

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Optimización de la Producción de Vermicompost aplicando
calentamiento solar en condiciones altiplánicas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Axel Gabriel Rondon Cairampoma

Roy Eliab Mamani Condori

Rosmery Condori Mamani

Asesor:

MSc. Miguel Angel Salcedo Enriquez

Juliaca, diciembre de 2024

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, MSc Miguel Ángel Salcedo Enrique, docente de la Facultad Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE VERMICOMPOST APLICANDO CALENTAMIENTO SOLAR EN CONDICIONES ALTIPLÁNICAS”** de los autores **Axel Gabriel Rondon Cairampoma, Roy Eliab Mamani Condori y Rosmery Condori Mamani** tiene un índice de similitud de 7% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 12 días del mes de diciembre del año 2024.



MSc. Miguel Angel Salcedo Enriquez

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a... 05 ... día(s) del mes de diciembre del año 2024, siendo las 10:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a):

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

el (la) secretario(a): Msc. Lolyda Abigail

Rondori Turpo

y los demás miembros: Ing. Enrique Mamani Cucha

Ing. Nancy Eusebi Páez

y el (la) asesor(a) Msc. Miguel Ángel Salcedo

Enriquez

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

"Optimización de la Producción de Vermicompost aplicando calentamiento solar en condiciones altiplánicas"

del(los) bachiller(es): a) Axel Gabriel Rondon Cairampoma

b) Romery Rondori Mamani

c) Roy Eliab Mamani Rondori

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Axel Gabriel Rondon Cairampoma

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): Romery Rondori Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (c): Roy Eliab Mamani Rondori

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente/a

[Firma]
Asesor/a

[Firma]
Bachiller (a)

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (b)

[Firma]
Secretaría

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (c)

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme y darme la oportunidad de crecer profesionalmente, así mismo a la Universidad Peruana Unión campus Juliaca por darnos un espacio en su territorio para la ejecución del proyecto. Nuestro sincero agradecimiento a nuestro asesor Msc. Miguel Angel Salcedo Enriquez por guiarnos en nuestra investigación.

A mis padres Maribel Soledad Cairampoma de la Cruz y Wilfredo Martin Rondon Chira quienes me apoyaron día a día con mucho ánimo para lograr de manera satisfactoria este proyecto, como también a mis docentes y dictaminadores por su tiempo y dedicación en la revisión de esta investigación.

Axel Gabriel Rondon Cairampoma

Primeramente a Dios por haber estado siempre a mi lado en cada paso que doy en todos los aspectos de mi vida , a la Universidad Peruana Unión campus Juliaca por brindarnos un área para la ejecución de nuestro preyecto y a nuestroa Asesor asesor Msc. Miguel Angel Salcedo.

A mis padres Rogelio Mamani Flores y Nora Condori Condori, quienes siempre estuvieron brindándome palabras de aliento y mucho apoya en todo el proceso del proyecto, también agradezco a mis 3 hermanos Milton, Husiel y Franz y a mis tíos y primos y finalmente agradezco a mi novia que me apoyo mucho durante todo el proceso.

Roy Eliab Mamani Condori

A mis padres Nicolas y Bioleta por confiar en mí, por su apoyo constante y el amor incondicional que me brindan día a día. A mi querida hija Sheiza por ser mi motivación e inspiración para seguir adelante.

Rosmery Condori Mamani

Índice de Contenido

RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN	9
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Estado del Arte.....	10
2.1.1. Revisión Internacional.....	10
2.1.2. Revisión Nacional.....	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1. Construcción del Sistema de Vermicompost	12
3.2. Acondicionamiento de las Composteras	13
3.3. Características de los Tratamientos	15
3.3. Características de los Tratamientos	15
3.4. Características de los Tratamientos	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	17
4.1. Análisis Estadístico.....	21
4.2. Discusiones	22
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
5.1. Conclusiones	26
REFERENCIAS	28
ANEXOS	34

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Tratamientos y acondicionamiento de residuos en el proceso de vermicompostaje</i>	15
Tabla 2. <i>Análisis físico químico del vermicompost y comparación de parámetros con normas internacionales.....</i>	22

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Sistema final de la producción de vermicompost mediante la aplicación de colectores solares</i>	13
Figura 2. <i>Temperatura promedio diaria del vermicompost con y sin calentamiento solar y temperatura interna y Externa.....</i>	18
Figura 3. <i>Comportamiento de la humedad promedio diaria del vermicompost con y sin calentamiento solar</i>	19
Figura 4. <i>Comportamiento diario del pH del sistema con y sin calentamiento solar ..</i>	20
Figura 5. <i>Ganancias de calor por el sistema de colectores solares planos de polietileno</i>	20
Figura 6. <i>Calor cedido por el sistema de colectores solares a través de los microtubos a las 4 composteras</i>	21

Índice de Anexos

Anexo 1. Sumisión de artículo	34
Anexo 2. Resolución de expedito.....	35
Anexo 3. Instrumentos	36

Optimización de la producción de vermicompost aplicando calentamiento solar en condiciones altiplánicas

RESUMEN

La inadecuada gestión de residuos sólidos en el Perú, particularmente en la región de Puno ha tenido un impacto significativo en la generación de residuos orgánicos, lo que conllevó a la preocupación por la falta de una gestión eficiente de estos desechos. En este contexto, es importante desarrollar estrategias innovadoras para la reducción de los residuos orgánicos. El presente estudio optimizó la producción de vermicompost con calentamiento solar en condiciones altiplánicas, mediante la aplicación de colectores solares planos de HDPE ($\varnothing = \frac{3}{4}$ ”), usando agua como fluido caloportador. En el sistema con calentamiento solar se logró obtener el humus de lombriz en un periodo total de 45 días a diferencia del sistema sin calentamiento en 75 días. Para el sustrato inicial se introdujeron residuos de frutas y verduras mezclados con pre compostaje, como también restos de estiércol vacuno, ovino y café, así mismo se monitorearon los parámetros de temperatura, humedad, temperatura ambiente y pH, el sistema con calentamiento presentó una temperatura máxima promedio diaria de 20.50°C durante el día y un valor mínimo 6.75°C por la noche en las 4 composteras, mostrando una eficiente transferencia de calor que aportaron los colectores, una vez culminado el proceso, el vermicompost con calentamiento solar presentó un mayor contenido de nutrientes como el nitrógeno (1.51%), fósforo (0.96%) y potasio (1.53%), además una cantidad considerable de materia orgánica (29.69%) y un pH alcalino de 8.26. Por lo tanto, es posible optimizar el proceso de vermicompostaje mediante el uso de la energía solar en condiciones altiplánicas.

Palabras clave: *vermicompost, colectores solares, lombriz, humus, temperatura, nutrientes.*

Optimization of vermicompost production by applying solar heating in highland conditions

ABSTRACT

The inadequate management of solid waste in Peru, particularly in the Puno region, has significantly impacted the generation of organic waste, raising concerns about the lack of efficient management for these materials. In this context, it is essential to develop innovative strategies for reducing organic waste. This study evaluated the production of vermicompost with solar heating in high-altitude conditions, employing flat HDPE solar collectors ($\varnothing = \frac{3}{4}$ "') and using water as the heat-transfer fluid. In the solar-heated system, earthworm humus was obtained within a total period of 45 days, in contrast to 75 days in the system without heating. The initial substrate consisted of fruit and vegetable residues mixed with pre-composted material, along with bovine, sheep, and coffee waste. Parameters such as temperature, humidity, ambient temperature, and pH were monitored. The heated system maintained an average daily maximum temperature of 20.50°C during the day and a minimum of 6.75°C at night across the four composting bins, demonstrating efficient heat transfer provided by the collectors. Upon completion of the process, the solar-heated vermicompost exhibited a higher nutrient content, including nitrogen (1.51%), phosphorus (0.96%), and potassium (1.53%), along with a significant amount of organic matter (29.69%) and an alkaline pH of 8.26. Therefore, the vermicomposting process can be optimized by utilizing solar energy in high-altitude conditions.

Keywords: *vermicompost, solar collectors, earthworm, humus, temperature, nutrients.*

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la gestión de residuos sólidos ha representado un desafío ambiental significativo tanto a nivel nacional como global. En particular, los residuos orgánicos, como restos de alimentos, residuos de jardinería y otros materiales biodegradables, constituyen un 50% del total de los residuos municipales (Suni, 2018). En efecto, la ineficiente gestión de residuos genera problemas ambientales, como la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación de las fuentes hídricas (Edmundo & Cruz, 2022). En las regiones altoandinas del Perú, las bajas temperaturas, que oscilan entre 7 y -9°C limitan la actividad bacteriana para el proceso de compostaje. No obstante, los niveles de radiación solar, que fluctúan entre 5 a $7.2\text{ kWh/m}^2/\text{día}$, favorecen el aprovechamiento de energía solar. Estos valores permiten la implementación de tecnologías solares como bombas hidráulicas solares, sistemas de transferencia de calor, colectores solares térmicos, módulos fotovoltaicos, y viviendas bioclimatizadas (Quispe & Sotomayor, 2021).

Los colectores solares captan la radiación solar para elevar la temperatura de un fluido específico, así mismo su eficacia depende de la radiación incidente y la cantidad de energía transferida al fluido en circulación de su interior (Ardila, 2020). El sistema solar de calentamiento de agua es la opción más asequible para aprovechar la energía solar, ya que los gastos de mantenimiento son bajos (Çomakli et al., 2012). La eficiencia de los colectores solares está condicionada por algunos factores, entre los cuales se incluyen la intensidad de la radiación solar, temperatura del entorno, temperatura del agua que ingresa, velocidad del viento y caudal de circulación (Navntoft & Cristóbal, 2019). Por otro lado el vermicompost es una técnica sostenible para mejorar la calidad del suelo y aumentar la producción de cultivos, como también un método eficaz para la reducción

de residuos orgánicos (Mohite et al., 2024). El objetivo de la presente investigación optimizo la producción de vermicompost mediante la aplicación de colectores solares planos de bajo costo en condiciones altiplánicas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del Arte

2.1.1. *Revisión Internacional*

El vermicompost constituye un proceso de descomposición aeróbica que se desarrolla en presencia de oxígeno, así mismo la materia orgánica es sometida a la digestión por parte del sistema gastrointestinal de las lombrices (Ortiz et al., 2023).

La *Eisenia foetida* es la especie de lombriz de tierra más empleada en la práctica, gracias a su alta tasa de reproducción, habilidad para sobrevivir en condiciones de temperaturas que oscilan entre 10°C a 30°C y ambientes que tengan al rededor del 45 a 80% de humedad (Jaramillo, 2020).

Las lombrices se relacionan de manera simbiótica con microorganismos presentes en el suelo, principalmente aquellos encargados de descomponer la materia orgánica. Como resultado de esta interacción, generan un material inorgánico que es abundante en nutrientes y posee una alta concentración de microorganismos (Pierre et al., 2021).

Entre los residuos que pueden ser introducidos en el sistema de lombricultura está el estiércol de ganado bovino, cascaras de frutas y verduras, recortes de césped, pulpa de café, granos, cereales, restos de cosechas y paja (Trujillo & De Armas, 2021).

La lombriz tiene la capacidad de consumir diariamente una cantidad equivalente a su propio peso en alimento, en otras palabras, 1 kg de lombrices puede ingerir hasta 1 kg de residuos por día (Román et al., 2013).

2.1.2. Revisión Nacional

Canchan et al., (2023) en su investigación “El vermicompost, una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Mina Yauricocha” se enfocó en la aplicación de vermicompost como técnica alternativa para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, tales como plomo, cobre y zinc, en la Mina Yauricocha. El estudio resalta la viabilidad del vermicompost como una solución eficiente y sostenible en la remediación de suelos contaminados, contribuyendo así a mitigar el impacto ambiental generado por las actividades mineras en el Perú.

Así mismo Contreras et al., (2020) en su estudio “Eficiencia del compostaje y vermicompostaje en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por pasivos ambientales mineros de Huamantanga – Canta”, evaluaron la eficiencia del compostaje y el vermicompostaje en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd) y plomo (Pb) en Huamantanga. Se implementaron diversos tratamientos utilizando sustrato, estiércol de cuy y lombrices (*Eisenia foetida*), logrando una remoción de hasta 76.99% de plomo y 75.14% de cadmio en el tratamiento más efectivo. La investigación demuestra que el vermicompostaje supera al compostaje en eficiencia para la remoción de metales pesados, presentándose como una tecnología viable y económica para la rehabilitación de suelos en zonas afectadas por pasivos ambientales mineros.

Por otro lado, Valvidia, (2021) en su investigación “Producción de vermicompost mediante el aprovechamiento eficiente del cartón generado como residuos sólidos en la ciudad de Huánuco” se centró en la producción de vermicompost utilizando cartones como residuos sólidos en Huánuco. A través de cuatro tratamientos con distintos tipos de cartón (corrugado, plegadizo, kraft y no reciclable), se determinó que el cartón corrugado y kraft fueron los más eficientes, obteniendo la mayor cantidad y calidad de

vermicompost. Esta investigación ofrece una alternativa innovadora para la gestión de residuos sólidos urbanos, promoviendo la producción de abonos orgánicos de alta calidad y contribuyendo a reducir la contaminación ambiental en las ciudades.

De igual modo Velecela et al., (2019) en la investigación “Vermicompost enriquecido con microorganismos benéficos bajo dos sistemas de producción y sus efectos en el rábano (*Rhaphanus sativus* L.)” evaluó la calidad del vermicompost producido a partir de estiércol vacuno enriquecido con microorganismos benéficos (*Bacillus* sp. y consorcios microbianos) bajo dos sistemas de producción: zanja y techo. Se analizó su impacto en el crecimiento y rendimiento del cultivo de rábano. Los resultados mostraron que el sistema de zanja generó vermicompost con mayor estabilidad y mejores propiedades físico-químicas. La investigación demuestra que el vermicompost enriquecido mejora significativamente el rendimiento agrícola, además de proponer técnicas optimizadas de producción, lo cual es relevante para la agricultura sostenible y la gestión eficiente de residuos orgánicos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la construcción del sistema de vermicompost dentro del territorio de la Universidad Peruana Unión, ubicada en el distrito de Juliaca provincia de San Román del departamento de Puno, con coordenadas UTM de (381593 Este, 8288375 Norte) y una altitud de 3824 metros sobre el nivel del mar.

3.1. Construcción del Sistema de Vermicompost

Se acondicionó un terreno de 6.80 x 5.85m de largo y ancho, seguidamente se realizaron excavaciones para 8 composteras, cada una con una profundidad de 80 cm, resguardándolas de las heladas. Para la estructura del sistema se colocaron 6 puntales a

una altura de 2m, como cubierta en la parte superficial se puso agrofilm con extensiones de 7 x 4m de largo y ancho, los colectores se posicionaron en una plancha de calamina metálica ubicados en un ángulo de 5°, así mismo se dispuso de un tanque de PVC de 50L, aislado con estiércol vacuno, tecnopor y pajonal andino (ichu) evitando el enfriamiento por las bajas temperaturas.

Figura 1

Sistema final de la producción de vermicompost mediante la aplicación de colectores solares



3.2. Acondicionamiento de las Composteras

Para dar inicio al proceso de vermicompostaje, se recolectó los residuos orgánicos de la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, los cuales provienen principalmente del comedor y cafetín, a su vez los residuos se llevaron al área experimental donde fueron triturados manualmente en fragmentos de 4 a 5 cm dispuestos en capas, para la primera capa se colocó una base de pajonal andino (ichu) favoreciendo la aireación, la segunda

capa compuesta por estiércol ovino y vacuno, en secciones de 6 cm y finalmente la tercera capa una mezcla homogénea de pre compost con los residuos triturados (frutas y verduras). Además, se añadió restos de café para mantener un olor y textura agradable del vermicompost.

Entre los residuos que pueden ser introducidos en el sistema de lombricultura está el estiércol de ganado bovino, cascaras de frutas y verduras, recortes de césped, pulpa de café, granos, cereales, restos de cosechas y paja (Trujillo & De Armas, 2021). La lombriz tiene la capacidad de consumir diariamente una cantidad equivalente a su propio peso en alimento, en otras palabras, 1 kg de lombrices puede ingerir hasta 1 kg de residuos por día (Román et al., 2013).

El vermicompost constituye un proceso de descomposición aeróbica que se desarrolla en presencia de oxígeno, así mismo la materia orgánica es sometida a la digestión por parte del sistema gastrointestinal de las lombrices (Ortiz et al., 2023).

La *Eisenia foetida* es la especie de lombriz de tierra más empleada en la práctica, gracias a su alta tasa de reproducción, habilidad para sobrevivir en condiciones de temperaturas que oscilan entre 10°C a 30°C y ambientes que tengan alrededor del 45 a 80% de humedad (Jaramillo, 2020). Las lombrices se relacionan de manera simbiótica con microorganismos presentes en el suelo, principalmente aquellos encargados de descomponer la materia orgánica. Como resultado de esta interacción, generan un material inorgánico que es abundante en nutrientes y posee una alta concentración de microorganismos (Pierre et al., 2021).

El acondicionamiento de las composteras consta de la instalación de microtubos colocados de forma intercalada, a través de ellos el agua caliente circulaba por medio una bomba de acuario con un caudal de 0.010 l/s lo cual favoreció de manera óptima la

transferencia de calor en el proceso de descomposición, así mismo se optó por los microtubos ya que son resistentes a la humedad, soportan altas temperaturas, presentan una alta conductividad térmica y a su vez son de bajo costo, por otra parte el agua recirculaba entre el tanque central y un segundo tanque en la superficie por medio de una bomba de 0.5 hp la cual funcionaba durante el día desde las 7:00 am hasta la 13:00 pm con un intervalo de 45 minutos y la bomba de acuario desde las 14:00 pm hasta las 6:00 am del siguiente día.

3.3. Características de los Tratamientos

Tabla 1

Tratamientos y acondicionamiento de residuos en el proceso de vermicompostaje

Tratamientos	Composteras	RSO (Kg)	Estiércol vacuno y ovino (Kg)	Café (Kg)
T1 – Composteras con el sistema de calentamiento solar	R1	10	4	1
	R2	10	4	1
	R3	10	4	1
	R4	10	4	1
T2 – Composteras sin calentamiento solar	R1	10	4	1
	R2	10	4	1
	R3	10	4	1
	R4	10	4	1

3.3. Características de los Tratamientos

La programación de las bombas se llevó a cabo utilizando el módulo Relay de 2HC, por otro lado, se configuro el horario de la recirculación del agua mediante el

módulo de reloj RTC DS1302, estos sensores se distribuyeron en una placa protoboard donde estaban sincronizados con el ESP 32 DevkitV1, de igual modo los sensores de temperatura, detección de humedad y temperatura ambiental DTH22 se conectaron al segundo ESP 32, a su vez este sistema, basado en la plataforma Arduino, permitió la visualización de los datos en tiempo real y su almacenamiento simultáneo en una base de datos.

3.4. Características de los Tratamientos

Para mantener la humedad del sustrato se procedió con el riego manual diario y se recirculó el lixiviado, un fertilizante líquido de rápida absorción que no afectó el proceso microbiano. Así mismo se realizaba el volteo de la materia orgánica tres veces a la semana, lo que permitió una adecuada oxigenación del sustrato.

Durante las primeras dos semanas, las lombrices ingerían principalmente restos de papaya, plátano, chirimoya y sandia, mostrando una preferencia por los residuos dulces en su dieta. Sin embargo, en la tercera semana el descenso de temperaturas provocó una alta mortandad de lombrices en el sistema de vermicompost sin calor, mientras que el sistema con calentamiento solar registró una mortandad mínima. En la cuarta semana dentro del sistema con calentamiento solar se observó que las lombrices se habían reproducido, evidenciando pequeñas larvas en crecimiento, durante el desarrollo de los últimos 15 días del proceso se obtuvo el humus de lombriz listo para cosechar, la producción fue en un periodo total de 45 días. Por otro lado, el sistema que prescindía del calor tuvo una producción deficiente y tardó 75 días para la obtención del humus.

Posteriormente se procedió a cernir el humus, obteniendo una producción de 36 kg, esto se debe a que los residuos pasan a ser degradados y el volumen disminuye de un

40 a 60% es por eso que la producción de abono siempre será menor a la cantidad inicial de residuos añadidos.

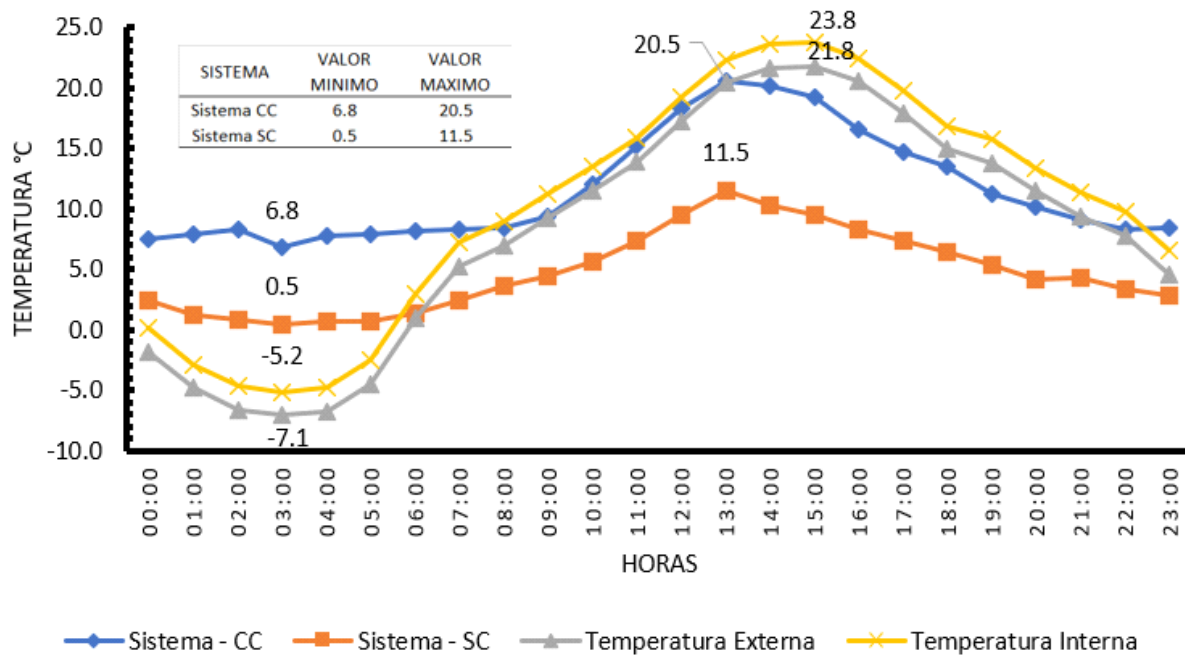
4. RESULTADOS Y DISCUCIONES

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del sistema con y sin calentamiento solar durante los 45 días, así mismo la calidad del abono producido.

La grafica 2 muestra la temperatura promedio diaria del vermicompost en las 4 composteras con y sin calentamiento solar durante un periodo de 45 días, el sistema con calentamiento solar presento su pico máximo de 20.50°C a la 13:00 pm, favoreciendo un proceso más eficiente de descomposición y actividad biológica. A partir de las 17:00 pm se observa un descenso continuo de la temperatura que varía entre 14.62°C a 13.44°C, llegando a 6.75°C a las 03:00am. Mientras que el sistema sin calentamiento solar presentó temperaturas considerablemente más bajas. A la 13:00 pm se observó un valor máximo de 11.50°C y la temperatura mínima de 0.45°C a 0.65°C a las 03:00am, destacando una clara limitación para mantener condiciones térmicas adecuadas en el proceso de vermicompostaje.

Figura 2

Temperatura promedio diaria del vermicompost con y sin calentamiento solar y temperatura interna y Externa



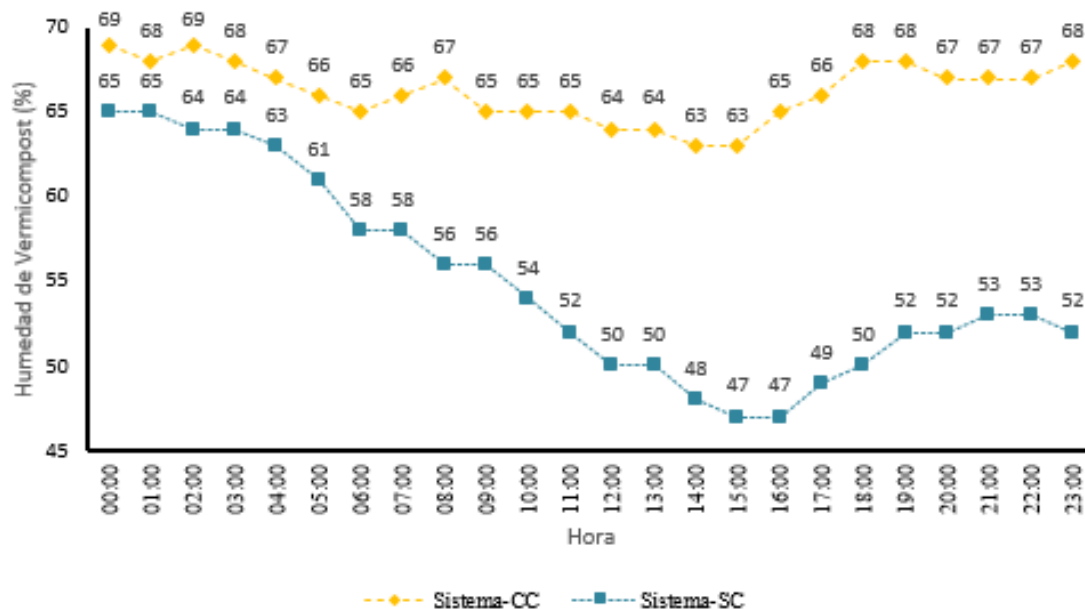
En la figura 3 se observa el comportamiento de la humedad promedio diaria del vermicompost en las 4 composteras con y sin calentamiento solar durante los 45 días. Al inicio del proceso la humedad en ambos sistemas presento un 69 y 65% de manera particular en la madrugada, en el sistema con calentamiento solar se tuvo un valor máximo del 69% a las 02:00 am y progresivamente fue disminuyendo con un 63% a las 14:00 pm, a diferencia del sistema sin calentamiento solar que alcanzo un 65% de humedad a la 01:00 am y un mínimo de 47% a las 15:00 pm, la disminución de la humedad en ambos sistemas se debe a la evaporación generada durante la descomposición y actividad microbiana del vermicompost.

Así mismo se muestra el promedio diario de la temperatura ambiente dentro y fuera del sistema en la época de heladas, durante la última semana de junio, todo el mes de julio y la primera semana de agosto. En el interior, se registró un valor máximo

de 23.8°C a las 15:00 pm y un mínimo de -5.2°C a las 3:00 am. Al exterior, los valores fueron de 21.8°C a las 15:00 pm y -7.1°C a las 03:00 am, respectivamente.

Figura 3

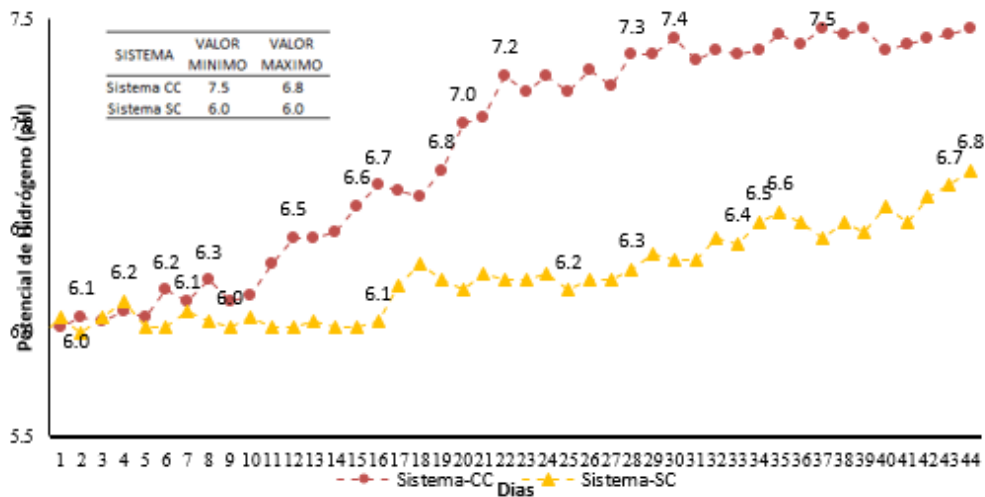
Comportamiento de la humedad promedio diaria del vermicompost con y sin calentamiento solar



En la figura 4 el pH del sistema con calor se mantuvo alrededor de 6.0, lo que indica un ambiente parcialmente ácido, evidenciando un comportamiento natural en las primeras etapas de descomposición de la materia orgánica. A partir del día 12, se observa un aumento del pH, alcanzando un valor cercano a 6.8 para el día 20. Entre los días 20 y 24, el pH supera el valor de 7.0, entrando en una fase alcalina. Posteriormente, el pH se estabiliza entre 7.4 y 7.5 a partir del día 30 hasta el final del proceso. A diferencia del sistema sin calentamiento solar, el pH se mantuvo constante durante todo el periodo, fluctuando entre 6.0 y 6.8, lo que indica un ambiente ligeramente ácido a lo largo del proceso.

Figura 4

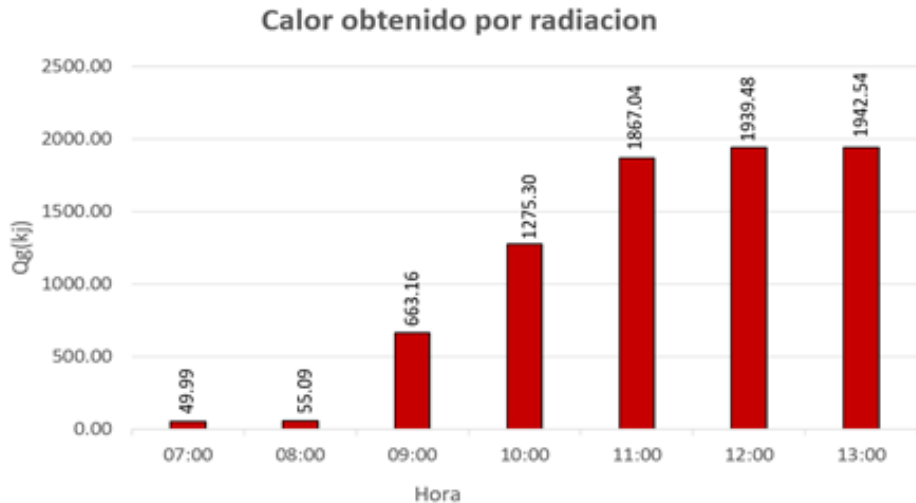
Comportamiento diario del pH del sistema con y sin calentamiento solar



En la figura 5 se observa el calor ganado por el funcionamiento de la bomba de 0.5 hp. A partir de las 09:00 am el sistema experimenta un incremento progresivo de 663.16 KJ y el valor máximo de calor ganado se registra a la 13:00 pm con 1942.54 KJ. Posteriormente el calor ganado del líquido caloportador se distribuyó a los microtubos los cuales realizaron la transferencia de calor a las 4 composteras.

Figura 5

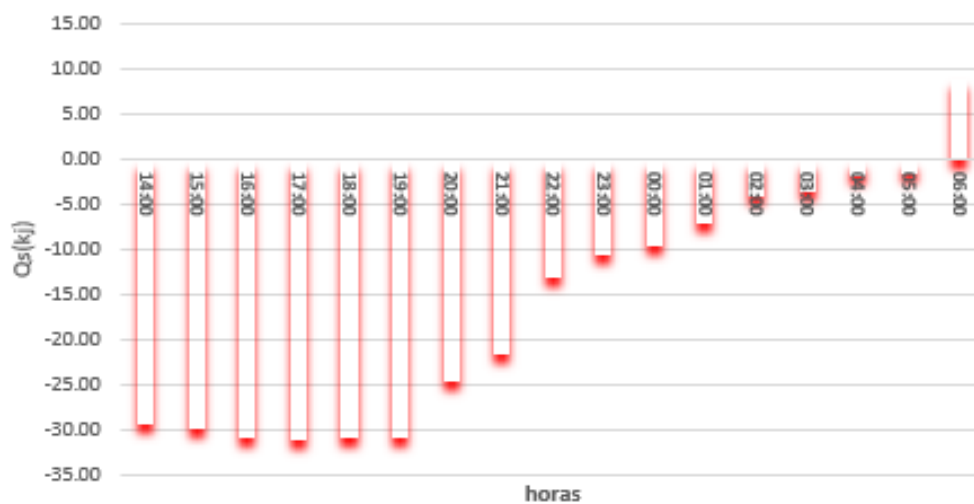
Ganancias de calor por el sistema de colectores solares planos de polietileno



En la figura 6 se muestra la transferencia de calor con el funcionamiento de la bomba de acuario por medio de los microtubos a las 4 composteras, la transferencia de calor empezó desde las 14:00 pm con 29.30 kJ, teniendo su pico máximo de 30.98 KJ a las 17:00 pm.

Figura 6

Calor cedido por el sistema de colectores solares a través de los microtubos a las 4 composteras



4.1. Análisis Estadístico

Los datos del análisis fisicoquímico del vermicompost se sometieron a la prueba T student. El análisis de varianza se realizó con un nivel de significancia de $p < 0.05$ para determinar las diferencias significativas en el contenido de nutrientes y minerales usando el programa Minitab v18, para la normalidad de datos se aplicó el shapiro wilk, así mismo se utilizó softwares estadísticos de Microsoft Excel versión 2019.

Tabla 2

Análisis físico químico del vermicompost y comparación de parámetros con normas internacionales

Parámetro	Vermicompost (sistema con calor)	Vermicompost convencional	NMX- FF-109- SCFI- 2007 (México)	NCh2880 (Chile)	Vermicompost con sistema de calor cumple (SI – NO)
Materia orgánica (%)	29.62	2.40	≥ 20	≥ 20	SI
pH	8.26	7.84	5.5 - 8.5	5.5 - 8.5	SI
Relación C/N	15:1	25 – 30	≤ 20	≤ 25	SI
Nitrógeno total (%)	1.51	0.21	≥ 1	≥ 0.5	SI
Fósforo (P ₂ O ₅ , %)	0.96	0.25	≥ 0.5	≥ 0.3	SI
Potasio (K ₂ O, %)	1.42	0.61	≥ 0.3	≥ 0.5	SI
Humedad (%)	42.91	11.80	≤ 50	≤ 50	SI
Conductividad eléctrica	7.72	3.23	≤ 10 dS/m	≤ 8 dS/m	SI
Calcio (CaO)	3.53	1.10	-	-	-
Magnesio (MgO)	1.00	0.91	-	-	-
Sodio (Na)	0.32	0.10	-	-	-

4.2. Discusiones

Investigaciones recientes como las de Thirunavukkarasu et al., (2023) destacan que un rango de 12 a 21°C permite a las lombrices y microorganismos actuar en condiciones ideales, promoviendo la formación de nutrientes para las plantas. Además Rehman et al., (2023) han demostrado que el vermicompost enriquecido, sometido a temperaturas moderadas (15-20°C), mejora la retención de nutrientes y reduce el tiempo necesario para obtener compost de alta calidad. Así mismo Patra et al., (2022) destacan que temperaturas menores a 1°C relentizan el proceso de descomposición lo que impide la formación de nutrientes debido a la reducción de la actividad microbiana.

En su investigación Katiyar et al., (2023) establecen que un rango aproximado de 65 al 70% de humedad asegura una adecuada oxigenación, lo cual mejora la porosidad y la retención de nutrientes en el vermicompost final. Por otro lado, Road & Lane, (2022) afirman que un nivel de humedad entre 55 y 60% evita la deshidratación de las lombrices.

Por otra parte, Patra & Parihar, (2023) sugieren que un pH de 6.8 a 7.5 maximiza la actividad de lombrices y microorganismos, mejorando la degradación de residuos. De igual forma Toor et al., (2024) concluyen que el pH óptimo de 6.5 a 7.5 permite una descomposición eficiente y la proliferación de bacterias beneficiosas.

Así mismos estudios como el de Karthikeyan et al., (2023) confirman que la maximización del calor ganado se debe a horarios de mayor incidencia solar lo cual optimiza el rendimiento térmico. Además, Baiju & Sreepadmam, (2024) describen cómo la selección de materiales para el líquido caloportador, junto con la capacidad de aislamiento del sistema, son factores para mitigar pérdidas y conservar el calor ganado. De igual modo Al-Manea et al., (2022) indican que los microtubos ofrecen una alta capacidad de transferencia térmica debido a su relación superficie-volumen.

Por otro lado, la concentración de calor como la absorción se debe a un ángulo de inclinación de 5° en los colectores, estudios recientes, como el de Dutkowski et al., (2023), afirman que la influencia de la orientación de los colectores en su eficiencia térmica depende de la intensidad de la radiación solar y la distribución de fuerza gravitatoria sobre el fluido de trabajo dentro del colector. En este sentido, Francesconi et al., (2023) sugieren que la eficiencia óptica de los colectores solares puede mejorarse mediante modificaciones estructurales y el uso de recubrimientos selectivos para aumentar la absorción solar.

En el presente estudio, se observó un aumento en la concentración de nitrógeno con un valor de 1.51%, lo que concuerda con hallazgos recientes de Atteya et al., (2021), quienes señalaron que niveles de nitrógeno superiores al 1.0% son adecuados para la productividad de cultivos exigentes en este nutriente. Así mismo, investigaciones como la de Oyege & Balaji, (2023) confirman que el vermicompost enriquece el suelo con nitrógeno de forma gradual. Por otro parte, un estudio realizado por Degefa et al., (2022) concuerdan que la producción de vermicompost contenía un 1.70% de nitrógeno total, en comparación con el 0.60% del compost tradicional.

También se observó un incremento regular de 0.96% en la disponibilidad de fósforo, este resultado es consistente con estudios como el de Sefaoglu et al., (2021), quienes afirman que el uso de vermicompost relacionados con fertilizantes químicos biodegradables aumentó el contenido de fósforo en los suelos. Además, la actividad de microorganismos como los solubilizadores de fósforo aumentan la disponibilidad de este nutriente en el suelo (Mohite et al., 2024). Aunque el valor del fósforo es ligeramente inferior al 1%, sigue estando por encima del valor mínimo exigido de 0.3%. (Jiang et al., 2021) encontraron que el contenido de fósforo cercano al 1% es adecuado para mejorar la fertilidad del suelo.

Así mismo en un estudio realizado por Degefa et al., (2022) obtuvieron 20.15 ppm en el vermicompost, comparado con 12.35 ppm en el compost tradicional debido a la acción de las lombrices y microorganismos. Como también se evidencio un aumento en los niveles de potasio de 1.42%, similar a lo reportado por Dibakar Ghosh et al., (2020), quienes documentaron un incremento en la productividad de cultivos debido a la mayor presencia de potasio cuando se utilizó vermicompost antes de la siembra. El porcentaje de potasio obtenido es consistente con estudios como el de Sefaoglu et al., (2021), quienes

demonstraron que un contenido de potasio entre 1.0% y 1.5% es óptimo para generar resistencia de las plantas frente a enfermedades y aumentar la absorción de agua.

La relación C/N obtenida con un valor de 15:1 es ideal para garantizar la estabilidad del vermicompost y su capacidad para liberar nitrógeno de forma gradual. Patra et al., (2022) señalaron que una relación C/N entre 10:15 es óptima para evitar la inmovilización de nitrógeno en el suelo. En su investigación Sefaoglu et al., (2021) determinaron que la relación C/N en el vermicompost fue más baja de 11:56 que en el compostaje convencional de 20:58, lo que indica una mayor descomposición del material orgánico en el vermicompost.

En su investigación Panda et al., (2022) señala que el vermicompostaje, con un manejo adecuado, puede reducir significativamente las emisiones de gases como el metano, especialmente en sistemas con una buena aireación y un manejo eficiente de la humedad. Un estudio realizado por Oyege & Bhaskar, (2023) afirman que el vermicompost mejora la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua y promueve el crecimiento de las plantas al aportar humus, ácidos húmicos y enzimas. Además, estudios como el de Pereira et al., (2023) sugieren que la combinación de vermicompost con microorganismos beneficiosos puede incrementar la resiliencia del suelo frente a condiciones adversas. De igual forma Kamar & Yaacob, (2022) declaran que el vermicompost es eficaz como enmienda orgánica y en el manejo integrado de plagas, así mismo Briceño & Pérez, (2017) afirman que el humus presenta una abundante población bacteriana, lo cual aumenta la fertilidad natural de los cultivos.

De acuerdo con lo señalado por Solarte, (2018) es viable reducir la toxicidad de los pesticidas en el suelo mediante la incorporación de lombricompost. Por otro lado, Sarmiento et al., (2023) afirman que la introducción de vermicompost al suelo mediante

el recubrimiento de plástico conserva la humedad, reduce las malas hierbas y aumenta la temperatura.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El estudio enfatiza la eficacia del aprovechamiento de la energía solar por medio de la aplicación de colectores solares planos de bajo costo en el proceso de vermicompost. Se logró obtener el humus de lombriz en un periodo de 45 días durante la época de helada, en comparación con el sistema sin calentamiento solar, que tomó 75 días debido a la alta mortandad de lombrices.

El sistema de vermicompost con calentamiento solar alcanzó una temperatura máxima promedio diaria de 20.50°C durante el día y un valor mínimo de 6.75°C por la noche en las 4 composteras, evidenciando un rendimiento eficiente en la transferencia de calor por parte de los colectores, mientras que el sistema convencional mostró una temperatura máxima de 11.50°C por el día y 0.53°C en la noche.

Por otro lado, el sistema con calentamiento solar registró una mayor concentración de nutrientes en la obtención del producto final tales como nitrógeno (1.51%), fósforo (0.96%) y potasio (1.53%), además de un porcentaje significativo de materia orgánica (29.62%) un pH ligeramente alcalino de 8.26, estabilización de la relación C/N de 15:1, una conductividad eléctrica de 7 dS/m. Adicionalmente se observó un contenido de calcio (3.53%), magnesio (1.00%) y sodio (0.32%). Por lo tanto, es posible optimizar el proceso de vermicompostaje mediante el uso de la energía solar en condiciones altiplánicas.

6.2. Recomendaciones

Promover el uso de esta tecnología en las diferentes poblaciones rurales de la región, con el fin de proporcionar conocimientos en cuanto a la gestión eficiente de residuos orgánicos.

Implementar materiales de mayor durabilidad y realizar mantenimientos de los equipos utilizados trimestralmente para una mayor eficacia y vida útil del proyecto.

Realizar diferentes investigaciones sobre la aplicación de la lombriz roja californiana para la resolución de problemas ambientales, con el fin de tener una amplia gama de posibles soluciones que tengan viabilidad en su ejecución y procedimientos.

REFERENCIAS

- Ardila J. (2020). Análisis de ciclo de vida del uso de colectores solares en un ciclo de cogeneración en la industria azucarera. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, (Vol. 21, Issue 1).
- Atteya G., Albalawi N., El-Serafy S., Albalawi K., Bayomy M. & Genaidy E. (2021). Response of moringa oleifera seeds and fixed oil production to vermicompost and npk fertilizers under calcareous soil conditions. *Plants*, (10).
<https://doi.org/10.3390/plants10101998>
- Aleman A., & Reyes A. (2017). Utilización del humus Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) como alternativa amigable al medio ambiente para el cultivo del café, finca Santa Dolores, Municipio el Crucero. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua- Managua, 31 pp.
- Al-Manea A., Okab A., Hasan H., Talib M., Egab K. & Yusaf T. (2022). Analysis of Heat Transfer and Fluid Flow in a Microchannel Heat Sink with Sidewall Dimples and Fillet Profile. *SSRN Electronic Journal*.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4100425>
- Briceño A. & Pérez A. (2017). Utilización del humus Lombriz Roja Californiana (*eisenia foetida*) como alternativa amigable al medio ambiente para el cultivo del café, finca Santa Dolores, Municipio el Crucero. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua., 31 pp.
- Baiju, V. & Sreepadmam S. (2024). Advances in Heat transfer fluids in Solar thermal collectors, 1–31. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.777351>

- Çomaklı K., Çakır U., Kaya M. & Bakirci K. (2012). The relation of collector and storage tank size in solar heating systems. *Energy Conversion and Management*, 63, 112–117. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.031>
- Degefa K., Tullu M. & Samuel N. (2022). Nutrient status of composted and vermicomposted kitchen wastes. *International Journal of Soil Science and Agronomy*, 9(1), 250–254.
- Dibakar G., Brahmachari K., Milan S., Brestic M., Muhammad A., Fahad S., Saneoka H., 13 & Sabagh A. (2020). Nutrients Supplementation through Organic Manures, 14 – 1 <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25214924>
- Dutkowski K., Kruzel M., Fiuk J., Rokosz K., Michalska I. & Szczepanek M. (2023). Experimental Studies on the Influence of Spatial Orientation of a Passive Air Solar Collector on Its Efficiency. *Energies*, 16(10). <https://doi.org/10.3390/en16104125>
- Edmundo H. & Cruz D. (2022). Gestión de residuos sólidos y su incidencia en educación ambiental en una institución educativa del Perú - 2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 1224–1248. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2657
- Francesconi M., Antonelli M. & Desideri U. (2023). Assessment of the optical efficiency in solar collectors: Experimental method for a concentrating solar power. *Thermal Science and Engineering Progress*, 40. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2023.101740>
- Jaramillo R. (2020). Incidencia de cuatro sustratos sobre la reproducción de *Eisenia foetida* en un módulo de lombricultura urbano, provincia del Guayas. Tesis de Licenciatura. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador, 1–125.

- Jiang H., Li S., Wang T., Chi X., Qi P. & Chen G. (2021). Interaction Between Halotolerant Phosphate-Solubilizing Bacteria (*Providencia rettgeri* Strain TPM23) and Rock Phosphate Improves Soil Biochemical Properties and Peanut Growth in Saline Soil. *Frontiers in Microbiology*, 12(December), 1–12.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.777351>
- Kamar A. & Yaacob J. (2022). Exploring the potential of vermicompost as a sustainable strategy in circular economy: improving plants' bioactive properties and boosting agricultural yield and quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(9), 12948–12964. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18006-z>
- Karthikeyan A., Nimay K., Dinesh C., Jayaprabakar J. & Jacob A. (2023). Performance enhancement of solar thermal systems using phase change materials- a review. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.109>
- Katiyar R., Sundaramurthy S., Sharma A., Arisutha S., Pratap A., Mishra S., Ayub R., Jeon B. & Khan M. (2023). Vermicompost: An Eco-Friendly and Cost-Effective Alternative for Sustainable Agriculture. *Sustainability (Switzerland)*, 15(20).
<https://doi.org/10.3390/su152014701>
- Mohite D., Chavan S., Jadhav V., Kanase T., Kadam M. & Singh A. (2024). Vermicomposting: a holistic approach for sustainable crop production, nutrient-rich bio fertilizer, and environmental restoration. *Discover Sustainability*, 5(1).
<https://doi.org/10.1007/s43621-024-00245-y>
- Navntoft C., & Cristófaló M. (2019). *Introducción a la energía solar térmica*. 1a ed revisada, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 63pp.

- Ortiz L., Pérez P., & Solórzano A. (2023). Guía práctica para la producción de Vermicompost. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952, Mi, 2.
- Oyege I., & Balaji S. (2023). Effects of Vermicompost on Soil and Plant Health and Promoting Sustainable Agriculture. *Soil Systems*, 7(4).
<https://doi.org/10.3390/soilsystems7040101>
- Panda A., Mishra R., Dutta J., Wani Z., Pant S., Siddiqui S., Alamri S., Alrumman S., Alkahtani D. & Bisht S. (2022). Impact of Vermicomposting on Greenhouse Gas Emission: A Short Review. *Sustainability (Switzerland)*, 14(18), 1–11.
<https://doi.org/10.3390/su141811306>
- Patra S., Sengupta S., Poddar R. & Bhattacharyya K. (2022). Improving the growth, yield, and quality of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) through irrigation and nutrient management: a study from an Inceptisol of India. *Water SA*, 48(4), 487–498. <https://doi.org/10.17159/wsa/2022.v48.i4.3951>
- Pereira M., Moraes L., Mogollón M., Borja C., Duarte, M., Buttrós V., Luz J., Pasqual M. & Dória, J. (2023). Cultivating Biodiversity to Harvest Sustainability: Vermicomposting and Inoculation of Microorganisms for Soil Preservation and Resilience. *Agronomy*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy13010103>
- Pierre L., Carlie R., Kader M., Desai N. & John, E. (2021). Potentiality of vermicomposting in the south pacific island countries: A review. *Agriculture (Switzerland)*, 11(9), 1–17. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090876>
- Puma J., Belizario G., Laqui W., Alfaro R., Huaquisto E. & Calizaya E. (2024). Evaluating the Yields of the Rainfed Potato Crop under Climate Change

- Scenarios Using the AquaCrop Model in the Peruvian Altiplano. Sustainability (Switzerland), 16(1). <https://doi.org/10.3390/su16010071>
- Quispe L. & Sotomayor G. (2021). Determinación y análisis temporal de la radiación solar global en el Altiplano de Puno. Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 30, 69–81. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-33052022000100069>
- Román M. & Pantoja A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. In Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 108 pp.
- Rehman S. De Castro F., Aprile A., Benedetti M. & Fanizzi F. (2023). Vermicompost: Enhancing Plant Growth and Combating Abiotic and Biotic Stress. Agronomy, 13(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy13041134>
- Road S. & Lane B. (2022). Optimum Moisture Requirement During. Applied Ecology and Environmental Research, 2(1), 53–62.
- Sefaoglu F., Ozturk H., Ozturk E., Sezek M., Toktay Z. & Polat T. (2021). Effect of organic and inorganic fertilizers, or their combinations on yield and quality components of oil seed sunflower in a semi-arid environment. Turkish Journal of Field Crops, 26(1), 88–95. <https://doi.org/10.17557/tjfc.869335>
- Solarte, M. (2018). Evaluación del efecto de un lombricompost sobre la retención y degradación de clorpirifos en suelo. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, 104 pp.
- Suni T. (2018). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en compostaje del Mercado Mayorista Metropolitano Río Seco – La Parada. Cerro Colorado. Universidad San Agustín de Arequipa, Perú, 119 pp.
- Sarmiento G., Rivera W., Mena C., Quispe C., Velarde A. & Lipa M. (2023). Effect of the use of vermicompost, organic padding and plastic covering on some soil

properties and brocoli (*Brassica oleracea* L.) crop in Perú. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 39(1), 35–44.

<http://dx.doi.org/10.29393/chjaa39-4eugl60004>

Trujillo O. & De Armas D. (2021). *Lombricultura: Práctica de aprovechamiento a partir de residuos orgánicos*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

<https://doi.org/10.22490/notas.4282>

Thirunavukkarasu A., Sivashankar R., Nithya R., Sathya A., Priyadharshini V., Kumar B., Muthuveni M. & Krishnamoorthy S. (2023). Sustainable organic waste management using vermicomposting: a critical review on the prevailing research gaps and opportunities. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 25(3), 364–381.

<http://dx.doi.org/10.1039/d2em00324d>

Toor D., Ullah I., Demirkaya S., Kızılkaya R., Mihoub A., Zia A., Jamal A., Ghfar A., Di Serio A. & Ronga, D. (2024). Vermicompost Rate Effects on Soil Fertility and Morpho-Physio-Biochemical Traits of Lettuce. *Horticulturae*, 10(4), 1–21.

<https://doi.org/10.3390/horticulturae10040418>

ANEXOS

Anexo 1. Sumisión de artículo



[RICA] Envío recibido

1 mensaje

Claudio M. Amescua Garcia via Revista Internacional de Contaminación Ambiental

mar, 19 de nov de 2024 a la hora

<rica@atmosfera.unam.mx>

12:54 a. m.

Responder a: Claudio M. Amescua Garcia <claudio.amescua@atmosfera.unam.mx>

Para: Axel Rondon <axelgabrielrondon22@gmail.com>

Axel Rondon:

Gracias por enviarnos su manuscrito "Optimización de la Producción de Vermicompost aplicando calentamiento solar en condiciones altiplánicas" a Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/authorDashboard/submission/55455>

[Texto citado oculto]

Anexo 2. Resolución de expediente



"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

RESOLUCIÓN N° 0883-2024/UPeU-FIA-CF

Lima, Naña, 19 de noviembre de 2024

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Axel Gabriel Rondon Cairampoma** identificado(a) con código universitario N° 201810508, **Rosmary Condori Mamani** identificado(a) con código universitario N° 201812061 y **Roy Eliab Mamani Condori** identificado(a) con código universitario N° 201812077, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Optimización de la Producción de Vermicompost aplicando calentamiento solar en condiciones altiplánicas", presentado por los (las) bachilleres **Axel Gabriel Rondon Cairampoma**, **Rosmary Condori Mamani** y **Roy Eliab Mamani Condori** remitiendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expediente para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 19 de noviembre de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

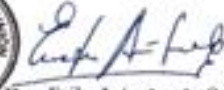
SE RESUELVE:

1. Declarar expediente a los (las) bachilleres **Axel Gabriel Rondon Cairampoma**, **Rosmary Condori Mamani** y **Roy Eliab Mamani Condori**, para que sustenten la tesis en formato artículo "Optimización de la Producción de Vermicompost aplicando calentamiento solar en condiciones altiplánicas", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, el 05 de diciembre, a las 10:00 horas, en el Salón de Actos Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
Secretario: MSc. Loayda Abigail Condori Turpo
Asesor: MSc. Miguel Angel Salcedo Ibarra
Vocal 1: Ing. Enrique Mamani Cuello
Vocal 2: Ing. Nancy Curasi Rafael

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

cc:
-Secretaría
-Jurado (PI)
-Secretaría General
-Archivo




Ph.D. Silvia Pico Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

Anexo 3. Instrumentos



Figura 1: Proceso de la producción de vermicompost

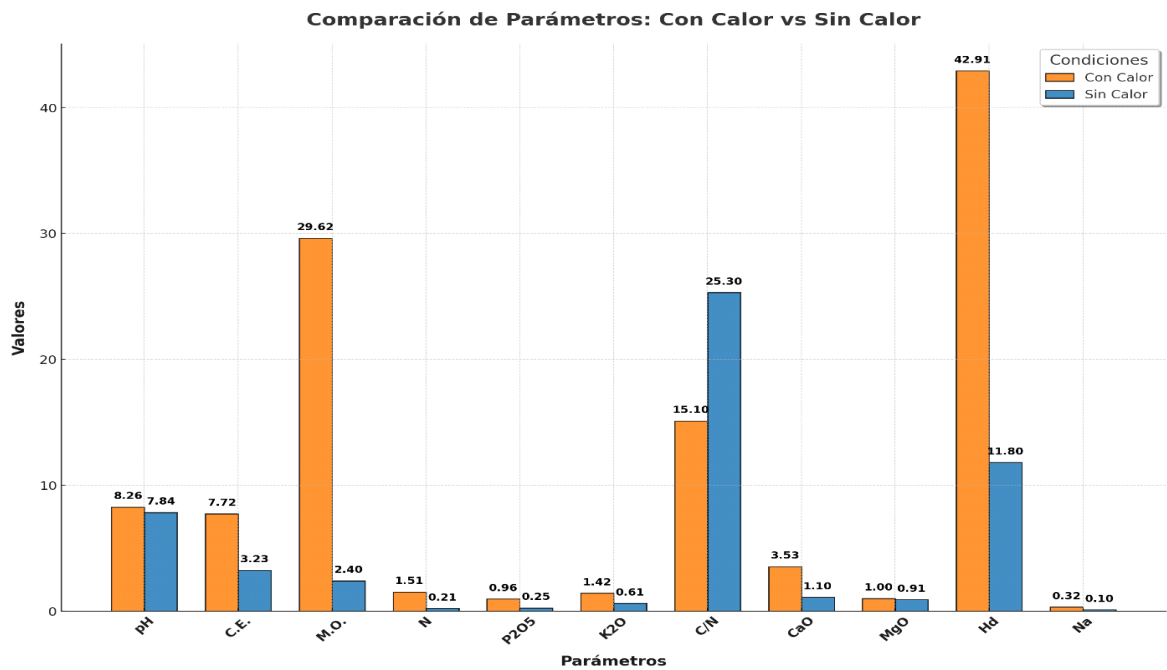


Figura 2: Diferencia estadística de los parámetros fisicoquímicos del sistema de vermicompost

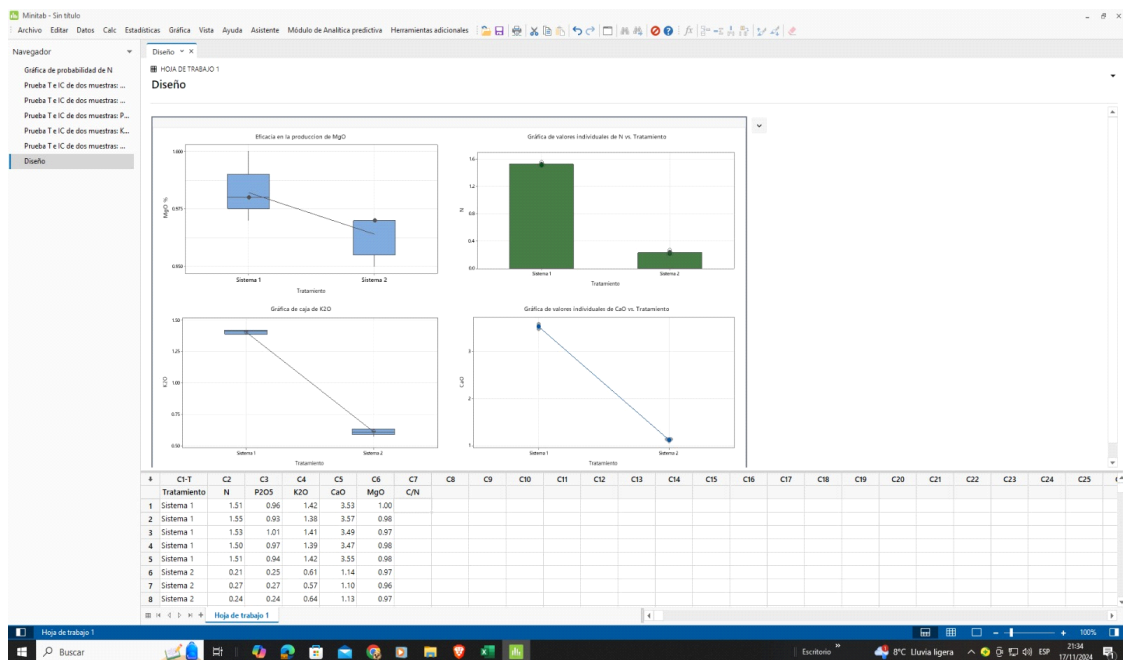


Figura 3: Diagrama de Cajas del porcentaje de nitrógeno del sistema con y sin calentamiento solar

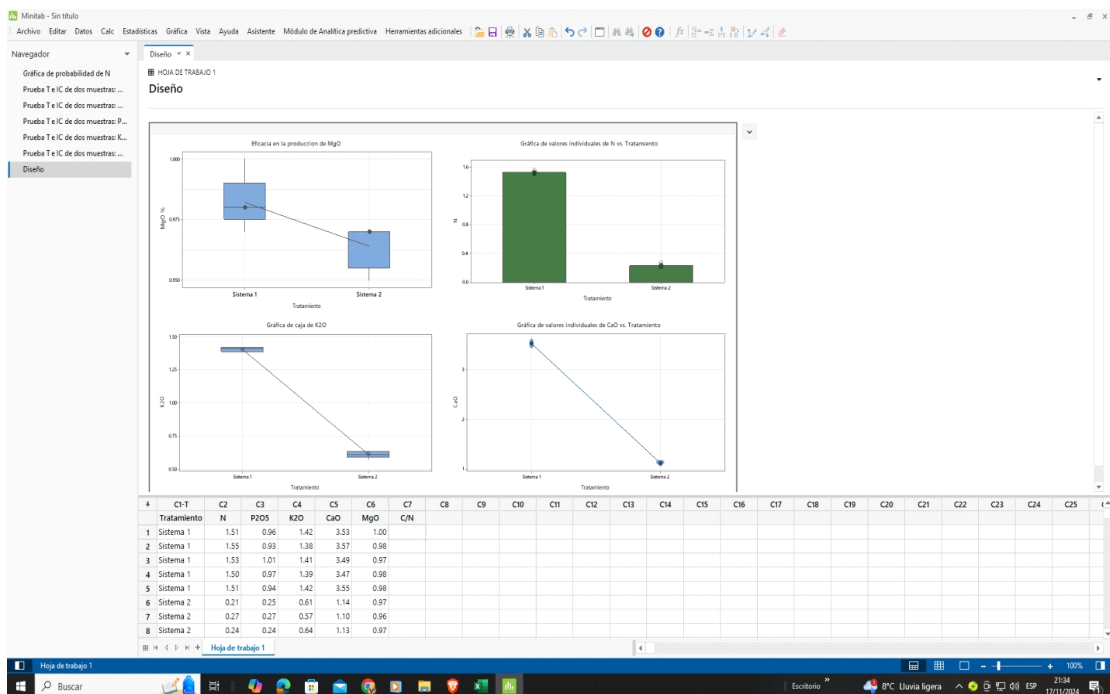


Figura 4: Diagrama de Cajas del porcentaje de potasio del sistema con y sin calentamiento solar



Figura 5: Compostera implementada con los microtubos de PVC de manera intercalada

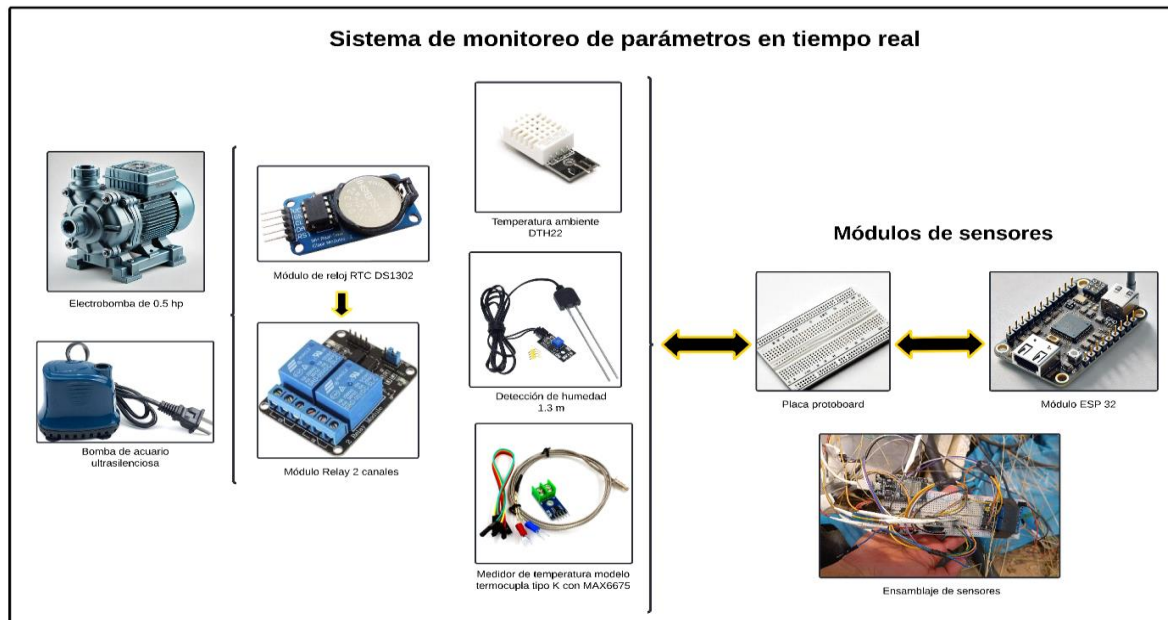


Figura 6: Sistema de monitoreo de parámetros en tiempo real, propuesto



Figura 7: Aislamiento del tanque central con pajonal andino y tecnopor



Figura 8: Tanque central aislado con estiércol vacuno



Figura 9: Distribución del líquido caloportador a las composteras

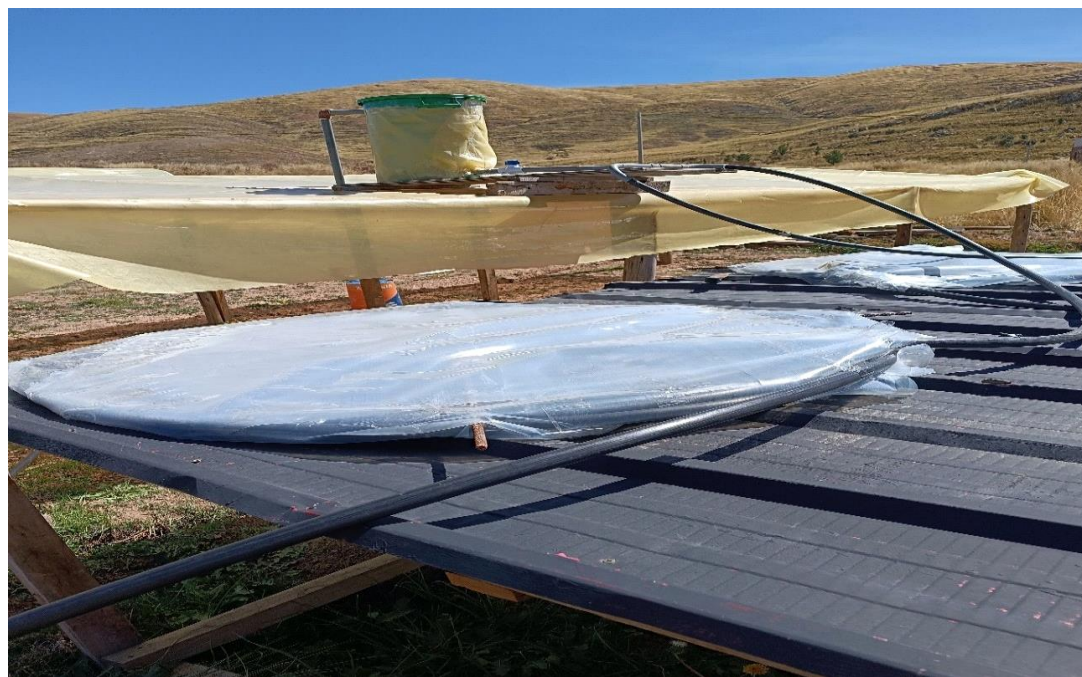


Figura 10: Posicionamiento de los colectores solares planos de HDPE – ¾”



Figura 11: Producción de la lombriz roja californiana



Figura 12: Obtención del humus de lombriz



Figura 13: Mapa en AutoCAD del sistema de vermicompost

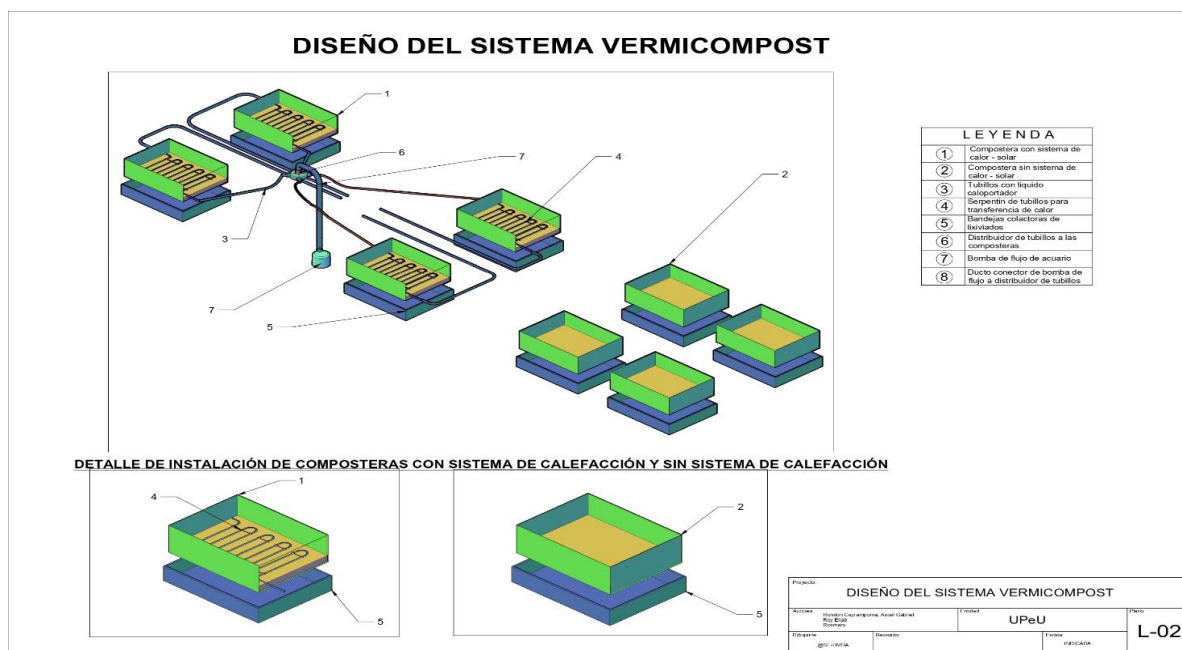


Figura 14: Diseño de composteras y distribución de los microtubos