucosídicos 1-4 con diferentes niveles de polimerización. Las conexiones que se produce entre los 2 monosacáridos enlazados se denomina enlace glucosídico, su forma lineal de la cadena polimérica dirige al desarrollo de uniones de hidrógeno intracadena entre los grupos hidroxilo junto con los átomos de oxígeno de las moléculas de anillo cercanas para equilibrar las cadenas de celulosa. Figura 1 representa la estructura de la celulosa.

## Figura 1

Representación esquemática del monómero de la celulosa



(Hamad, 2017, pág.18)

### 2.2.9 La biodegradación

Branco (1984, como se citó en López, 2012). Es el resultado de los procesos de metabolismo, digestión y asimilación de un compuesto realizado por las bacterias, hongos y otros organismos reciclando los elementos de la biosfera incorporando los elementos esenciales para el desarrollo y crecimiento de nuevos organismos. La desintegración puede ser aeróbica (con oxígeno) o anaeróbica (sin oxígeno). El primero es más completo, libera dióxido de carbono, energía y agua. La de mayor rendimiento energético. Y la segunda es un proceso incompleto que liberan menos energía.

Plastivida (2019), el proceso de biodegradación lo realizan los microorganismos que degradan a la materia en fragmentos más pequeños. Por ejemplo, en su entorno aeróbicas, los productos de la degradación son el agua y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Que son asimilados por el medio ambiente y finaliza el ciclo del carbono.

### **2.2.10 Factores que Afectan en la Biodegradación**

En el caso de la biodegradación, el agente está dado por los organismos vivos como las bacterias, algas y hongos, que degradan la materia. Estos microorganismos dependen de condiciones ambientales para que se produzca la biodegradación: humedad, pH, oxígeno, temperatura y población adecuada de microorganismos siendo las enzimas que intervienen en la degradación. (Plastivida, 2019).

Las enzimas son catalizadores biológicos con la misma acción como catalizadores químicos. La mayoría de las enzimas son proteínas que tienen una cadena polipeptídica con una estructura tridimensional y esta estructura crea secuencias específicas de aminoácidos formando un sitio activo, la interacción entre el substrato y la enzima que lleva a cabo la reacción química. Para una actividad óptima, ciertas enzimas se asocian con factores como iones (K, Mg, Ca y Na) o factores orgánicos. La desventaja del uso de estas mezclas es la poca adhesión entre las fases formadas que afecta y disminuye sus propiedades mecánicas finales, por tal razón se está investigando el efecto de diferentes tipos de compatibilizantes entre estas mezclas (Lopez, 2012).

### **2.2.11 Residuos sólidos**

Decreto legislativo N° 1278 (2017), es residuo sólido que constituye cualquier objeto, sustancia, elemento o material proveniente del uso de un servicio y bien que su propietario tras su vida útil, tiene la obligación de ser desechados, deben ser gestionados dando prioridad el tratamiento de los residuos. Los residuos sólidos están compuesto principalmente de desechos que se encuentran en fase semisólida o sólida. También esta aquellos que se encuentran en su estado de gas o líquido que están depositados en contenedores o almacenados que van a ser desechados, así como los gases o líquidos, que por sus propiedades fisicoquímicas no deben colocarse en los sistemas de tratamiento de

efluentes y emisiones, en tal sentido no pueden ser esparcidos a la naturaleza. Es por ello estos residuos deben ser dispuesto de forma segura para su adecuada disposición final.

**a) Residuos orgánicos**

Los residuos orgánicos, son biodegradables por su origen y propiedades biológicas que se clasifica de la siguiente forma: constituyen solubles en agua, tales como los ácidos orgánicos, aminoácidos, féculas y azúcares, celulosa, lignina, lignocelulosa, hemicelulosa, proteínas, aceites, grasas y ceras, y todos sus componentes orgánicos logran ser transformado biológicamente en sólidos inorgánicos relativamente inerte e orgánicos y en gases. La emisión de olores y la acelerada reproducción de moscas están en relación de la putrefacción de algunos residuos orgánicos encontrados en restos vegetales y comida de origen domiciliario (Jaramillo y Zapata, 2008).

**b) Reaprovechamiento de residuos sólidos**

La Ley N°1501 (2020), define que el reaprovechamiento es conseguir un beneficio del bien ya usado (elemento o artículo) que constituye un residuo sólido. También se conoce como una práctica de reaprovechamiento el reciclaje, reutilización o recuperación. Está relacionado con lo que dice el Decreto Ministerial N° 637. El reciclaje de los residuos sólidos es de interés y necesidad del estado, la nación a través de sus varias agencias promoverá la segregación en su origen y la recolección selectiva de los residuos sólidos con fines de reaprovechamiento creando así empleos saludables, y protegiendo al entorno natural al mismo tiempo. El Ministerio de Salud coordina con los gobiernos locales para la realización de campañas informativas para promover la educación del reciclaje de los residuos sólidos (artículo N° 3).

## CAPÍTULO III

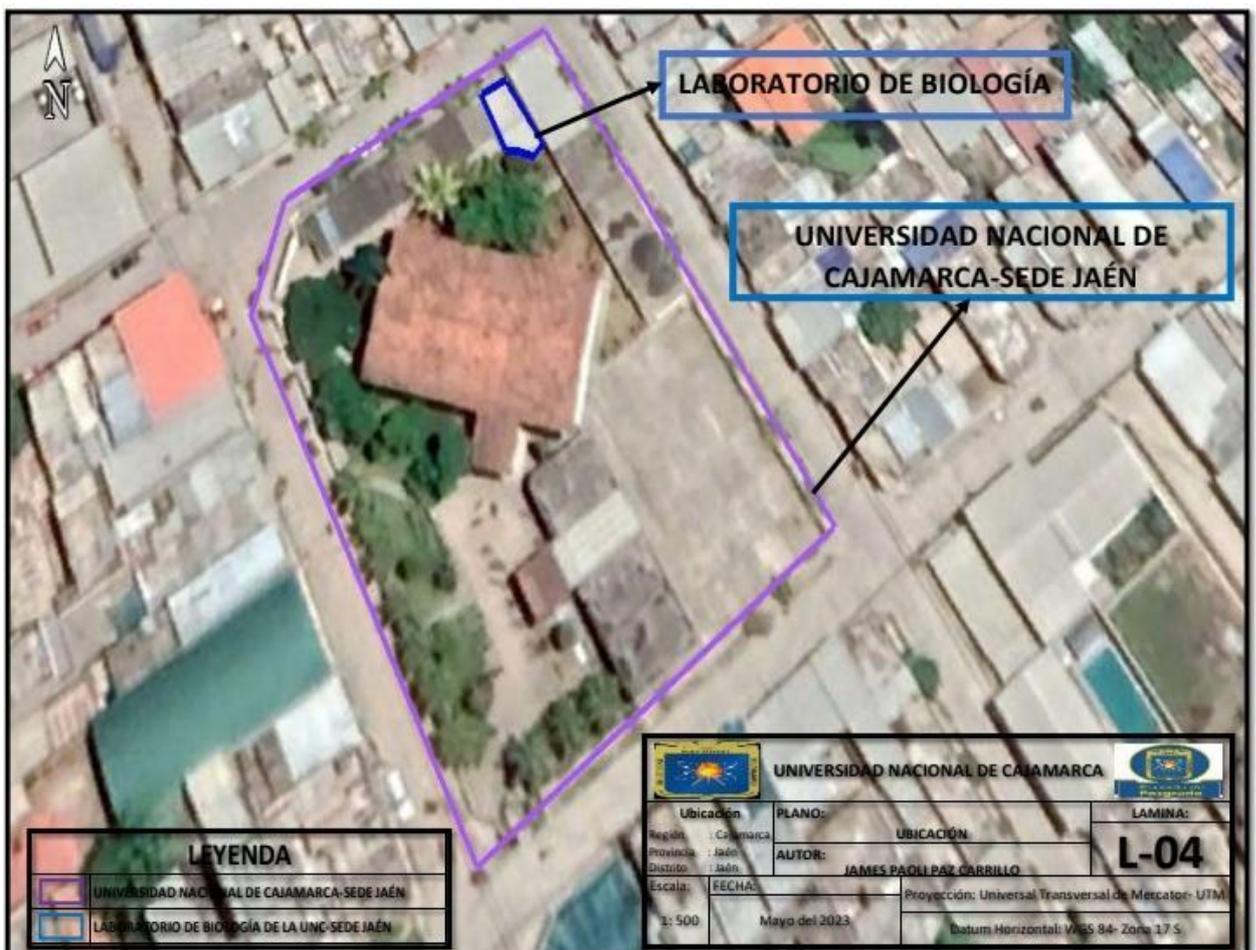
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del área de estudio

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Biología y Microbiología de la Universidad Nacional de Cajamarca - Filial Jaén, distrito y provincia de Jaén, región Cajamarca, localizada entre las Coordenadas UTM: 743438 Este y 9367731 Oeste. A una altura de 719 m s.n.m., tiene las siguientes características climáticas.

#### Figura 2

*Ubicación del laboratorio de Biología y Microbiología*



### a) Condiciones climatológicas

En la ciudad de Jaén, es semi húmedo, con una temperatura mínima de 17.2 - 20.2°C y la máxima oscila entre 30.8 - 34.2°C. Las precipitaciones pluviales en la localidad se intensifican en los meses de octubre a mayo, la precipitación anual es 760.35mm en promedio anual. Jaén presenta un relieve accidentado está a una altitud de 654 m s.n.m. y se encuentra dentro de la cuenca de la Quebrada Jaén, y con una vegetación tipo Tropical (GEDEAM, 2017).

## 3.2 Materiales

### 3.2.1 Material biológico

Los cultivos de bacterias y hongos son proporcionados por el Laboratorio de Biología y Microbiología de la Universidad Nacional de Cajamarca – Filial Jaén, los que consistieron en:

**Consorcio de Hongos:** *Fusarium* sp., H92, H14a, *Penicillium* sp., *Cylindrocarpon* sp.

**Consorcio de Bacterias:** *Ochrobactrum pseudogrignonense*, B38, *Paenibacillus lautus*, *Bacillus xiamenensis*, B10 y bacterias celulíticas.

Estos microorganismos fueron aislados de suelos ubicados en el caserío San Luis del Nuevo Retiro, Jaén, Cajamarca, Perú (Coordenadas UTM 728126 E, 9373449 N, aproximadamente 2300 m s.n.m.) que corresponde a un bosque nuboso.

### **3.2.2 Medios de cultivo**

Agar nutritivo (fórmula en gramos por litro: Peptona 5.0, extracto de carne 3.0 y agar 12.0), Carboximetilcelulosa Sódica 0.1gr y Sabouraud Dextrosa Agar (fórmula en gramos por litro: peptona 10.00, dextrosa 40.00 y agar 15.00).

### **3.2.3 Materiales y equipos de laboratorio**

Matraces, tubos de ensayo, vasos de precipitación, refrigeradora (marca INRESA), papel de filtro, tamiz, cajas Petri, estufa (Marca TRAMET), autoclave, embudos de vidrio, baño maría, balanza electrónica (marca HENKEL), baguetas y espátula.

**Materiales y equipos de oficina.** Laptop, cámara digital, memoria USB y calculadora.

**Materiales.** Bolsas plásticas, libreta de apuntes, lápiz, baldes.

### 3.2.4 Tratamientos

Los tratamientos considerados en la presente investigación fueron:

- T1.** Se inoculó 50 mL de consorcio de Hongos compuesto por *Fusarium* sp., H92, H14a, *Penicillium* sp., *Cylindrocarpon* sp., más un litro de agua destilada, se mezcló, y se agregó 500gr de restos de fruta y verdura procesada (picada en partículas pequeñas), para su descomposición, utilizando un biorreactor artesanal.
- T2.** Se inoculó 50 mL de consorcio de bacterias (*Ochrobactrum pseudo grignonense*, B38, *Paenibacillus lautus*, *Bacillus xiamenensis*, B10 y bacterias celulolíticas), más un litro de agua destilada, se mezcló, y se agregó 500gr de materia prima dentro de un biorreactor artesanal para su degradación.
- T3.** Se inoculó 50 mL de consorcio de hongos (*Fusarium* sp., H92, H14a, *Penicillium* sp., *Cylindrocarpon* sp.), más un litro de agua y 50mL de bacterias (*Ochrobactrum pseudogrignonense*, B38, *Paenibacillus lautus*, *Bacillus xiamenensis*, B10 y bacterias celulolíticas), mezclando y agregando 500gr de materia prima dentro de un biorreactor artesanal.
- T4.** En el biorreactor artesanal, se vertió un litro de agua destilada, luego se agregó 500gr de residuos sólidos domiciliarios orgánicos de restos de verdura y fruta para su biodegradación. A esta mezcla, no se aplicó ningún consorcio de hongos y bacterias.

En todos los tratamientos se tuvieron 5 repeticiones.

**Tabla 1***Detalle de los tratamientos a aplicar para la biodegradación*

<b>Tratamiento</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Consortio</b>	<b>Preparación</b>	<b>Observaciones</b>
T-1	T1-1	Hongos	Se instaló el biorreactor artesanal, se realiza una mezcla con: Un litro de agua destilada más 50mL de inóculo de hongos y 500gr residuos sólidos orgánicos.	Una sola dosis de inóculo.
	T1-2	Hongos		
	T1-3	Hongos		
	T1-4	Hongos		
	T1-5	Hongos		
T-2	T2-1	Bacterias	Se instaló el biorreactor artesanal, se realiza una mezcla con: Un litro de agua destilada más 50mL de inóculo de bacterias y 500gr residuos sólidos orgánicos.	Una sola dosis de inóculo.
	T2-2	Bacterias		
	T2-3	Bacterias		
	T2-4	Bacterias		
	T2-5	Bacterias		
T-3	T3-1	Hongos y Bacterias	Se instaló el biorreactor artesanal, se realiza una mezcla con: Un litro de agua destilada más 50mL de inóculo de hongos y bacterias cada uno y 500gr residuos sólidos orgánicos.	Una sola dosis de inóculo de hongos y bacterias.
	T3-2	Hongos y Bacterias		
	T3-3	Hongos y Bacterias		
	T3-4	Hongos y Bacterias		
	T3-5	Hongos y Bacterias		
T-4	T4-1	Testigo	Se instaló el biorreactor artesanal, se realiza una mezcla con: Un litro de agua destilada más 500gr residuos sólidos orgánicos.	No se agregó ninguna dosis de inóculos
	T4-2			
	T4-3			
	T4-4			
	T4-5			

### **3.3 Metodología**

#### **3.3.1 Tipo de estudio**

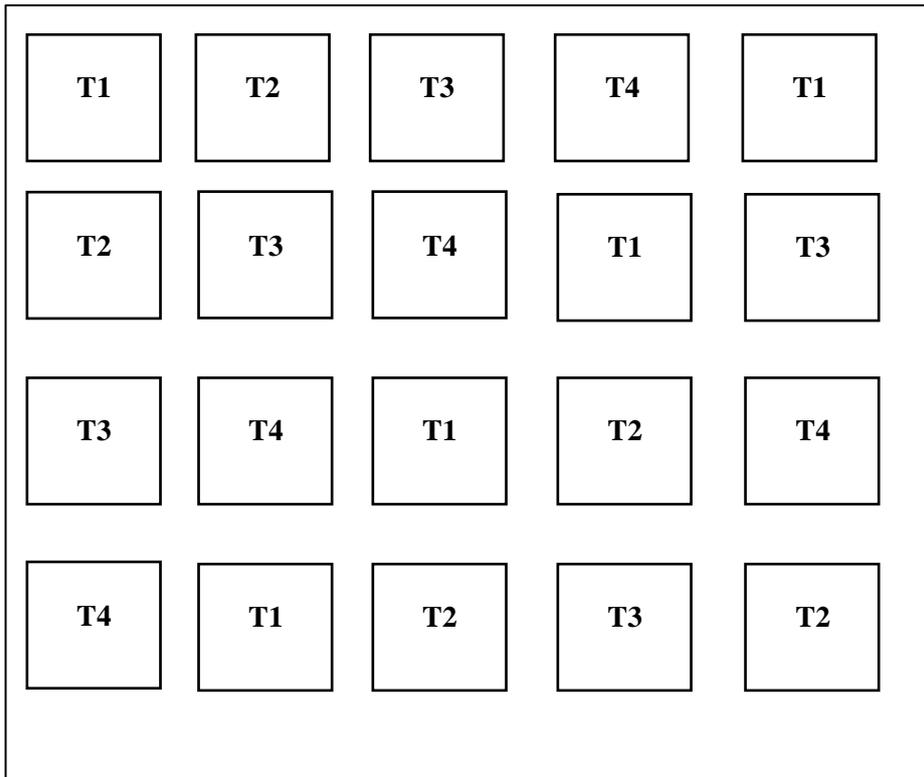
La presente investigación fue de tipo experimental, ya que evaluó el efecto de un consorcio microbiano nativo en la descomposición de residuos sólidos domiciliarios. Comparando el tiempo de degradación y la calidad del producto final del proceso realizado por microorganismos. Según Baena (2017), la investigación experimental está sometido a la manipulación de variables frente a situaciones controladas y estímulos, con el objetivo de entender el comportamiento de situaciones particulares que se originan durante el experimento. En esta investigación se realizó los tratamientos que se distribuyeron al azar. Cuyo enfoque fue cuantitativo porque se registraron los datos numéricos y registrados en un cuaderno o ficha de apuntes. Según Hernández et al. (2017), el enfoque cuantitativo que permite probar la hipótesis utilizando la estadística, asumiendo un control y precisión a fin de orientar los resultados y comportamientos obtenidos.

### 3.3.2 Diseño de investigación

Se usó el diseño experimental completamente aleatorizado (DCA), donde se evaluaron 4 tratamientos con 5 repeticiones.

**Figura 3**

*Distribución al azar de los tratamientos*



T1: Hongos

T2: Bacterias

T3: Hongos y Bacterias

T4: Testigo

### 3.3.3 Preparación del inóculo del consorcio microbiano celulítico

**Figura 4**

*Inóculos de hongos y bacterias*



En la figura 4. Se observa la preparación del inóculo, que contiene el consorcio de hongos (a) y consorcio bacteriano (b) en una solución de caldo peptonado, que fue utilizado para inocular al sustrato (desechos de residuos orgánicos domiciliarios).

### 3.3.4 Diseño y construcción del Biorreactor

**Figura 5**

*Biorreactor artesanal-modelo airlift*



La figura 5 se observa el biorreactor artesanal conformado por un frasco de vidrio, sostenido por un soporte de rejillas y su flujo de aire conectado con una manguera de suero que proporciona aire constante constituyendo la única fuente de agitación, usando para esto un motor de pecera. El diseño del biorreactor artesanal es un sistema aireado construido a partir de herramientas y recursos reciclables que nos permitió llevar a cabo el proceso de descomposición con la participación de hongos y bacterias. Para su uso previamente fue esterilizado en autoclave a 121°C a 1atm de presión.

### 3.3.5 Recuento microbiano

Se usó el método de recuento en placa, el cual se realizó de la siguiente manera; se realizaron diluciones de  $10^{-1}$  hasta  $10^{-4}$  luego se colocaron en las placas 0.5mL de las muestras y se vertió el medio de cultivo a  $45^{\circ}\text{C}$  a las placas que contenían los microorganismos (método de la placa vertida), haciendo movimientos rotatorios para lograr una mezcla uniforme; luego las placas se incubaron a temperatura ambiente.

Para las bacterias se usó el medio de agar nutritivo y para los hongos agar Sabouraud con 0.05g de ampicilina como antibiótico, pasado el tiempo de crecimiento se contaron las colonias teniendo en cuenta el número máximo y mínimo de las colonias que fueron 30 a 300. Para encontrar las UFC/mL se aplicó la siguiente fórmula

\*Factor de dilución=Inversa de la dilución

las placas corresponden a una siembra hecha con dilución  $10^{-3}$  de hongos y bacterias. Se determinó el número de colonias en 0.5 mL; el resultado se multiplicó por el factor de dilución.

### 3.3.6 Recolección y preparación de la materia prima

**Figura 6**

*Recolección y preparación de los RSD recolectados*



En la figura 6 se observa la recolección de residuos sólidos domiciliarios (RSD) de origen orgánico frescos, que fueron: cascaras de frutas y residuos de verduras; para luego ser picados proporcionalmente en tamaños uniformes siendo estos de 3 a 5 cm y luego pesados.

### 3.3.7 Carga del biorreactor

**Figura 7**

*Recargas del biorreactor con todos los ingredientes utilizados*



En la figura 7, se observa el biorreactor artesanal, constituido por un frasco de vidrio de 3 litros de capacidad, el cual se recargó con 500 gramos de residuos orgánicos, mezclando con 1 litro de agua destilada estéril, inmediatamente se inoculó con 50mL de un consorcio microbiano celulítico.

### **3.3.8 Análisis del producto final**

Las muestras del producto final fueron enviadas para que se han analizados, en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), donde se determinaron la calidad del producto final, de concentración (nitrógeno, fósforo y potasio).

### **3.3.9 Tamaño de las partículas**

Para conocer el tamaño de partícula que quedó después de la descomposición, se usó tamices con medidas de 4000, 500, 250, 125 y 63  $\mu\text{m}$ ; se diluyó 100g de la materia orgánica descompuesta con 200mL de agua y se filtró, tomando en cuenta para la medida la cantidad de materia orgánica que se encontraba en uno de las bandejas de los tamices.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto a los inóculos preparados en forma líquida se hicieron con la finalidad de que los microorganismos y sus enzimas lleguen a cada partícula de los RSD la que permitió la aceleración la descomposición de estos sustratos. Mendoza et al. (2017) manifiesta, la utilización de inóculos microbianos para acelerar la descomposición de los residuos orgánicos. Al igual que Nakasima et al. (2017) al utilizar inóculo aplicados a los residuos orgánicos es más rápida y estable en el proceso de degradación. Este resultado coincide con el trabajo ejecutado, entendiendo que los microorganismos al activarse necesitan de nutrientes para formar un complejo enzima sustrato de tal manera que generaran enzimas que permitan acelerar la reacción. Tal como muestra Reyes (2019), mediante el uso de hidrolasas cuyas principales fuentes fueron los microorganismos como hongos y bacterias las que fueron aplicadas a la materia prima, son biomoléculas que pueden ser producidas, degradadas o modificadas por estas. Los microorganismos usados en el presente trabajo son celulolíticos los cuales han sido usados para la descomposición de pulpa de café (Arteaga et al., 2021).

El biorreactor fue de tipo Airlift los que son ampliamente utilizados teniendo una estructura simple alta eficiencia de oxígeno y poco gasto de energía siendo la construcción artesanal. Los resultados obtenidos por Serrat y Méndez (2015), avalan la capacidad que tienen los biorreactores artesanales para ser utilizados en estudios de fermentación microbiana a escala de laboratorio. Gil y León (2021), diseñaron un biorreactor tipo tanque agitado y aireado con el fin de generar las condiciones ideales para el crecimiento de microorganismos, los cuales usan residuos orgánicos como su principal fuente de nutrición. Heidarzadeh et al. (2019), también diseñaron biorreactores aireados similares, del mismo

tamaño y forma a escala de laboratorio con el fin de darles un ambiente apropiado para el crecimiento microbiano, utilizando residuos orgánicos como alimento.

A los residuos domiciliarios se picaron en porciones pequeñas con la finalidad que los microorganismos y sus enzimas tengan más acceso al sustrato buscando la manera de acelerar el proceso. Dalzell (1991), refiere que un correcto picado permite obtener partículas de 1 a 5 cm lo que a su vez permitirá una mayor degradación aeróbica, y de esta manera existirá un mayor ambiente para los microorganismos. Wang y Ai (2016) también señaló, que se puede lograr el tamaño de partícula adecuado picando y triturando los residuos en partes más pequeñas. Esto proporciona una superficie más disponible para una mejor actividad microbiana durante la descomposición, lo que resulta en una degradación más rápida.

La cantidad utilizada en el biorreactor artesanal estuvo de acuerdo a su tamaño coincidiendo con Allinson et al. (2022) ya que utilizaron birreactores de vidrio de 1 litro de capacidad con 100 gramos de residuos orgánicos y los mezclando con 600mL de agua destilada estéril. Luego, añadieron 70mL de inóculo microbiano al sistema. Este estudio demostró la eficiencia de los biorreactores a escala de laboratorio, destacando la buena homogenización del sustrato y los microorganismos. Por otro lado, Serrat y Méndez (2015) diseñaron un biorreactor casero de 2 litros de capacidad, el cual estaba acoplado a un recipiente esférico. Utilizaron la mitad del volumen del biorreactor para sus investigaciones en fermentaciones microbianas. Los resultados de su experimento también validaron la eficacia de la mezcla dentro del biorreactor y su capacidad para el cultivo de microorganismos. Los estudios de Allinson et al. (2022) como el diseño de Serrat y Méndez (2015) respaldan lo mencionado en el presente trabajo, ya que dichos estudios confirman la eficacia de los biorreactores para cultivar y mantener los microorganismos en condiciones óptimas para su crecimiento y actividad metabólica.

#### 4.1 Recuento en placa Petri

**Figura 8**

*Recuento de colonias de bacterias(a) y hongos (b)*



(a) recuento bacteriano:  $21 \times 10^4$  UFC/mL y (b) recuento de Hongos  $12 \times 10^4$  UFC/mL

En la figura 8, se observa las colonias en el medio de cultivo las que al contarlas se obtuvo lo siguiente: Tabla 2

**Tabla 2**

*Recuento de microorganismos*

Bacterias	Hongos
$21 \times 10^4$ UFC/mL	$12 \times 10^4$ UFC/mL

El recuento en placa de Petri se realizó para tener un número estimado de colonias que tuvieron los 50mL de inóculo. Una de las técnicas más utilizadas para contar el número de microorganismos en un medio de cultivo es el recuento en placa. Zhang et al. (2022), describe que, en el método de conteo en placa, los microorganismos se colocan en un medio

adecuado y luego se espera que se conviertan en colonias. Al igual que Ramírez et al. (2017), manifiesta que es una de las técnicas más comunes es el recuento en placa, que cuantifica el número de microorganismos en un medio de cultivo utilizando unidades formadoras de colonias (UFC). Sanchez et al, (2017), menciona que para llevar a cabo el procedimiento se deben preparar medios apropiados, distribuirlos en cajas Petri, inocularlos adecuadamente y crear condiciones ambientales que favorezcan el crecimiento de colonias. En consecuencia, el recuento de colonias es un tema crucial para la investigación microbiana y el crecimiento de microorganismo en placa de Petri es confiable.

#### 4.2 Proceso de descomposición

##### Figura 9

*Descomposición de los RSD, antes (a) y después (b) de la aplicación de los microorganismos*



Diariamente se observó la que nos permitió comparar visualmente los cambios que se daban durante el proceso, se hizo la comparación con el testigo, obteniendo una reducción del tamaño del residuo sólido domiciliario.

Este RSD presentaba un color ámbar brillante y olor agradable producto de la

descomposición microbiana; el rango de pH se encontró entre los valores de 6-7. (Figura 9), comúnmente en la descomposición de los residuos sólidos orgánicos. Esto se debe a que los hongos y bacterias que degradan a la materia orgánica secretan y producen combinaciones de enzimas que actúan juntas para descomponer la lignocelulosa en las paredes celulares (Challacombe et al., 2019). Se sabe que el proceso de descomposición de materiales vegetales está regulado por interacciones entre hongos (Wahdan et al., 2022), así como por relaciones entre reinos entre hongos y bacterias (Kerdraon et al., 2019). Si la descomposición percibe un olor desagradable producto por la intervención de otras bacterias. que no tienen la misma capacidad para descomponer por la vía aeróbica y anaerobia, aminoácidos, proteínas, peptonas y polipéptidos. Las que tienen esta característica se suelen denominar bacterias putrefactivas (del género *Proteus*, *Fusobacterium*, *Micrococcus*, *Streptococcus* y *Clostridium*) porque a menudo originan productos de olor desagradable Constanza et al. (2016). Por lo tanto, las interacciones entre hongos y bacterias son capaces de descomponer los RSD.

### 4.3 Macronutrientes del producto final

**Tabla 3**

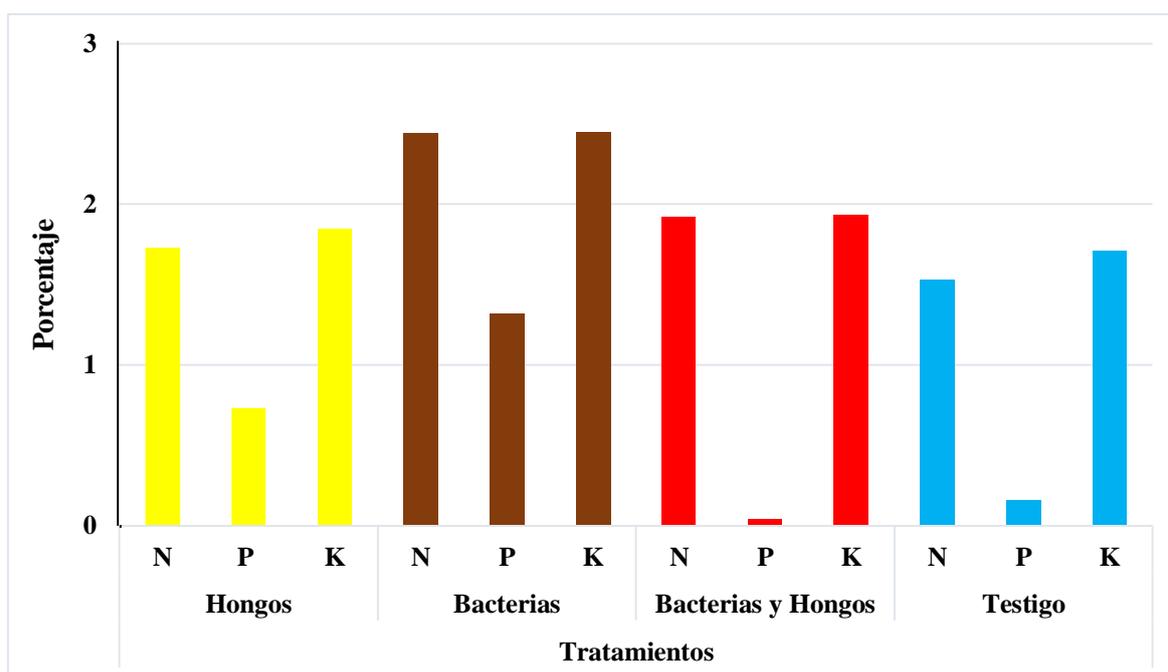
*Análisis de NPK del producto final*

N°	Tratamiento	N %	P %	K %
1	Hongos	1.73	0.73	1.85
2	Bacterias y Hongos	1.92	0.04	1.93
3	Bacterias	2.44	1.33	2.45
4	Testigo	1.53	0.16	1.71

La Tabla 3, contiene los resultados de los análisis realizados a las muestras del producto final (Anexo 8); en el cual se observan variaciones según la fuente microbiana de descomposición; el producto final obtenido del tratamiento 3 realizado con bacterias, generó mayor cantidad de nutrientes equivalente a 2.44 % N (Nitrógeno), 1.33% de P (Fósforo) y 2.45 % de K (Potasio). El tratamiento 2 (combinación de Hongos y Bacterias), generó una concentración de 1.92% de N y 1.93% de K, y en bajas concentraciones 0.04% de P. El tratamiento 1 realizado con Hongos, produjo concentraciones de nutrientes equivalentes a 1.73% de N, 0.73% de P y 1.85% de K, con el tratamiento 4 (Testigo), se obtuvieron los siguientes nutrientes 1.53% de N, 0.16% de P y 1.71% de K.

**Figura 10**

*Porcentaje de NPK en los diferentes tratamientos*



En la Figura 10 se observa que el tratamiento (T3), realizado con Bacterias produce mayor cantidad de nutrientes; con respecto al testigo, si hay variación hay un aumento de casi 1% con respecto al nitrógeno total; mientras que el uso solo de hongos con menor cantidad de nutrientes en comparación al testigo no hay mucha variación esto también es

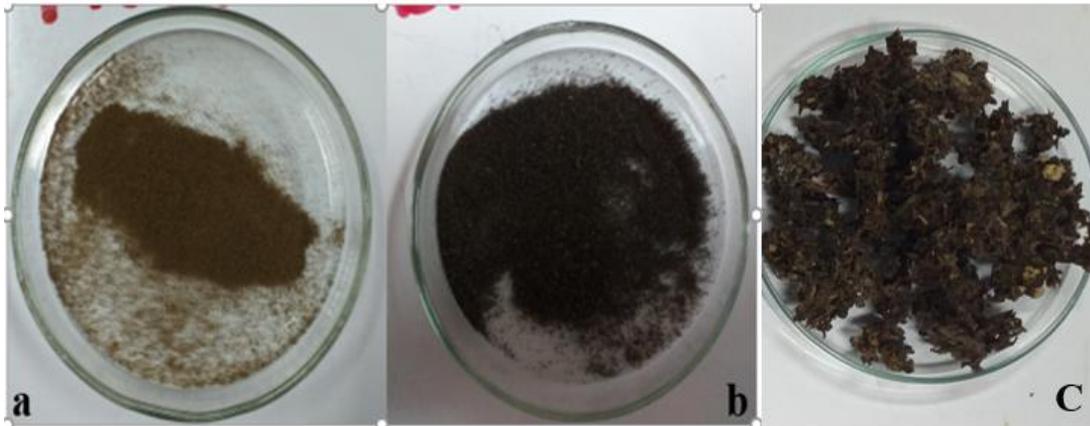
similar al de hongos y bacterias. El uso combinado de hongos y bacterias, tendría una aplicación para generar abonos orgánicos con determinados requisitos (bajos en Fósforo), que podría aplicar en cultivos que así lo requieran.

De los resultados obtenidos posterior al análisis especial de materia orgánica, se obtuvo una mayor concentración de nutrientes mediante el tratamiento realizado con el consorcio bacteriano (Tabla 9), cuyos resultados fueron: 2.44% N, 1.33% P y 2.45% K; esta información corrobora lo indicado por la Norma Chilena (2003), la cual menciona que, el producto final de descomposición debe poseer un valor mayor o igual de nitrógeno a 0.8%, fósforo mayor o igual a 0.1%. Asimismo, Jusoh et al. (2013), en su investigación con los microorganismos eficientes (bacterias del ácido láctico, levaduras y bacterias fototróficas), obtuvo un porcentaje de macro elementos NPK equivalente a: 2.4%, 0.22% y 1.7%, respectivamente. Nacimba et al. (2018), determinaron en su estudio, que el microorganismo *Citrobacter freundii*, redujo la cantidad de desechos orgánicos en un 80.97%, y obtuvo como resultado los siguientes nutrientes: nitrógeno total (4%), fósforo total (0.02%), potasio (0.73%). Así mismo Mendoza (2021), concluye que los microorganismos de montaña (*Thrichoderma*, *Bacillus*, *Fusarium* y *Rhizoctonia*) son eficientes para la producción de materia orgánica a través de los residuos orgánicos municipales, obteniendo como resultado los siguientes nutrientes: nitrógeno (3.18%), fósforo (1.309%) y potasio (2.34%) de la misma forma, en el estudio realizado por Rodríguez et al. 2007, tras evaluar el inóculo termofílico, obtuvieron los siguientes nutrientes: nitrógeno total 1.16%, fósforo total 1.66% y potasio 2.3%. Este contenido nutricional se podría aprovechar como un bioabono ya que contiene porcentajes de 1 a 2% de nitrógeno siendo una de las características del compost.

#### 4.4 Tamizado del producto final

**Figura 11**

*Tamizado de las partículas del producto final: hongos (a), bacterias (b) y Testigo(C)*



En la Figura 11, se muestra el tamaño de las partículas de cada tratamiento: a. hongos 125  $\mu\text{m}$ ; b. Bacterias 125  $\mu\text{m}$ ; c. Bacterias más hongos 250  $\mu\text{m}$  y testigo 4000  $\mu\text{m}$ .

El tamaño de partícula se obtuvo al finalizar el experimento; en los tratamientos que tuvieron una mayor distribución de partículas en los tamices, fueron los que tuvieron un proceso de biodegradación más óptimo (0.125-0.25 mm), esto se corrobora con la NCH2880 (2003), que el tamaño máximo de las partículas que lo integran debe ser menor o igual a 15 mm. Lo mismo se menciona en la NTC-5167 (2004), que el tamaño de las partícula es <16 mm. Sobre el tamaño de partículas Ansorena (1994) citado por Vargas (2017) menciona que cuando las partículas son proporcionalmente finas benefician la capacidad de retención de agua y si las partículas son gruesas mejora el suministro de oxígeno a las raíces, pero disminuye la capacidad de retención de agua. Los 4 tratamientos presentaron un producto final de porosidad adecuada.

#### 4.5 Análisis estadístico

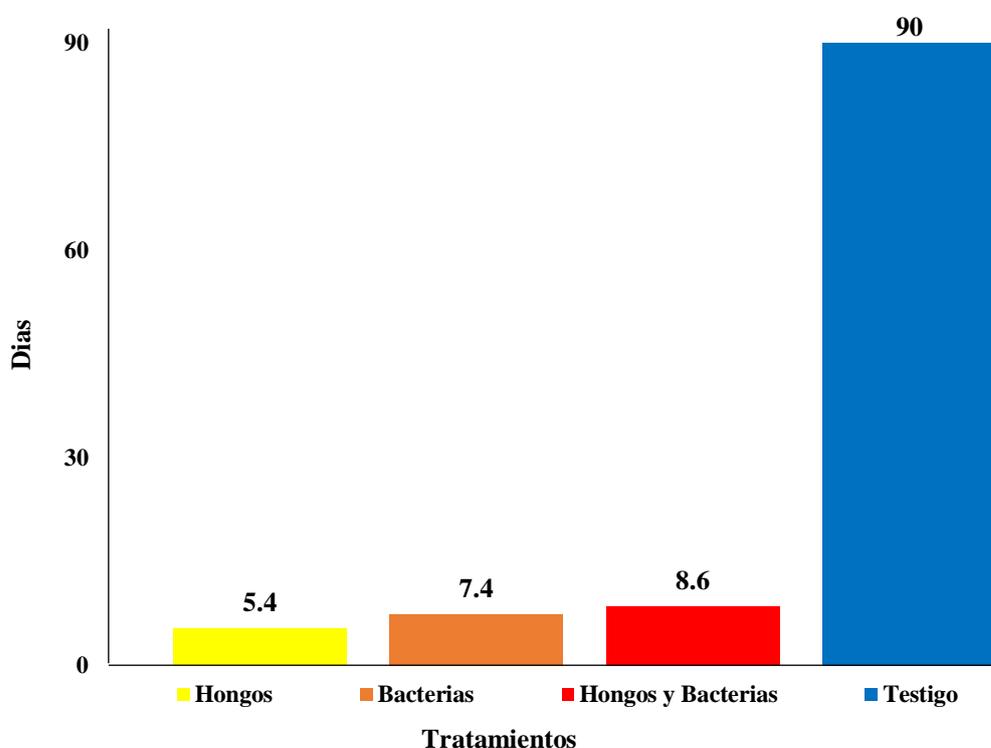
Tabla 4

*Promedio de días de biodegradación de los Residuos sólidos domiciliarios*

Tratamientos	T-1	T-2	T-3	T-4
Promedio (%)	5.4	7.4	8.6	90

Figura 12

*Tiempo empleado por el consorcio microbiano en la descomposición de los RSD*



En la tabla 4 , figura 12, se observa el tiempo promedio de la descomposición empleado por el consorcio microbiano celulítico, siendo el tratamiento de hongos, de 5.4 días, y con bacterias 7.4 días; con la mezcla con hongos y bacterias 8.6 días y con el testigo no se terminó de evaluar el tiempo en el laboratorio ya que, a los 9.4 días empezó la pudrición (espacio muy reducido del laboratorio) emitiendo olores desagradables,

concluyendo con la observación de la descomposición de los residuos orgánicos sólidos, realizados por la municipalidad de la ciudad de Jaén que fueron 90 días. Los resultados encontrados en el presente trabajo, son similares a los resultados encontrados por Niu y Li (2022) con la diferencia en que ellos no usaron consorcios sino microorganismos individuales como la bacteria *Bacillus thermoruber* que degradó el material orgánico en un periodo de tiempo de 7 y 14 días. Baltierra et al. (2016) registraron así mismo, un periodo de tiempo relativamente corto equivalente a 7 días, al emplear cepas de *Aspergillus* y *Penicillium* en la descomposición de los residuos orgánicos; Heidarzadeh et al. (2019) demostraron que la inoculación con *Aspergillus niger*, logró descomponer los residuos sólidos municipales en 18 días. Los autores que utilizaron consorcios como Awasthi et al. (2015), (*Phanerochaete chrysosporium*, *Trichoderma viride* y *Pseudomonas aeruginosa*) mostraron que la degradación de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales (OFMSW) aceleró el tiempo de degradación en 28 días. El consorcio utilizado compuesto por los microorganismos (*Ochrobactrum pseudogrignonense*, B38, *Paenibacillus lautus*, *Bacillus xiamenensis* y B10) fueron utilizados en pulpa de café descomponiéndose en 28 días (Arteaga et al., 2021). De acuerdo con la investigación realizada por Aranguren y Hinojosa (2018) el consorcio de hongos-bacterias (*Rhodopseudomona* sp, *Lactobacillus casei* y *Saccharomyces cerevisiae*) aceleraron la descomposición de los RSD, en un lapso de 45 días. Pan et al. (2012), obtuvieron su producto final a los de 75 días en un reactor inoculado con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas* sp. Ya que el tiempo habitual suele ser de 4 meses (Vásquez 2022). Estas investigaciones coinciden con la presente investigación, por el uso de consorcios pero no con el tiempo, posiblemente se deba al tipo de celulosa que presentan los sustratos u otros parámetros que necesitan tener en cuenta como tamaño de partícula, pH, temperatura como menciona Andlar et al. (2018) que tiene que ver con la composición de las materias primas que contiene lignocelulosa, área superficial, tamaño de

partícula y el tipo de microorganismos celulolíticos que influyen en la eficacia de la hidrólisis enzimática.

Se conoce que los residuos vegetales se encuentran también tejido celulósico el cual se encuentra principalmente en la pared celular, la cual está compuesta químicamente por celulosa, hemicelulosa, lignina, proteína, pectinas y otros. UNCUYO (2019) menciona que el componente principal de la pared celular, que determina su arquitectura, es la celulosa. Este polisacárido es un polímero no ramificado de moléculas de glucosa (1-4  $\beta$ -D-glucano). Estas largas y finas cadenas de glucosa se unen entre sí, mediante enlaces de hidrógeno, constituyendo las microfibrillas de 10 a 25 nm de diámetro. Las microfibrillas se retuercen todas juntas para formar finas hebras que se enrollan un alrededor de otras como los hilos conductores de un cable. Cada “cable” o macrofibrilla mide cerca de 0,5  $\mu$  de diámetro y puede alcanzar 4  $\mu$  de largo. Las moléculas de celulosa consiguen, de este modo, ser tan fuertes como un hilo de acero de igual diámetro. Las microfibrillas le confieren fuerza mecánica a la pared y son resistentes a la degradación química y biológica. Constituyen el 20-30% del peso seco de una pared primaria normal y el 40-60% del de la pared secundaria de las células de sostén. Para su degradación necesitan de la participación de varias enzimas. Hernández et al. (1999) indican que, debido a esta complejidad estructural del sustrato, un solo tipo de enzimas no puede hidrolizar eficazmente, por lo que se requiere de diferentes celulasas trabajando cooperativamente o sinérgicamente. Challacombe et al. (2019) Menciona que los celulosomas son complejos multienzimáticos cuyos componentes actúan de manera sinérgica para hidrolizar la celulosa, funcionan como estructuras exocelulares especializadas, que catalizan la hidrólisis de celulosa y hemicelulosa, en general tres tipos de enzimas forman los sistemas celulolíticos: (1) endocelulasas (endoglucanasa o 1,4-b-D-glucan 4-glucanohidrolasa; E.C. 3.2.1.4), (2) exocelulasas (celulosa 1,4-b-D-celobiosidasa

o 1,4-b-D-glucan celobiohidrolasa; E.C. 3.2.1.91) y (3) b-D-glucosidasas (b-D-glucosido glucohidrolasa; E.C. 3.2.1.21.)

Otro componente importante de la pared de muchos tipos de célula es la lignina que, luego de la celulosa, es el polímero más abundante entre los vegetales. Es un compuesto fenólico (polimerización de monolignoles p-cumaril-alcohol, coniferil-alcohol y sinapil-alcohol). Da rigidez y resistencia a la compresión a las paredes celulares y resistencia a la degradación química y es un material hidrófobo que sustituye el agua e impermeabiliza la pared. Arteaga et al. (2021) manifiesta que la lignina es una de las principales estructuras de la pared celular de las plantas y varía en su composición entre los grupos taxonómicos. Posiblemente este es el caso de la diferencia de tiempos con los trabajos de los investigadores que usaron consorcios microbianos ya que ellos trabajaron con residuos vegetales diferentes como los residuos de café y otros. En el trabajo de González et al. (2016) encontraron que el contenido de lignina en cáscara de naranja fue de 1% y el de plátano es de 11.58, la corona de piña 10 a 30 % siendo diferentes a otra materia como la madera blanda que tiene 22 a 34%. Siendo una razón para que, en la presente investigación, donde se usó consorcio microbiano celulolítico la descomposición se realice en menor tiempo ya que cada microorganismo posiblemente inocula al ambiente un tipo de enzima diferente; además, la aireación que se le brindó también influyó en la disminución del tiempo como lo menciona. Sánchez et al. (2000) en su trabajo que la diferencia entre los porcentajes de remoción de lignina se explica por las distintas condiciones de aireación. Puentes y Falcao (2018) determinaron que la inoculación mediante un consorcio es más eficaz y sostenible, demostrando mayor potencial de descomposición en relación al uso de aislamientos individuales. Con los resultados obtenidos, se reafirma la importancia de aplicar consorcios de microorganismos que permitan descomponer la materia orgánica en menor tiempo.

**Tabla 5***Prueba de homogeneidad de varianzas*

<b>Estadístico de Levene</b>	<b>GL1</b>	<b>GL2</b>	<b>SIG</b>
,000	3	16	1000

En la Tabla 5, se muestra uno de los requisitos para la aplicación de los diseños experimentales tales como el estadístico de Levene, el cual indica que existe homogeneidad de varianza entre los tratamientos, por lo tanto, se cumple con unos de los requisitos básicos por tener un nivel de significancia de 1, lo que demuestra la igualdad de varianza en los tratamientos.

**Tabla 6***Análisis de varianza del tiempo de descomposición y F*

<b>Descripción</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Tratamientos	25776.95	3	8592.32	1920.07	0.000(**)
Error	71.60	16	4.47		
<b>Total</b>	<b>25848.55</b>	<b>19</b>			

\*: Significativo

\*\*: Altamente significativo

En la Tabla 6, se observa el Análisis de Varianza de los tratamientos, en donde se muestra que la media en cada uno de los tratamientos es diferente como lo indica el nivel de significancia de 0.00; por lo tanto, se rechaza las hipótesis de la igualdad de las medias quedando demostrado que las medias en cada uno de los tratamientos son diferentes. Al evaluar las Fuentes de Variabilidad del ANVA, el efecto de los tratamientos resultó ser altamente significativo ( $p > 0.01$ ).

**Tabla 7**

*Comparaciones Múltiples de Duncan en la evaluación de los días de biodegradación del producto final*

Tratamientos	Repeticiones	Subconjunto para Alfa=0.05			
		Medias			
Hongos	5	5.40A			
Bacterias	5		7.40AB		
Hongos y Bacterias	5			8.60B	
Testigo	5				90.00C
<b>Sig.</b>		<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ )

En la Tabla 6, se observa resultados de la prueba de Duncan, en la que nos demuestra a través de los promedios que, el tratamiento con hongos tiene el menor tiempo de biodegradación de los residuos sólidos domiciliarios.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Utilizando el consorcio de hongos (*Fusarium* sp., H92, H14a, *Penicillium* sp., *Cylindrocarpon* sp.), se logró una degradación de los RSD en 5 días.

Con el consorcio bacteriano *Ochrobactrum pseudogrignonense*, B38, *Paenibacillus lautus*, *Bacillus xiamenensis*, B10, se obtuvo una mayor concentración de nutrientes: 2.44% N (Nitrógeno), 1.33% de P (Fósforo) y 2.45% de K (Potasio).

## **5.2 Recomendaciones**

Se sugiere que durante un proceso óptimo de biodegradación se debe tener en cuenta los siguientes factores: temperatura, pH, la disponibilidad de nutrientes, oxígeno y caracterizar los residuos sólidos orgánicos utilizados. principalmente para ver el porcentaje de lignina, sus propiedades físico químicas de cada uno de estos residuos, con el fin de comprender la estructura de degradabilidad y que facilite el proceso de biodegradación

Realizar mayores estudios al producto final como micronutrientes, carbono, materia orgánica, relación carbono nitrógeno, densidad, conductividad eléctrica, granulometría y porosidad.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allinson, F., Cabrera, L., Aurelio, E., Alva, M., Marita, K., Medina, E., Cesar, U., Trujillo, V., Betzabet, C., Vásquez, B., Alberto, C., & Torres, L. (2022). Los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de La Libertad y la producción de biomasa de *Candida utilis* var. *major*. *Arnaldoa*, 29(1), 163–176. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.291.29110>
- Alvarez, V. M., Largo, A., Iglesias, A. S., & Castillo, J. (2019). Quality of compost obtained from hen manure, with application of beneficial microorganisms. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 353–361. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05>
- Aranguren, S. G., & Hinojosa, B. J. C. (2018). Dinámica En La Producción De Compost Con Adición De Microorganismos Benéficos En Un Biorreactor. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 5(1), 6–17. <https://doi.org/10.23850/raa.v5i1.4747>
- Arteaga, C. M. N., Dilas, J. J. O., Díaz, N. V., Cernaqué, M. O. C., Tafur, S. S. M., García, O. J. E., & Mugruza, V. C. A. (2021). Isolation and identification of a native microbial consortium for the coffee pulp degradation above 2000 masl. *Coffee Science*, 16. <https://doi.org/10.25186/.v16i.1810>
- Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Bundela, P. S., & Khan, J. (2015). Co-composting of organic fraction of municipal solid waste mixed with different bulking waste: Characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic. *Bioresource Technology*, 182, 200–207. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2015.01.104>

- 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, 1683–0768. <http://www.scielo.org.bo/scielo.php>
- Baena, P. G. (2017). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN (3a. ed.)*. <http://www.editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074384093.pdf>
- Baltierra, T. E., Silva, E. E., Márquez, B. L., & Sánchez, Y. J. M. (2016). Inducción de la degradación de lignina de paja de trigo en aromáticos por *Aspergillus* spp. y *Penicillium chrysogenum*. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7(1), 10–19. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2016.070100010>
- Brenner, K., You, L., & Arnold, F. H. (2008). Engineering microbial consortia: a new frontier in synthetic biology. *Trends in Biotechnology*, 26(9), 483–489. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.05.004>
- Callisaya, Q. Y., & Fernández, C. M. C. (2017). Evaluación del efecto microorganismos eficientes (EM), en el cultivo de pepinillo (*Cucumis sativus* L.), municipio de Achocalla. *Revista de La Carrera de Ingeniería Agronómica -UMSA*, 3(3), 652–666. <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/182>
- Cariello, M. E., Castañeda, L., Riobo, I., & González, J. (2007). Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. *R.C. Suelo Nutr. Veg*, 7(3), 26–37. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912007000300003>

- Challacombe, J. F., Hesse, C. N., Bramer, L. M., McCue, L. A., Lipton, M., Purvine, S., Nicora, C., Gallegos-Graves, L. V., Porras-Alfaro, A., & Kuske, C. R. (2019). Genomes and secretomes of Ascomycota fungi reveal diverse functions in plant biomass decomposition and pathogenesis. *BMC Genomics*, 20(1), 1–27. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6358-x>
- Cruz, N., Castellanos, D., & Argüello, H. (2017). Aislamiento y caracterización de microorganismos xilanoliticos ,celuloliticos, proteoliticos y amiloliticos, provenientes de dos tipos de compost. *Ambiente y Sociedad AGRAS*, 2–15. <https://www.researchgate.net/publication/321049035%0AAISALMIENTO>
- D'Annibale, A., Rosetto, F., Leonardi, V., Federici, F., & Petruccioli, M. (2006). Role of autochthonous filamentous fungi in bioremediation of a soil historically contaminated with aromatic hydrocarbons. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(1), 28–36. <https://doi.org/10.1128/AEM.72.1.28-36.2006>
- Decreto Ministerial N° 637. (2006). Reglamento de manejo selectivo de Residuos Sólidos con fines de reaprovechamiento por personas naturales. Diario El Peruano. Lima, 14 de julio del 2006
- Decreto Supremo N° 014-MINAM. (2017). Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Diario El Peruano. Lima, 21 de diciembre del 2017 (p. 32)
- Dellaglio, F., Felis, G. E., Castioni, A., Torriani, S., & Germond, J. E. (2005). *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *indicus* subsp. nov., isolated from Indian dairy products. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(1), 401–404. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63067-0>

- FUNDASES. (2015). *Principales microorganismos EM. Tecnología EM*.  
[www.fundases.net/#!biotecnologas/c24wy](http://www.fundases.net/#!biotecnologas/c24wy).
- GEDEAM (Gerencia de Gestion y Desarrollo Ambiental). (2017). *Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Jaén*. (p. 140).
- Gil, R. L. A., & León, T. C. A. (2021). Design Andconstruction of an Agitated and Aerated Tank-Type Batch Bioreactor for the Production of Unicellular Protein. *Rebiol*, 41(1), 16–22. <https://doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.01.02>
- González, V. K. D., Daza, R. D., Caballero, A. P. A., & Martínez, G. C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul*, 43, 499–517.  
<https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>
- Gupta, S., Wali, A., Gupta, M., & Annepu, S. K. (2017). Fungi: An Effective Tool for Bioremediation. In D. P. Singh, H. B. Singh, & R. Prabha (Eds.), *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives: Volume 2: Microbial Interactions and Agro-Ecological Impacts* (pp. 593–606). Springer Singapore.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4_24)
- Hamad, W. Y. (2017). Cellulose Nanocrystals: Properties, Production and Applications. In *John Wiley y Sons*. obtenido de [www.wiley.com/enus/Cellulose+Nanocrystals%3A+Properties%2C+Production+and+Applications-p-9781118675700](http://www.wiley.com/enus/Cellulose+Nanocrystals%3A+Properties%2C+Production+and+Applications-p-9781118675700)

- Heidarzadeh, M. H., Amani, H., & Javadian, B. (2019). Improving municipal solid waste compost process by cycle time reduction through inoculation of *Aspergillus niger*. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17(1), 295–303. <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00348-z>
- Hernández, S. A., García, H. E., & Rodríguez, R. A. (1999). Celulosomas: sistemas multienzimáticos. *Revista de La Sociedad Química de México*, 43, 137–142. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47543418>
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2017). *Metodología de la Investigación*. (6ª. ed.). México: Mc Graw Hill Education. Hoyos. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Jaramillo, H. G., & Zapata, M. L. M. (2008). *Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Organicos en Colombia* Tesis para optar el título de grado de Magister en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia, Colombia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- Jusoh, M. L. C., Abd, M. L., & Abdul, L. P. (2013). Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 10(17), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1735-2746-10-17>
- Kerdraon, L., Barret, M., Laval, V., & Suffert, F. (2019). Differential dynamics of microbial community networks help identify microorganisms interacting with residue-borne pathogens: The case of *Zymoseptoria tritici* in wheat. *Microbiome*, 7(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0736-0>

- Khorasani, M. (2013). *Cylindrocarpon Species in Pacific Northwest Douglas-fir Nurseries: Diversity and Effects of Temperature and Fungicides on Mycelial Growth* Tesis MSc. Seattle, United States. University of Washington. <http://hdl.handle.net/1773/23693>
- López, T., Dominguez, L., & Garcia, J. (2017). *Arreglo estructural de un consorcio microbiano de interés alimentario en la producción del vinagre*. Trabajo Presentado En El Octavo Congreso Nacional de Microscopía, Octubre, México
- López, T. G. (2012). *Ventajas y Desventajas de los Plásticos Degradables para su Aplicación en la Agricultura Sustentable o Ecológica* Estudio para obtener el Grado de magister En Química Aplicada: Agroplasticultura. Centro de Investigación en Química Aplicada, México. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/371/1/Gorgonio Lopez Tolentino.pdf>
- Lynd, L. R., Weimer, P. J., Zyl, W. H. Van, & Isak, S. (2002). Microbial Cellulose Utilization : Fundamentals and Biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 66(3), 506–577. <https://doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506>
- Machaca, M. J. (2017). *Influencia del uso de microorganismos eficientes en el tiempo de elaboración del compost a partir de residuos orgánicos en Tacna, 2016* (p. 39). Proyecto de investigación. Universidad Nacional Jorge Basadre Grobniann-Tacna, Perú. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1519>
- Malherbe, S., & Cloete, T. E. (2002). Lignocellulose biodegradation: Fundamentals and applications. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 1(2), 105–114. <https://doi.org/10.1023/A:1020858910646>

- Martínez, A. C., Balcázar, L. E., Dantán, G. E., & Folch, M. J. L. (2008). Celulasas fúngicas: Aspectos biológicos y aplicaciones en la industria energética. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 50(3–4), 119–131. [https://www.medigraphic.com/pdfs/lamico/mi-2008/mi08-3\\_4i.pdf](https://www.medigraphic.com/pdfs/lamico/mi-2008/mi08-3_4i.pdf)
- Mendoza, M. N. (2021). *Eficiencia de la biotecnología de microorganismos de montaña y eficaces en el tratamiento de residuos orgánicos municipales para la producción de compost y biol en la provincia de Ambo - Huánuco – 2020* Tesis de grado. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2378>
- Mendoza, S. S., Zepeda, H. A., Campeche, C. E. G., & Payán, Z. F. A. (2017). Aplicación de inóculos líquidos de microorganismos nativos en el suelo: efecto en el crecimiento de plántulas de maíz. *Revista Terra Latinoamericana*, 35(2), 161. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i2.167>
- MINAM (Ministerio del Ambiente, P. (2017). ANEXO 4 Contaminación ambiental causada por los residuos sólidos
- Mishra, R. K., Sabu, A., & Tiwari, S. K. (2018). Materials chemistry and the futurist eco-friendly applications of nanocellulose: Status and prospect. *Journal of Saudi Chemical Society*, 22(8), 949–978. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2018.02.005>
- Nacimba, N. G. A., Santafé, S. D. C., & Andueza, L. F. D. (2018). Tratamiento de desechos orgánicos Empleando Microorganismos Celulolíticos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 5(1), 30–40. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.819>

- Najar, G. T. (2014). *Evaluación de la eficiencia en la producción de compost convencional con la aplicación de la tecnología EM (microorganismos eficaces) a partir de los residuos orgánicos municipales, Carhuaz, 2012* Tesis para optar el grado de maestro en Ciencias Ingeniería Mención en Gestión Ambiental. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/870>
- Nakasima López, M., Taboada González, P., Aguilar Virgen, Q., & Velázquez Limón, N. (2017). Adaptación de Inóculos Durante el Arranque de la Digestión Anaerobia con Residuos Sólidos Orgánicos. *Información Tecnológica*, 28(1), 199–208. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100020>
- NCH2880. (2003). *Norma Chilena de Calidad del Compost*. <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>
- Niu, J., & Li, X. (2022). Effects of Microbial Inoculation with Different Indigenous Bacillus Species on Physicochemical Characteristics and Bacterial Succession during Short-Term Composting. *Fermentation*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/fermentation8040152>
- NTC-5167. (2004). *Norma Técnica Colombiana: Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*. <http://www.sian.inia.gob.ve>
- Pellegrini, A., Lanfranco, J., Vacisek, A., & Gelati, P. (2014). Capacitación para el reciclado de residuos orgánicos - Fuente de sustratos, abonos y acondicionadores de suelos degradados. In *Journal de la société des américanistes: Vol. 27*, p.77. [www.usodelsuelo.unlp.edu.ar](http://www.usodelsuelo.unlp.edu.ar)
- Petit, E., Barriault, E., Baumgartner, K., Wilcox, W. F., & Rolshausen, P. E. (2011). *Cylindrocarpon species associated with black-foot of grapevine in northeastern United*

- States and southeastern Canada. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62(2), 177–183. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.10112>
- Plastivida. (2019). *La Relación Biodegradación y los residuos plásticos*. Boletín Técnico Informativo No. 8. Centro de Información. Argentina. <http://ecoplas.org.ar/pdf/8.pdf>.
- Puentes, T. P., & Falcao, S. J. (2018). Construction of Effective Minimal Active Microbial Consortia for Lignocellulose Degradation. *Microbial Ecology*, 76(2), 419–429. <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1141-5>
- Rabinovich, M. L., Melnick, M. S., & Bolobova, A. V. (2002). The Structure and Mechanism of Action of Cellulolytic Enzymes. *Biochemistry (Moscow)*, 67(8), 850–871. <https://doi.org/10.1023/A:1019958419032>
- Ramírez, S. J. A., Parra, J. A., & Alvarez, A. A. (2017). Análisis de técnicas de recuento de Microorganismos. *Mente Joven*, 6. [https://doi.org/10.18041/2323-0312/mente\\_joven.0.2017.3665](https://doi.org/10.18041/2323-0312/mente_joven.0.2017.3665)
- Rastogi, M., Nandal, M., & Nain, L. (2019). Seasonal variation induced stability of municipal solid waste compost: an enzyme kinetics study. *SN Applied Sciences*, 1(8), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0889-2>
- Reyes, G. E. G. (2019). *Degradación enzimática de polímeros adhesivos presentes en el agua de proceso de la industria del cartón reciclado* Tesis para obtener el grado académico de Maestro en ciencias. Universidad Autónoma de Querétaro, México. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1881>
- Rodríguez, D., Ruiz, A., Martínez, M., & Matiz, A. (2007). Uso de un Inoculante Termofílico en la Transformación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). *Universitas*

*Scientiarum*, 12(2), 57–67. <https://doi.org/redalyc.org/articulo.oa?id=49910969004>.

Ryan, M. P., & Pembroke, T. (2020). The Genus *Ochrobactrum* as Major Opportunistic Pathogens. *Microorganisms*, 8(11), 1797.

<https://doi.org/10.3390/microorganismos8111797>

Sanchez, F. E. P., Núñez, R. D., Cruz, L. R. O., Torres, H. M. A., & Herrera, M. E. V. (2017). Simulación y Conteo de Unidades Formadoras de Colonias. *ReCIBE.*, 6(1).

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/5122/512253717006/html/index.html>

Sapuppo, R. (2018). *Biorremediación De Suelos Contaminados Con Hidrocarburos, Mediante La Bioestimulación Con Lodos Residuales* Tesis para optar el grado de

Maestra en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas.

Universidad de Guadalajara, México. <http://repositorio.cucba.udg.mx:8080>

Serrat, D. M., & Méndez, H. A. A. (2015). Construcción y validación experimental de un biorreactor artesanal tipo tanque agitado para fermentaciones sumergidas a escala de laboratorio.

*Tecnología Química*, 35(3), 317–332.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852015000300010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000300010)

Tao, K., Liu, X., Chen, X., Hu, X., Cao, L., & Yuan, X. (2017). Biodegradation of crude oil by a defined co-culture of indigenous bacterial consortium and exogenous *Bacillus subtilis*.

*Bioresource Technology*, 224, 327–332.

<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2016.10.073>

Tejera, H. B., Rojas, B. M., & Heydrich, P. M. (2015). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos.

*Revista CENIC. Ciencias Biológicas* ISSN, 1–9.

[www.redalyc.org/pdf/1812/181222321004.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/1812/181222321004.pdf)

- Tirado, T. D., Romo, G. C., Marmolejo, S. Y., Palacios, R. A., Acevedo, S. O., & Hernández, F. M. de la L. (2015). Participación de Consorcios Microbianos en la Biodegradación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. *Ecología y Medio Ambiente La Labor Investigadora e Innovadora En México*, 149–172. <http://www.reibci.org/publicados/2015/mayo/1000101.pdf>
- UNCUYO. (2019). *BIOLOGÍA VEGETAL PARED CELULAR*. Apunte realizado por la cátedra de Botánica, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/bioveg2019apunte-pared-celular.pdf>
- Vargas, C. Y. (2017). *Calidad De Compost Producidos a Partir De Residuos Sólidos Orgánicos En El Centro De Protección Ambiental “Santa Cruz”, Ciudad De Concepción* Tesis para obtener el grado académico de doctor en ciencias Ambientales y desarrollo sustentable. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4145>
- Vásquez, C. E. R. (2022). *Conorcios Microbianos para Potenciar el Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos a Bajas Temperaturas* Tesis para obtener el grado académico de doctora en ciencias para el desarrollo sustentable. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2988>
- Wahdan, S. F. M., Hossen, S., Tanunchai, B., Sansupa, C., Schädler, M., Noll, M., Dawoud, T. M., Wu, Y. T., Buscot, F., & Purahong, W. (2022). Life in the Wheat Litter: Effects of Future Climate on Microbiome and Function During the Early Phase of Decomposition. *Microbial Ecology*, 84(1), 90–105. <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01840-6>

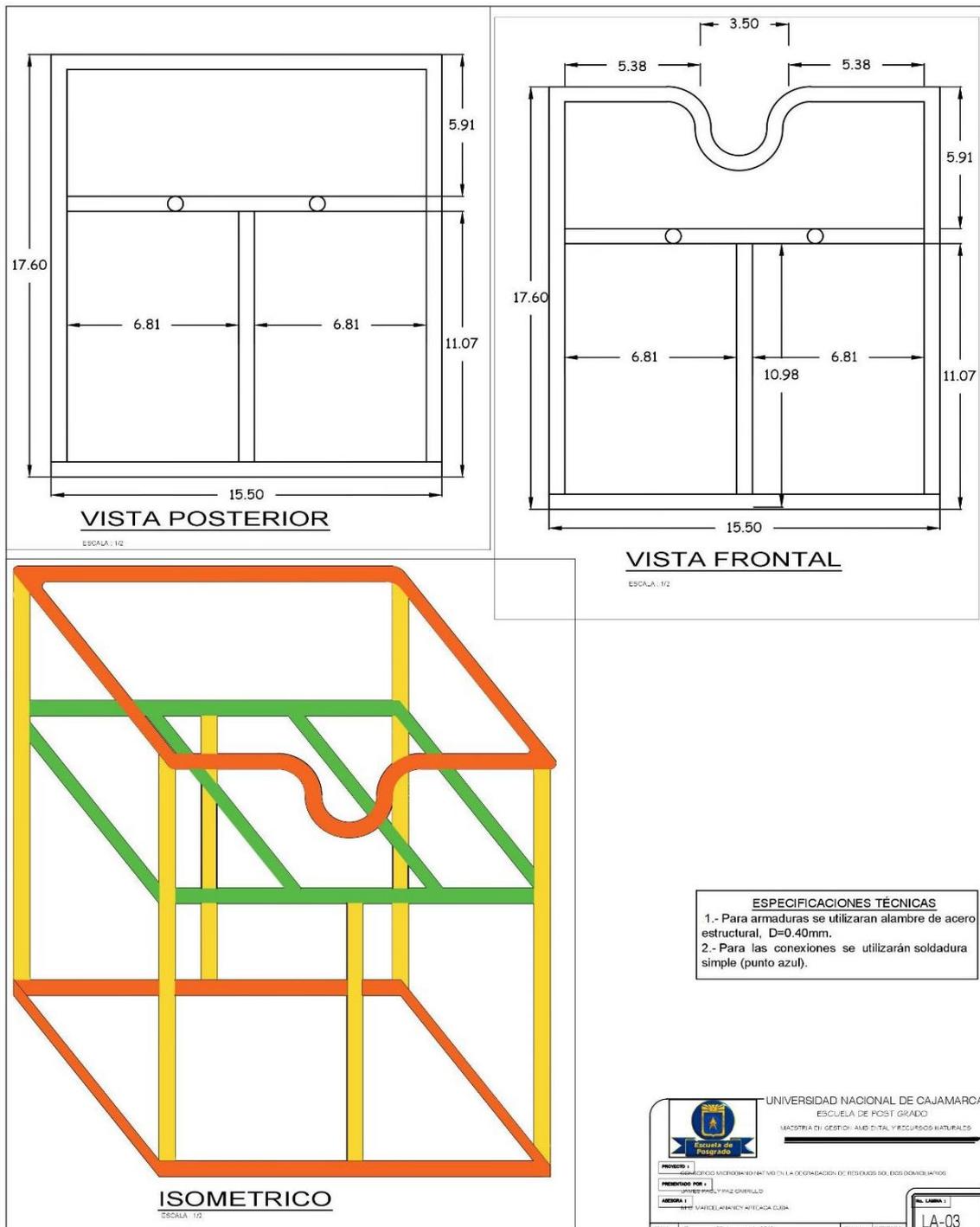
- Wang, X., He, X., & Liang, J. (2022). Succession of Microbial Community during the Co-Composting of Food Waste Digestate and Garden Waste. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph19169945>
- Wang, Y., & Ai, P. (2016). Integrating particle physical geometry into composting degradation kinetics. *Bioresource Technology*, 200, 514–520. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2015.10.073>
- Wongbunmak, A., Khiawjan, S., Suphantharika, M., & Pongtharangkul, T. (2020). BTEX biodegradation by *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* W1 and its proposed BTEX biodegradation pathways. *Scientific Reports*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74570-3>
- WU, Y., HE, T., ZHONG, M., ZHANG, Y., LI, E., HUANG, T., & HU, Z. (2009). Isolation of marine benzo[a]pyrene-degrading *Ochrobactrum* sp. BAP5 and proteins characterization. *Journal of Environmental Sciences*, 21(10), 1446–1451. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62438-9](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62438-9)
- Yadav, S., & Dubey, S. K. (2018). Cellulose degradation potential of *Paenibacillus lautus* strain BHU3 and its whole genome sequence. *Bioresource Technology*, 262, 124–131. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2018.04.067>
- Zhang, J., Li, C., Rahaman, M. M., Yao, Y., Ma, P., Zhang, J., Zhao, X., Jiang, T., & Grzegorzek, M. (2022). A comprehensive review of image analysis methods for microorganism counting: from classical image processing to deep learning approaches. *Artificial Intelligence Review*, 55(4), 2875–2944. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10082-4>

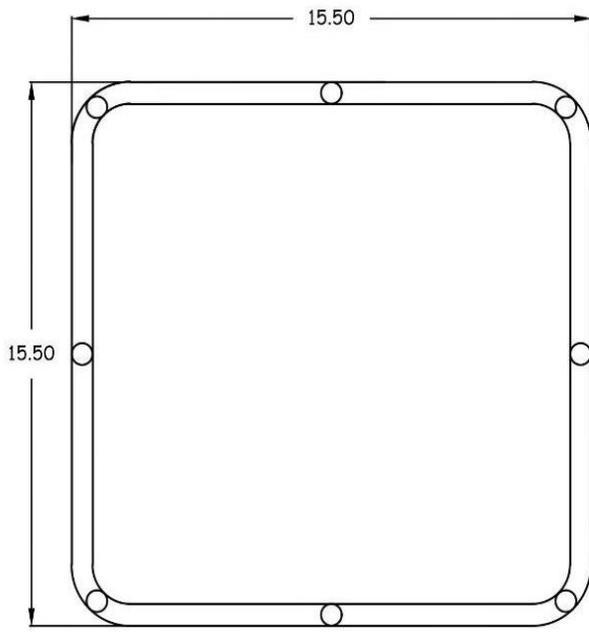
# CAPÍTULO VII

## ANEXO

Anexo 1. Plano de dimensiones geométricas del parador que sostenía al biorreactor Escala

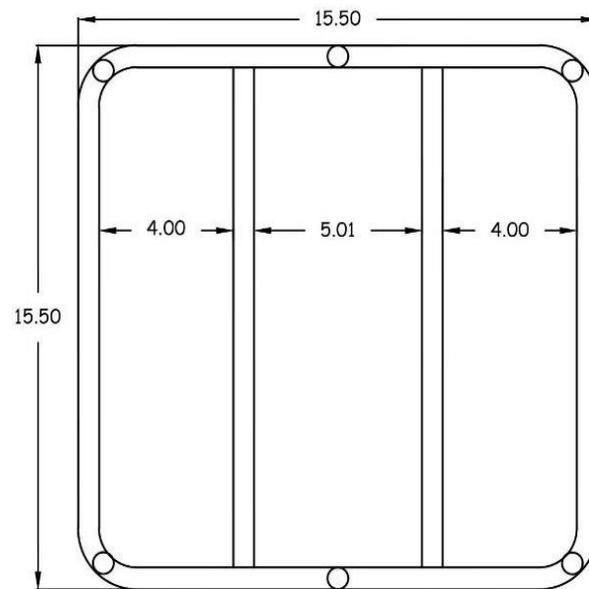
1/2. Unidad de medida (cm)





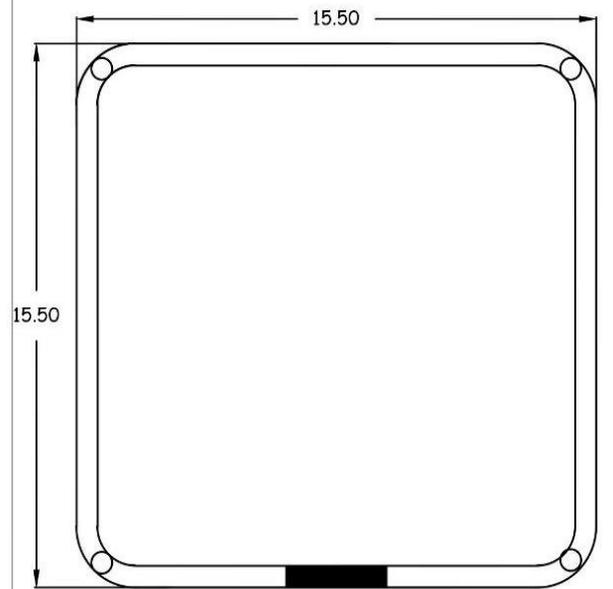
**PLANTA BAJA**

ESCALA: 1/2



**PLANTA CENTRAL**

ESCALA: 1/2



**PLANTA ALTA**

ESCALA: 1/2

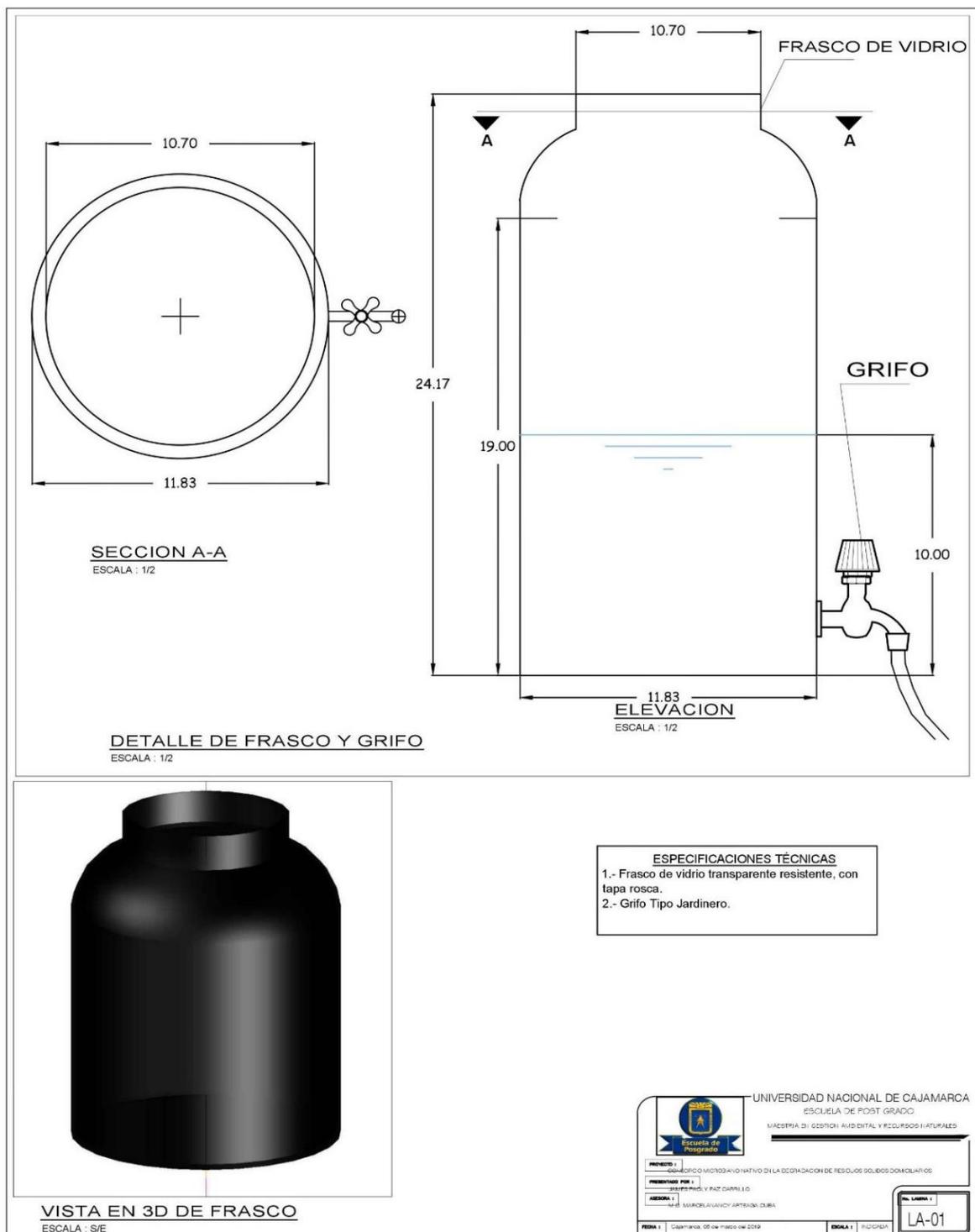
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

- 1.- Para armaduras se utilizarán alambre de acero estructural, D=0.40mm.
- 2.- Para las conexiones se utilizarán soldadura simple (punto azul).

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> ESCUELA DE POST GRADO MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
<p><b>PROYECTO:</b> GOBIERNO MICROBIANO NATIVO EN LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS</p>		
<p><b>PRESENTADO POR:</b> JAVIER PAZ Y PAZ CARRILLO</p>		
<p><b>ASIGNATURA:</b> BSC MARQUEÑINO Y ARTESANÍA CUBA</p>		
<p><b>FECHA:</b> Cajamarca, 06 de mayo del 2016</p>	<p><b>ESCALA:</b></p>	<p><b>INDICADOR:</b> LA-02</p>

**Anexo 2.** Plano de dimensiones geométricas del biorreactor de 3L de capacidad con 1500 mL de volumen de trabajo, usado para la determinación de la capacidad degradativa de los Consorcios Microbianos: Microorganismos de Hongos y Bacterias y Testigo. Escala 1/2.

Unidad de medida (cm)



**Anexo 3.** Vista de acercamiento del proceso de descomposición de los residuos sólidos domiciliarios de origen orgánico en el biorreactor trabajando con el Consorcio de Hongos



**Anexo 4.** Vista del producto final de la descomposición de los residuos sólidos domiciliarios de origen orgánico en el biorreactor trabajando con Consorcio de Hongos y Bacterias



**Anexo 5.** Proceso de inoculación de los microorganismos aplicado a la descomposición de los residuos sólidos domiciliarios. Obsérvese las placas petri de agar con los Hongos y Bacterias.

**Foto 1.** Inoculación de la aplicación de los consorcios microbianos



**Foto 2.** Estado de latencia de los hongos



**Foto 3.** Estado de latencia de las bacterias



**Foto 4.** Crecimiento de sepas de Hongos Bacterias



**Anexo 6.** Producto final de la descomposición del consorcio bacteriano y hongos



**Figura 1.** Consorcio de hongos.



**Figura 2.** Consorcio de bacterias.



**Figura 3.** Consorcio de hongos y bacterias



**Figura 4.** Testigo.

## Anexo 7. Informe de Análisis especial de materia orgánica



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : JAMES PAOLI PAZ CARRILLO  
PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ JAEN/ JAEN  
MUESTRA DE : COMPOST  
REFERENCIA : H.R. 67491  
BOLETA : 2729  
FECHA : 19/03/19

Nº LAB	CLAVES	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
219	HONGOS Y BACTERIAS	1.92	0.10	2.33
220	HONGOS	1.73	1.98	2.23
221	BACTERIAS	2.44	3.22	2.95
222	TESTIGO	1.53	0.37	2.06

  
Sady García Bendezú  
Jefe de Laboratorio

**Anexo 8.** Tiempo que necesitaron los microorganismos para la descomposición.

N°	Tratamiento	Repeticiones	Tiempo de descomposición (días)
1	T1	1	5 días
2	T1	2	6 días
3	T1	3	5 días
4	T1	4	6 días
5	T1	5	5 días
6	T2	1	7 días
7	T2	2	7 días
8	T2	3	8 días
9	T2	4	7 días
10	T2	5	8 días
11	T3	1	8 días
12	T3	2	9 días
13	T3	3	8 días
14	T3	4	9 días
15	T3	5	9 días
16	T4	1	90 días
17	T4	2	90 días
18	T4	3	90 días
19	T4	4	90 días
20	T4	5	90 días

T1: Hongos

T2: Bacterias

T3: Hongos y Bacterias

T4: Testigo

Resultado final de la descomposición de los residuos sólidos domiciliarios por hongos y bacterias; tiempo de descomposición y tratamiento con 5 repeticiones.

## Anexo 9. Conversión P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O

### 1) Hongos y Bacterias

#### a) Calculando el Fósforo

$$64.26 \text{ gr} \times \frac{0.10}{100} = 0.06179 \text{ gr P}_2\text{O}_5$$

$$0.06179 \text{ gr P}_2\text{O}_5 \times \frac{62 \text{ gr P}}{142 \text{ gr P}_2\text{O}_5} = 0.0269 \text{ gr P}$$

$$0.06179 \text{ gr P}_2\text{O}_5 \times \frac{62 \text{ gr P}}{142 \text{ gr P}_2\text{O}_5} = 0.0269 \text{ gr P}$$

$$0.0269 \text{ gr P} \times \frac{100\%}{64.26 \text{ gr}} = \mathbf{0.04\% P}$$

#### b) Calculando el Potasio

$$64.26 \text{ gr} \times \frac{2.23}{100} = 1.497 \text{ gr K}_2\text{O}$$

$$1.497 \text{ gr K}_2\text{O} \times \frac{78 \text{ gr K}}{94 \text{ gr K}_2\text{O}} = 1.24 \text{ gr K} \quad 1.497 \text{ gr K}_2\text{O} \times \frac{78 \text{ gr K}}{94 \text{ gr K}_2\text{O}} = 1.24 \text{ gr K}$$

$$1.24 \text{ gr K} \times \frac{100\%}{64.26 \text{ gr}} = \mathbf{1.93\% K}$$

### 2) Bacterias

#### a) Calculando el Fósforo

$$58.36 \text{ gr} \times \frac{3.22}{100} = 1.879 \text{ gr P}_2\text{O}_5$$

$$1.879 \text{ gr P}_2\text{O}_5 \times \frac{62 \text{ gr P}}{142 \text{ gr P}_2\text{O}_5} = 0.820 \text{ gr P} \quad 1.879 \text{ gr P}_2\text{O}_5 \times \frac{62 \text{ gr P}}{142 \text{ gr P}_2\text{O}_5} = 0.820 \text{ gr P}$$

$$0.820 \text{ gr P} \times \frac{100\%}{58.36 \text{ gr}} = \mathbf{1.32\% P}$$

#### b) Calculando el Potasio

$$58.36 \text{ gr} \times \frac{2.95}{100} = 1.72 \text{ gr K}_2\text{O}$$

$$1.72 \text{ gr K}_2\text{O} \times \frac{78 \text{ gr K}}{94 \text{ gr K}_2\text{O}} = 1.43 \text{ gr K} \quad 1.72 \text{ gr K}_2\text{O} \times \frac{78 \text{ gr K}}{94 \text{ gr K}_2\text{O}} = 1.43 \text{ gr K}$$

$$1.43 \text{ gr K} \times \frac{100\%}{58.36 \text{ gr}} = 2.45\% \text{ K}$$

### 3) Hongos

#### a) Calculando el Fósforo

$$61.79 \text{ gr} \times \frac{1.68}{100} = 1.039 \text{ gr P}_2\text{O}_5$$

$$1.039 \text{ gr P}_2\text{O}_5 \times \frac{62 \text{ gr P}}{142 \text{ gr P}_2\text{O}_5} = 0.453 \text{ gr P} \quad 1.039 \text{ gr P}_2\text{O}_5 \times \frac{62 \text{ gr P}}{142 \text{ gr P}_2\text{O}_5} = 0.453 \text{ gr P}$$

$$0.453 \text{ gr P} \times \frac{100\%}{61.79 \text{ gr}} = 0.73\% \text{ P}$$

#### b) Calculando el Potasio

$$61.79 \text{ gr} \times \frac{2.23}{100} = 1.378 \text{ gr K}_2\text{O}$$

$$1.378 \text{ gr K}_2\text{O} \times \frac{78 \text{ gr K}}{94 \text{ gr K}_2\text{O}} = 1.143 \text{ gr K} \quad 1.378 \text{ gr K}_2\text{O} \times \frac{78 \text{ gr K}}{94 \text{ gr K}_2\text{O}} = 1.143 \text{ gr K}$$

$$1.143 \text{ gr K} \times \frac{100\%}{61.79 \text{ gr}} = 1.85\% \text{ K}$$

### 4) Testigo

#### a) Calculando el Fósforo

$$77.32 \text{ gr} \times \frac{0.37}{100} = 0.286 \text{ gr P}_2\text{O}_5$$

$$0.286 \text{ gr P}_2\text{O}_5 \times \frac{62 \text{ gr P}}{142 \text{ gr P}_2\text{O}_5} = 0.125 \text{ gr P} \quad 0.286 \text{ gr P}_2\text{O}_5 \times \frac{62 \text{ gr P}}{142 \text{ gr P}_2\text{O}_5} = 0.125 \text{ gr P}$$

$$0.125 \text{ gr P} \times \frac{100\%}{77.39 \text{ gr}} = 0.16\% \text{ P}$$

#### b) Calculando el Potasio

$$77.32 \text{ gr} \times \frac{2.06}{100} = 1.592 \text{ gr K}_2\text{O}$$

$$1.592 \text{ gr K}_2\text{O} \times \frac{78 \text{ gr K}}{94 \text{ gr K}_2\text{O}} = 1.321 \text{ gr K} \quad 1.592 \text{ gr K}_2\text{O} \times \frac{78 \text{ gr K}}{94 \text{ gr K}_2\text{O}} = 1.321 \text{ gr K}$$

$$1.321 \text{ gr K} \times \frac{100\%}{77.32 \text{ gr}} = 1.71\% \text{ K}$$