

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Aprovechamiento de la energía solar en la elaboración de
compost de residuos sólidos orgánicos urbanos a través de un
sistema con colectores solares en condiciones altoandinas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Yojan Jaime Llave Ciprian
Sulema Callasi Choquepuma

Asesor:

Mg. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, noviembre de 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Juan Eduardo Vigo Rivera, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS A TRAVÉS DE UN SISTEMA CON COLECTORES SOLARES EN CONDICIONES ALTOANDINAS”** los autores **Yojan Jaime Llave Ciprian** y **Sulema Callasi Choquepuma** tiene un índice de similitud de 5% 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 27 días del mes de noviembre del año 2023.



Mg. Juan Eduardo Vigo Rivera

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 03 día(s) del mes de noviembre del año 2023 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):

Ing Nancy Jurasi Rafael el (la) secretario(a): Ing Verónica Naydie Pani Mamani y los demás miembros: Mg Franklyn Elord Lozano

Yusra - Msc Leayda Abigail Inondori Turpo y el (la) asesor(a) Mtro Juan Eduardo

Rigo Rivera con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: aprovechamiento de la energía solar en la elaboración de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos a través de un sistema con colectores solares en condiciones altoandinas

del (los) bachiller(es): a) Sulema Gallasi Choguespuma
 b) Yejan Jaime Marc Seprian
 c)

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): Sulema Gallasi Choguespuma

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

Bachiller (b): Yejan Jaime Marc Seprian

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

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) 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]
 Secretaria/a
[Firma]
 Miembro
 Bachiller (c)

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
2.1. Diseño de la investigación.....	11
2.2. Proceso y evaluación del compostaje.....	12
2.3. Determinación de la transferencia de calor del sistema de calentamiento solar en la compostera	13
2.4. Instalación de las composteras rectangulares.....	14
2.5. Circuito de transferencia de calor dentro del sistema	14
2.6. Instalación experimental del sistema de calentamiento solar.....	15
3. RESULTADOS	16
3.1. Comportamiento de la temperatura	16
3.2. Comportamiento del potencial de hidrógeno	18
3.3. Comportamiento de la Humedad.....	19
3.4. Análisis químico del compostaje.....	20
3.5. Determinación de la transferencia de calor del sistema de calentamiento solar en la compostera	21
3.6. Comportamiento de la radiación	22
4. DISCUSIONES	22
5. CONCLUSIÓN	24
REFERENCIAS.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. ANOVA de las composteras utilizadas.....	20
Tabla 2. Calidad de compost en comparación con la normativa chilena.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Instalación experimental in situ de las composteras	12
Figura 2. Diagrama del proceso de la elaboración de compostaje.....	13
Figura 3. Diseño de la compostera y contenedor de aluminio	14
Figura 4. Distribución de la transferencia de calor en el sistema	15
Figura 5. Instalación del sistema con calentamiento solar.....	16
Figura 6. Comportamiento de la temperatura del compost con y sin calentamiento solar	17
Figura 7. Comportamiento del pH del compost con y sin calentamiento solar	18
Figura 8. Comportamiento de la humedad del compost con y sin calentamiento solar	19
Figura 9. Gradiente de pérdidas y ganancias de calor en el sistema con calentamiento solar	21
Figura 10. Comportamiento de la radiación solar y su influencia en los colectores solares ..	22

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Evidencia de la sumisión de artículo en una revista de prestigio.....	30
Anexo 2 Copia de resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente	31

Aprovechamiento de la energía solar en la elaboración de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos a través de un sistema con colectores solares en condiciones altoandinas

RESUMEN

El compostaje es una forma sostenible de gestionar los residuos sólidos orgánicos. El estudio aprovechó la energía solar en la elaboración de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos empleando colectores solares en condiciones altoandinas. Se instaló ocho composteras de 0.098 m³ cada una, cuatro tuvieron calentamiento solar con sistemas de colectores planos de HDPE ($\varnothing = \frac{3}{4}$ "), empleando agua como fluido caloportador. El periodo experimental fue de 45 y 61 días, para las composteras con calentamiento solar y sin calentamiento. Se empleó residuos sólidos orgánicos de frutas y vegetales (52.5 de residuos orgánicos + 2.5 de estiércol de ovino + 100 ml de microorganismos eficientes). Se monitoreó el pH, la humedad y la temperatura del compostaje. Se determinó la temperatura ambiental, temperatura de fluido caloportador y la temperatura del invernadero empleando sensores Arduino. Para el compostaje producido se determinó materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, relación C/N y la conductividad eléctrica del compost. Empleando calentamiento solar en condiciones altoandinas se obtuvo compost a los 45 días, con mejores características en nitrógeno, fósforo y potasio. La cubierta de agrofilm 180 micras mantuvo el compost a una temperatura media de 28.9 °C durante los 45 días, en comparación con la temperatura media ambiental que fue de 5.2 °C. Los colectores solares proporcionaron calor dentro del sistema alcanzando temperaturas de 39.83 °C y ganancias de calor de 86.5 cal. Es posible emplear energía solar para la producción del compost en condiciones altoandinas.

Palabras clave: Compostaje, calentamiento solar, residuo orgánico, colectores solares

Use of solar energy in the composting of urban organic solid waste using solar collectors in high Andean conditions

ABSTRACT

Organic solid waste can be managed sustainably via composting. Utilizing solar collectors in high Andean settings, the study made compost from urban organic solid waste using solar energy. Eight composters (0.098 m³) were installed, four of which were flat HDPE ($\phi= \frac{3}{4}$ "), collector systems with solar heating that used water as the heat transfer fluid. The experimental period was 45 and 61 days, for composters with solar heating and without heating. Organic solid waste from fruits and vegetables was used (52.5 from organic waste + 2.5 from sheep manure + 100 ml from efficient microorganisms). The pH, humidity and temperature of the composting were monitored. The ambient temperature, heat transfer fluid temperature and greenhouse temperature were determined using Arduino sensors. For the composting produced, organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, C/N ratio and the electrical conductivity of the compost were determined. Using solar heating in high Andean conditions, compost was obtained after 45 days, with better characteristics in nitrogen, phosphorus and potassium. The 180 micron agrofilm cover kept the compost at an average temperature of 28.9 °C during the 45 days, compared to the average ambient temperature of 5.2 °C. The solar collectors provided heat within the system reaching temperatures of 39.83 °C and heat gains of 86.5 cal. It is possible to use solar energy for the production of compost in high Andean conditions.

Keywords: Composting, solar heating, organic waste, solar heaters

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la cantidad de residuos sólidos generados ha aumentado exponencialmente en todo el mundo. Este incremento se debe principalmente al crecimiento demográfico, que junto con el desarrollo económico, urbanización resultante, estilos de vida y los estándares modernos han acelerado enormemente la generación de residuos (Sayara et al. 2020). En países en vías de desarrollo, el mal manejo y gestión de residuos sólidos sigue siendo un problema, puesto que los residuos acaban en vertederos o son incinerados, lo cual ocasiona la generación de gases de efecto invernadero y lixiviados, resultando en impactos sanitarios y ambientales (Vergara y Tchobanoglous 2012); si se realiza un buen tratamiento de estos residuos, se logrará obtener grandes beneficios que favorecerán al entorno ambiental (Ortiz y Gonzáles 2015).

En el Perú, es muy importante optimizar el proceso de disposición final de los residuos sólidos, por ser un problema crítico a nivel nacional en términos de salud y contaminación ambiental producto de actividades individuales, colectivas, urbanas y/o rurales (Blas 2020). Ante esta situación, es de suma importancia que se promueva un manejo adecuado y desarrollen una gestión sostenible para la buena disposición y aprovechamiento de los residuos sólidos, transparentando las medidas o técnicas de mejora como el reciclaje, compost, entre otros; que permitan disminuir los problemas de contaminación preservando la biodiversidad y los ecosistemas naturales, para brindar mejores condiciones de vida a la población (Castañeda y Rodríguez 2017).

Además, un alto porcentaje de la generación los residuos sólidos está constituida por residuos orgánicos, esta fracción biodegradable podría reciclarse y utilizarse como fuente potencial de nutrientes para las plantas, en lugar de perderse por descarte o tratamiento inadecuados (Zhang y Sun, 2016). Por ello, uno de los tratamientos óptimos en donde se aprovecha los residuos sólidos orgánicos, es el compostaje, puesto que proporciona nutrientes al suelo, además de reducir el impacto ambiental negativo (Medina y Paricaguan 2013).

No obstante, para que se desarrollen estas técnicas de compostaje se requiere de condiciones climáticas favorables como los climas cálidos, según Abellan y Palacios (2015) la temperatura debería estar entre 45 a 60 °C, donde la degradación de residuos sólidos es más rápida. Pero en el caso de zonas altiplánicas las temperaturas ambiente varían entre 7 a -10 °C (MINAM 2013), haciendo que la degradación de residuos sólidos orgánicos (RSO) sea más lenta y, de esta forma, el compostaje no sea viable al impedir el desarrollo bacteriano adecuado necesario.

Estas zonas altoandinas, sin embargo, presentan alta incidencia de radiación solar de 6.632 KWh/m²/día (Ciudad de Juliaca-Puno) según Rodrigo y Larico (2018). Algunos ejemplos de la aplicación de energía solar pueden ser: el uso de bombas hidráulicas solares, sistemas de transferencia de calor, colectores solares térmicos, módulos fotovoltaicos,

viviendas bioclimatizadas, entre otros (Quispe y Sotomayor 2022). Ante lo descrito anteriormente y teniendo en cuenta los índices de radiación solar en zonas altoandinas, el presente trabajo tuvo como propósito evaluar del aprovechamiento de la energía solar en la elaboración de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos a través de un sistema con colectores solares en condiciones altoandinas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio de investigación se realizó a una altitud de 3850 msnm, Villa Chullunquiani, Juliaca, Puno – Perú. La ejecución se realizó entre los meses de junio a agosto del 2023, época del año que se caracteriza por bajas temperaturas (SENAMHI 2023). Las dimensiones del área de experimento fueron 6.5 x 3.5 m (42.5 m²). Se separó un área de 2 x 2 m para la recepción y deshumedación de los residuos sólidos orgánicos frescos y una poza de recolección de lixiviados.

2.1. Diseño de la investigación

Como se observa en la **Figura 1**, se realizaron dos tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones: compostera con calentamiento solar (CCS) y compostera sin calentamiento solar (SCS), haciendo un total de 8 composteras. El diseño del ensayo fue el siguiente:

T1: Tratamiento con calentamiento solar

T2: Tratamiento sin calentamiento solar

Factor A: Calentamiento

a1: Con calentamiento solar

a2: Sin calentamiento solar

Es un arreglo factorial de un solo factor con cuatro repeticiones, haciendo un total de 8 unidades experimentales. El T1 tiene cuatro repeticiones (CCS1, CCS2, CCS3, CCS4), de la misma forma el T2 con cuatro repeticiones (SCS1, SCS2, SCS3, SCS4). Cada unidad experimental contiene 55 kg (52.5 de residuos orgánicos + 2.5 de estiércol de ovino + 100 ml de microorganismos eficientes). Para la calidad del compost se aplicó el análisis estadístico (ANOVA y test Tukey), empleando el programa STATISTICA v.14.0 tomando en cuenta un p-valor ≤ 0.05 .

Figura 1

Instalación experimental in situ de las composteras

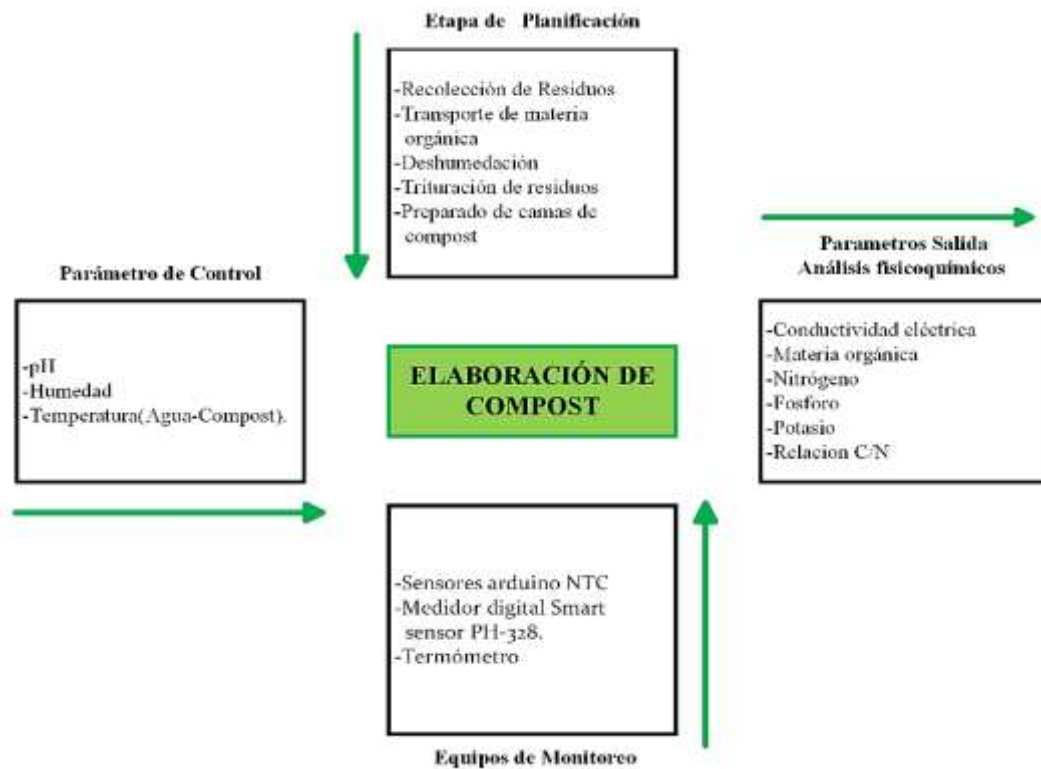


2.2. Proceso y evaluación del compostaje

La **Figura 2** muestra el proceso de elaboración del compostaje, primero se recolecto residuos orgánicos del comedor y cafetín de la Universidad Peruana Unión (UPeU) - campus Juliaca, estos residuos fueron transportados al área experimental para su acondicionamiento y deshumedación, se dejó en reposo por 2 días. El tamaño de partícula de los RSO fue reducido manualmente, hasta alcanzar dimensiones de 4 a 6 cm, para luego ser pesado y agregado en las composteras. Se agrego 55 kg en cada compostera (52.5 de residuos orgánicos + 2.5 de estiércol de ovino + 100 ml de microorganismos eficientes) formando capas delgadas de 5 cm de manera intercalada. La relación de C/N inicial fue de 30:1, Según Bohórquez (2013) el rango óptimo de este parámetro está entre 25 y 35, esta relación C/N afecta en la velocidad del proceso y en la pérdida de amoníaco durante el compostaje. Por otro lado, el volteo y aeración fue cada 3 días. Además, para mantener la humedad entre el 40 y 60 % del compost, se aplicaba 1.5 L de agua en las composteras CCS y SCS.

Figura 2

Diagrama del proceso de la elaboración de compostaje



Para el monitoreo de la humedad y pH se empleó un medidor digital modelo Smart sensor PH-328. Para las temperaturas del compostaje se empleó sensores Arduino NTC con un tiempo de registro de dos minutos. Para determinar la concentración de: nitrógeno, fósforo, potasio, relación C/N y materia orgánica se colectaron 1 kg de muestras del compost y al finalizar el proceso fueron enviadas y analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Agraria la Molina. Con respecto a la temperatura ambiental y la radiación solar se obtuvieron del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrologías del Perú (SENAMHI 2023).

2.3. Determinación de la transferencia de calor del sistema de calentamiento solar en la compostera

Se determinará la transferencia de calor del sistema a través de la ecuación de transferencia de calor.

$$Q = m * Ce * \Delta T$$

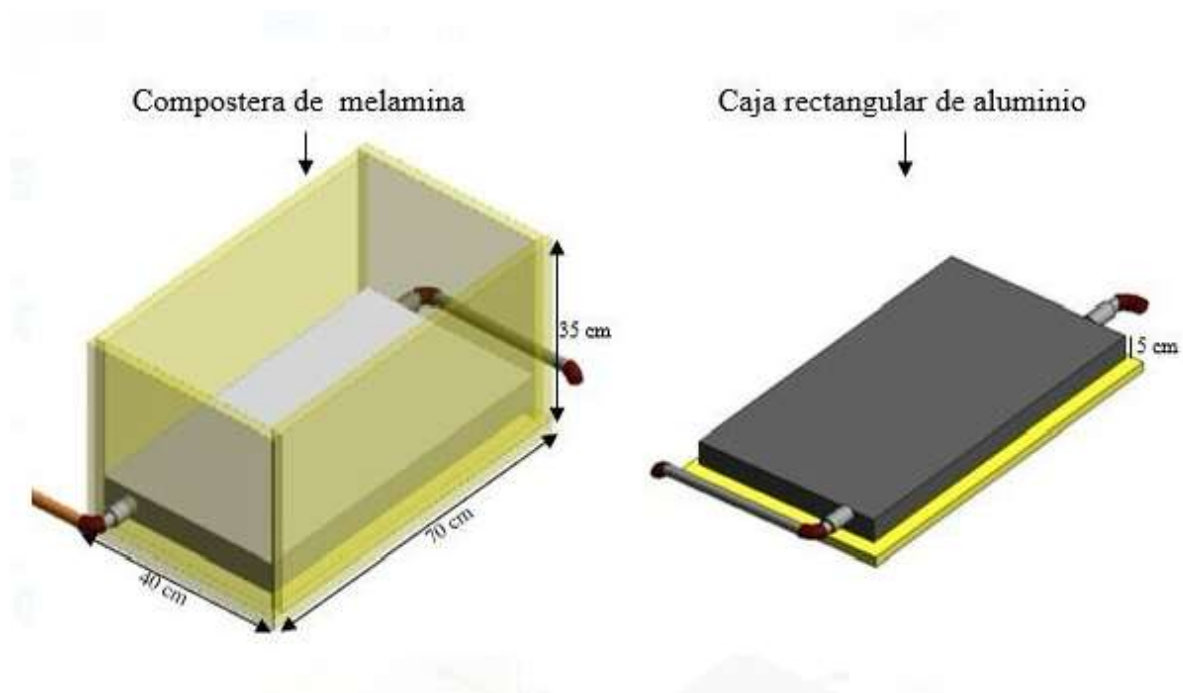
Donde, Q es la tasa de transferencia de calor, m representa la masa, Ce es el calor específico del agua, ΔT es la Diferencia de temperatura.

2.4. Instalación de las composteras rectangulares

La **Figura 3** muestra la compostera de melamina de 70x40x35 cm de largo, ancho y altura, a su vez se tiene una base de aluminio (14 L) de 5 cm de espesor, por donde se realiza la transferencia de calor, empleando agua como un fluido caloportador. Además, las composteras fueron forradas con poliestireno expandido (EPS) en la parte baja y sus laterales con el fin de disminuir las pérdidas de calor que se generan por las bajas temperaturas predominantes en el altiplano peruano.

Figura 3

Diseño de la compostera y contenedor de aluminio



El calentamiento de las composteras se realizó a través de la base rectangular de aluminio, donde fluyó agua como fluido caloportador procedente de los colectores solares. Se empleó aluminio por su alta conductividad térmica de 237 W/(m/K) (Gabriel 2019) y resistencia a la corrosión por agua, bajo costo, baja densidad, fortaleza, durabilidad y maleabilidad (Calderon y Morillo 2019).

2.5. Circuito de transferencia de calor dentro del sistema

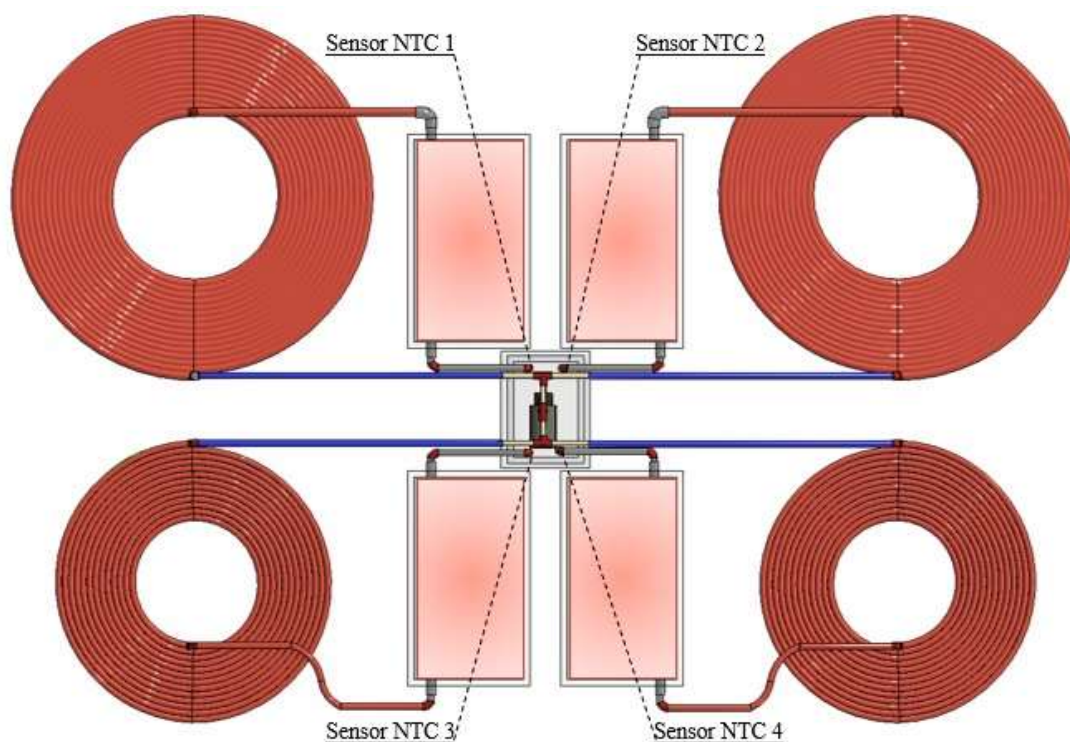
La transferencia de calor inicia en la bandeja de color amarillo, ubicado en la parte central del circuito, como se observa en la **Figura 4**, de donde el agua es distribuida uniformemente hacia los 4 colectores por una bomba de 45 W con un caudal de 0.53 l/s. Se instaló un interruptor digital automático tipo, el sistema de circulación de fluido caloportador

funcionaba cada 30 min con intervalo de 4 min, con la finalidad de transferir el calor de los colectores hacia las composteras. La transferencia de calor se hace por convección (fluido caloportador), conducción (tubo y caja rectangular de aluminio) y convección (agua potable de la bandeja)

Asimismo, se controló la temperatura del agua dentro del sistema, a través de una plataforma Arduino con 4 sensores tipo NTC integrados para el registro de la temperatura inicial y final del agua, ubicados en el circuito final del sistema.

Figura 4

Distribución de la transferencia de calor en el sistema



Nota: En la figura se observa la ubicación de sensores Arduino para el control de temperatura.

2.6. Instalación experimental del sistema de calentamiento solar

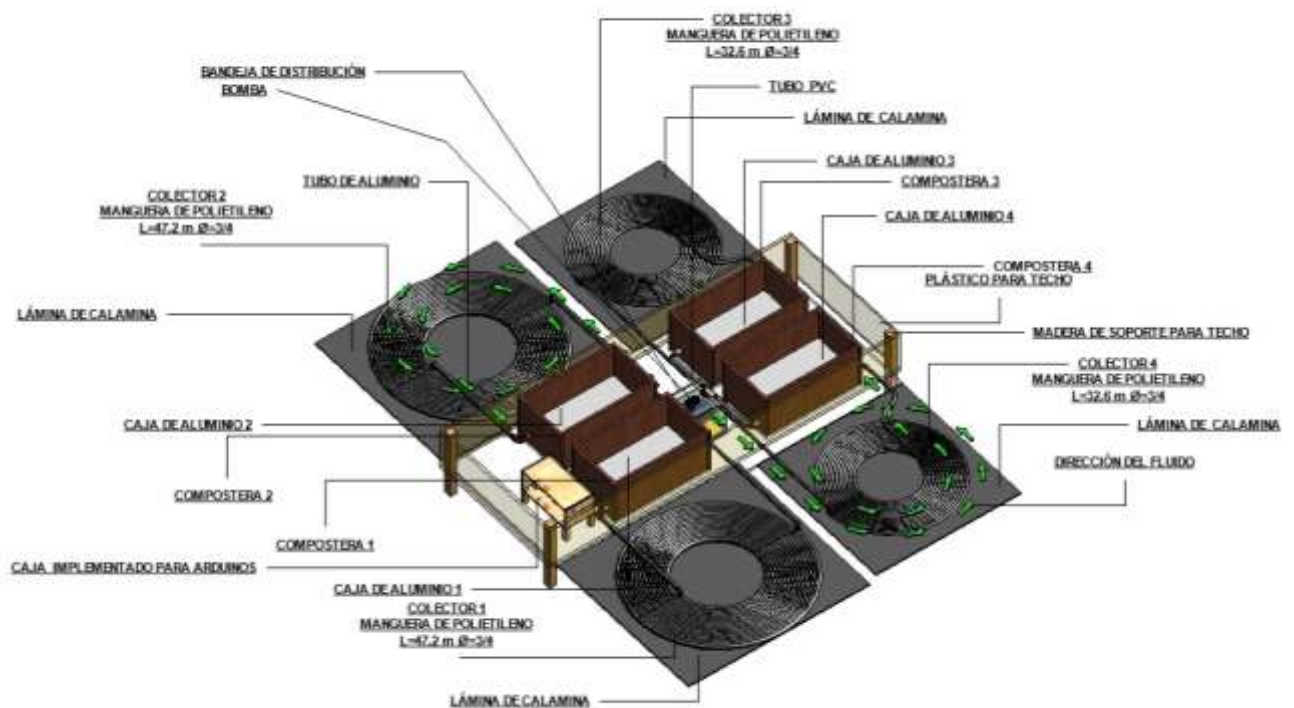
La **Figura 5**, muestra el sistema final implementado en campo, el cual consta de cuatro colectores solares: 2 colectores de manguera HDPE $\frac{3}{4}$ " de color negro, con una longitud de 47.2 m, denominados colector 1 y colector 2 a lo largo del texto; 2 colectores de 32.6 m, denominados colector 3 y 4. Los cuales fueron enrollados concéntricamente colocados sobre una superficie de calamina, de color negro, para mayor absorción de la radiación solar (Moreno 2017).

Además, se construyó un invernadero de 1.5 m x 3.5 m, con una altura de 60 cm, el cual fue cubierto con plástico *Agrofilm* con la finalidad de evitar daños a causa de los factores climáticos (lluvia y viento) y conservar la temperatura interna.

El sistema funcionó por un periodo intermitente durante 7 horas (iniciando a las 9:00 de la mañana hasta las 4:00 de la tarde), tiempo en donde se aprovecha la radiación solar y así dar las condiciones óptimas al compost y esta se desarrolle de manera adecuada dentro del sistema.

Figura 5

Instalación del sistema con calentamiento solar



3. RESULTADOS

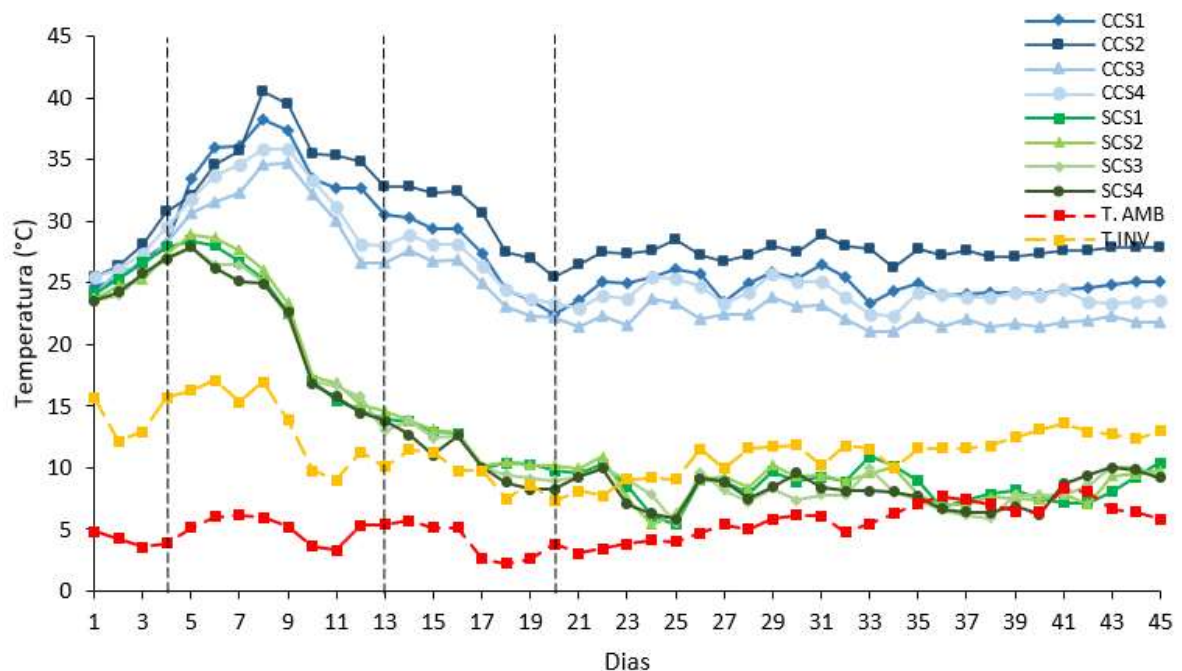
3.1. Comportamiento de la temperatura

La **Figura 6** muestra la temperatura el sistema de calentamiento solar propuesto en este estudio, las temperaturas en la fase mesofílica tuvieron un incremento gradual en las 4 composteras, alcanzando temperaturas promedio de 28 °C. En la fase termofílica, se registró el día 8 temperaturas máximas de 40.5 °C en la CCS2, seguido por la CCS1 con 38.3 °C, CCS4 con 35.9 °C y, finalmente, la CCS3 con 34.6 °C.

Después de alcanzar la temperatura máxima, 40.5°C, hay un descenso gradual de temperatura indicando que el compost entra nuevamente en la fase mesofílica y, finalmente, a partir del día 20 entra en la fase de maduración o enfriamiento. Se observa que la CCS2 alcanza temperaturas sobre los 25 °C, mientras que el CCS1 presentó temperaturas inferiores, a pesar de que los colectores presentaban tamaños similares. Esta diferencia en el comportamiento de los colectores, se debe a que el colector CCS2 captaba directamente la radiación solar, durante la mañana. Mientras que el CCS4 y el CCS1 también muestra un comportamiento semejante, no obstante, a que el CCS4 recibía la radiación directamente y era de menor tamaño al igual que la CCS3.

Figura 6

Comportamiento de la temperatura del compost con y sin calentamiento solar



Con respecto a las temperaturas de las composteras SCS, en la fase mesofílica, se observa un incremento al igual como se vio en el sistema CCS, con una temperatura promedio de 26 °C. Sin embargo, una vez ingresado a la fase termofílica estas no alcanzan temperaturas sobre los 40 °C. Las máximas temperaturas se registraron el día 5, en donde la compostera SCS2 alcanzó 28.9 °C, seguido por SCS1 con 28.4 °C y finalmente SCS3 y SCS4 con 27.9 °C. Además, una vez alcanzada su máxima temperatura, se observa que hay un descenso rápido de esta, no desarrollando eficientemente la fase termofílica y mesofílica

En el día 24 y 25, ya en la fase de maduración, se registraron las temperaturas más bajas con un promedio de 5 °C a causa de las bajas temperaturas nocturnas. Por ello, el producto final en se obtuvo en 60 días. Además, como se observa la Figura 6, la diferencia de temperaturas en las composteras, sin calentamiento solar, no varía significativamente, las

cuatro son muy similares durante todo el proceso de compostaje, a comparación de las temperaturas con calentamiento solar, en la cual predominaba la compostera CCS2.

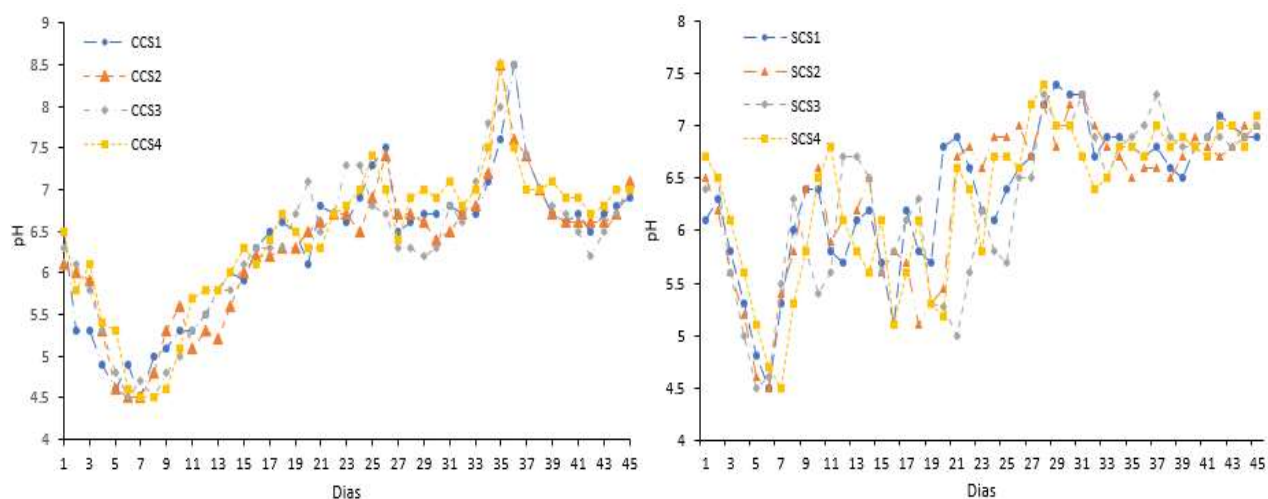
Con respecto a la temperatura ambiental, en la investigación, estuvo debajo de 10 °C con una temperatura media de 5.2 °C durante los 45 días. Y ante ello se construyó un invernadero, el cual evita las bajas temperaturas nocturnas en inviernos fríos, con la función de aislamiento térmico y almacenamiento de calor interno (Wan et al., 2023), de esta forma se logró mantener la temperatura superior a los 10 °C con una temperatura media de 11.6 °C el cual permitió mantener una temperatura media del compost en 28.9 °C en las composteras CCS.

3.2. Comportamiento del potencial de hidrógeno

En la **Figura 7**, se observa el pH de las composteras CCS y SCS. En cuanto a los valores de pH de las composteras CCS, durante la primera semana disminuyeron gradualmente hasta un pH de 4.5. Posterior a ello, el pH tuvo un incremento gradual registrando datos de pH neutro, y a partir del día 30 el pH se alcaliniza, llegando hasta 8.5 en las cuatro composteras. Finalmente, a partir del día 40 el pH disminuyó hasta lograr una estabilización en el rango de 6.5 a 7.5.

Figura 7

Comportamiento del pH del compost con y sin calentamiento solar



En cuanto a las composteras SCS, el pH en la primera semana disminuyó hasta 4.5, indicando que los residuos están en un proceso de acidificación, seguidamente, los valores registrados presentan un aumento rápido hasta el día 10. Sin embargo, los valores de pH se reducen nuevamente, lo que implica la poca actividad microbiana dada las bajas temperaturas, manteniendo los ácidos orgánicos en la compostera a pesar de la salida de

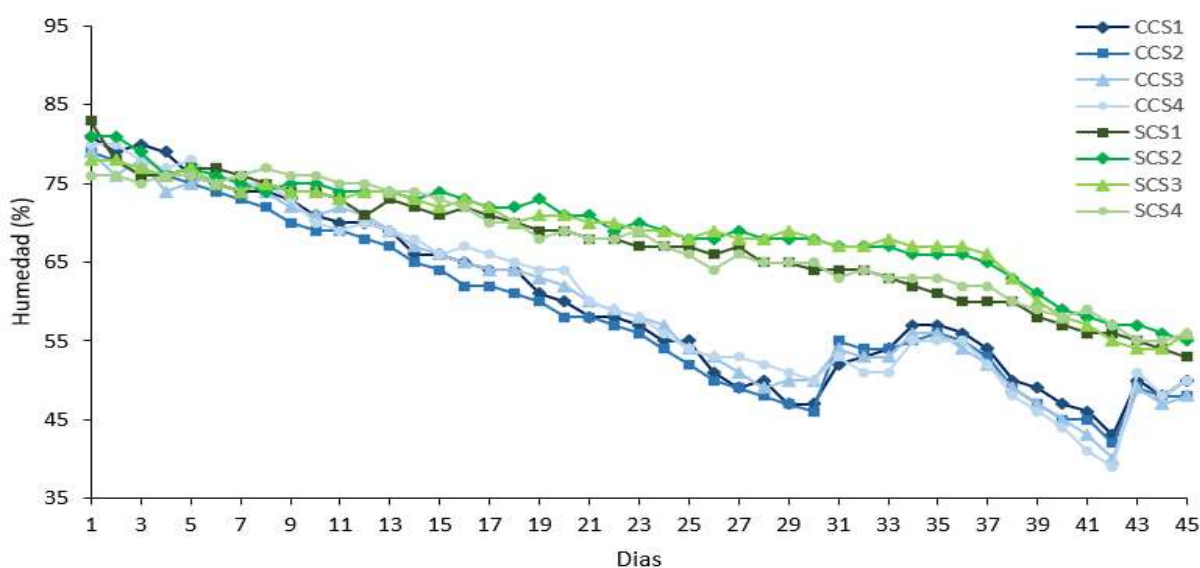
lixiviados. y una vez adicionado la cal, lo valores de pH incrementaron gradualmente a partir del día 20, alcanzando un pH de 7.4 como máximo, y a comparación con el pH de las composteras CCS, estas no llegan hasta los 8.5.

3.3. Comportamiento de la Humedad

La humedad inicial en los dos tratamientos fue superior a los 70 %. (**Fig. 8**), En las composteras CCS disminuye gradualmente pues el sistema genera calor y la humedad disminuye rápidamente en forma de vapor durante las noches. Y como se observa en la **Figura 8**, la compostera CCS2 disminuye más rápido debido a que esta presentaba temperaturas más altas (**Fig. 6**). El día 30 se registró una humedad aproximada de 45 % y, ante ello, se aplicó riego de 1.5 L de agua cada compostera. Y la humedad tuvo un incremento gradual hasta el día 36, para después disminuir nuevamente hasta el día 42, donde se registró la humedad más baja, con un aproximado de 40 %.

Figura 8

Comportamiento de la humedad del compost con y sin calentamiento solar



Mientras que la humedad en las composteras SCS disminuye paulatinamente, principalmente, a causa de las temperaturas bajas que se registraron durante la noche (**Fig. 6**). Esa pérdida de disminución de humedad afecta las actividades metabólicas microbianas y la transformación del material durante el compostaje. Hasta el día 20, la humedad en las composteras SCS estaba sobre 70 %. A pesar del proceso de “volteo” realizado, la humedad no disminuyó como esperaba. A partir del día 37, la humedad disminuye aún más, haciendo que el compost se desarrolle de manera más eficiente.

3.4. Análisis químico del compostaje

Se realizó un ANOVA de los promedios entre los grupos y con un nivel de significancia de 95% se puede decir que existe diferencia estadísticamente significativa entre las muestras (**Cuadro 1**). Además, se realizó una prueba Tukey para diferenciación de los grupos (**Cuadro 2**). Donde cabe resaltar que la relación C/N fue la única que no mostró diferencia significativa entre las composteras (CCS y SCS).

Tabla 1

ANOVA de las composteras utilizadas

Fuente da variación	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	19033,52	6	3172	351,7127456	1,69E-38	2,2904
Dentro de los grupos	441,9528	49	9,02			
Total	19475,48	55				

La calidad de compost obtenido en la investigación se comparó con la Normativa Chilena de calidad de compost (2880). En el **cuadro 2**, se observan los parámetros analizados de las 8 composteras, de las cuales la materia orgánica, Nitrógeno, relación C/N cumplen con dicha normativa, tanto en las composteras CCS como en las SCS. Sin embargo, el fósforo y la conductividad eléctrica no cumplen con la normativa, ya que los resultados obtenidos superan 0.1 % y 3 dS/m, respectivamente.

Tabla 2

Calidad de compost en comparación con la normativa chilena

Composteras	C.E.	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	Relación C/N
CCS	13.5±0.6 ^a	50.5±3.7 ^a	3.1 ± 0.1 ^a	1.2± 0.1 ^a	3.9±0.3 ^a	14.4 ±0.8 ^a
SCS	10.2± 0,61 ^b	62.9±4.44 ^b	2.7 ± 0,19 ^b	1.0 ± 0.07 ^b	3.1±0.27 ^b	14.2±1.33 ^a
Norma Chilena (2880)	<8 dS/m	>25%	>0.8%	<0.1%	-	10--25

Fuente: Elaboración propia

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Roig et al., 2001). El valor de la CE de las composteras difiere estadísticamente, siendo CCS ligeramente más alta que las composteras SCS. Si bien no se cumple con la normativa chilena, no hay un exceso de salinidad en el compost final. Los contenidos de materia orgánica, de las composteras CCS y SCS están dentro de un rango de 50.5 a 62.9 % en virtud de la baja actividad microbiana por las bajas temperaturas, principalmente en las composteras SCS como se muestra en la Figura 6.

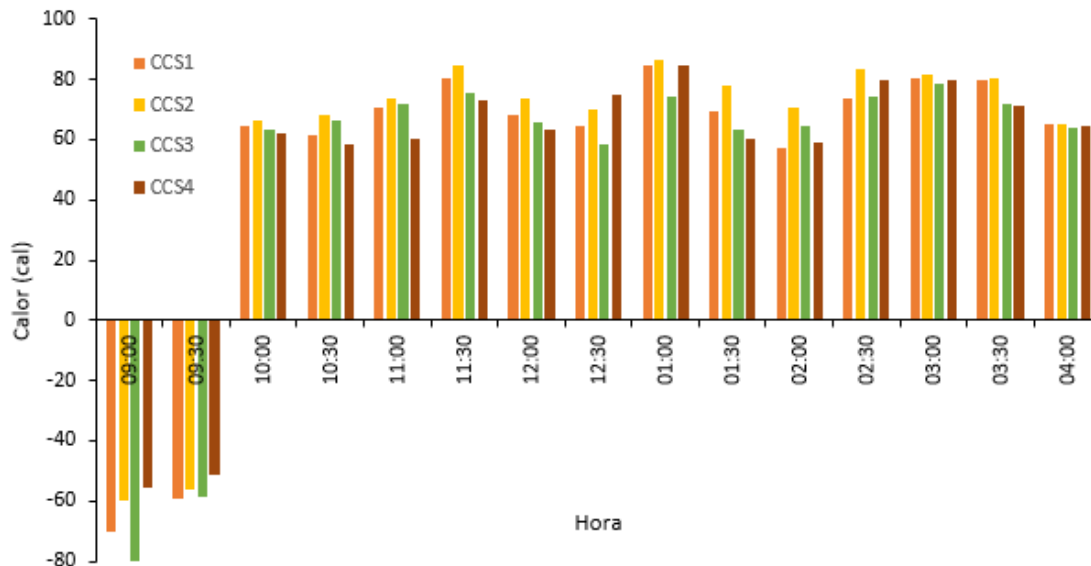
Respecto al Nitrógeno, en las composteras CCS, en promedio se obtuvo 3.1%, y en las composteras SCS fue 2.7%, inferior a las composteras CCS, debido a la salida de lixiviado que se observó en campo. y a su vez cumplen con la normativa chilena. Por otro lado, los valores de P y K, presentan valores similares, con un promedio de 1.2 % de P y K con 3.9% en las composteras CCS; 1 % de P y 3.1 % de K en las composteras SCS. Aunque no hubo diferencia estadísticamente significativa entre los tipos de composteras (CCS y SCS), la Relación de C/N en las composteras CCS y SCS estuvieron dentro del rango de 10–25, el cual indica la Normativa chilena.

3.5. Determinación de la transferencia de calor del sistema de calentamiento solar en la compostera

Durante el funcionamiento del sistema se presentó pérdidas y ganancias de calor. En la **Figura 9** se observa que desde las 9:00 a 9:30 de la mañana hay pérdidas de calor en las cuatro composteras: CCS3 con -79.9 cal seguido CCS1 con -70.2 cal, CCS2 con -60 cal y finalmente la CCS4 con -55.3 cal. Esto porque la temperatura de agua durante la noche disminuye gradualmente, afectando el agua de los colectores solares, que durante el inicio del sistema ingresa a las placas rectangulares de aluminio, provocando un enfriamiento y pérdida de calor en las composteras.

Figura 9

Gradiente de pérdidas y ganancias de calor en el sistema con calentamiento solar



Sin embargo, a partir de las 10:00 de la mañana el sistema presenta ganancias de calor, principalmente en la compostera CCS2 y CCS1 con 86.5 y 84.4 cal, seguido por CCS4 con 80 cal, CCS3 con 78.5 cal como máxima ganancia de calor a las 1:00 y 3:00 de la tarde.

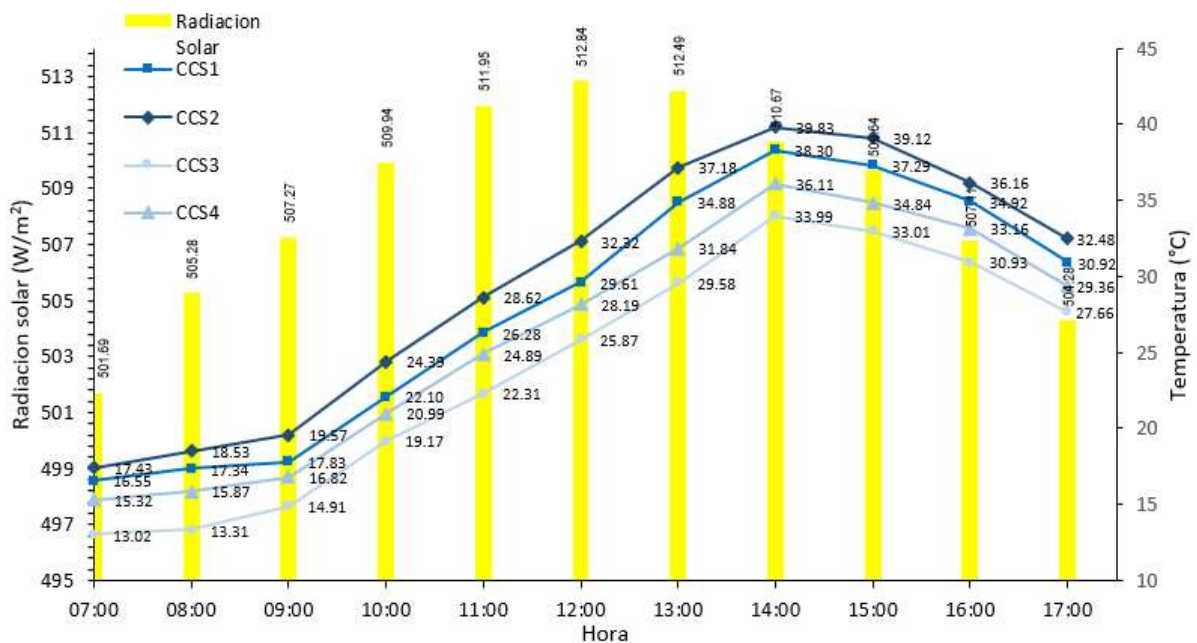
3.6. Comportamiento de la radiación

El rendimiento de la radiación solar cumple un rol importante en el aporte de temperatura del agua, de acuerdo con los resultados entre 12:00 pm se pudo contrastar que el aumento radiación es 512.84 W/m² (Fig. 10).

En cuanto a los resultados alcanzados en la temperatura de los colectores, se muestra que a las 2:00 pm, el promedio más alto es 39.83°C en el colector 2, dado que la transferencia de calor no es instantánea y la temperatura de agua aumenta gradualmente durante la tarde. Mientras el promedio más bajo es de 33.99 °C, lo que puede explicarse en función de la posición donde se encontraba instalada el CCS3, ya que en las mañanas la radiación no llegaba de manera directa.

Figura 10

Comportamiento de la radiación solar y su influencia en los colectores solares



4. DISCUSIONES

La temperatura es un índice muy vital a controlar durante el proceso de desarrollo del compost, ya que afecta el metabolismo, interacción microbiano y la eficiencia, lo que se refleja en la degradación orgánica Castro et al. (2016) y He et al. (2022). Si bien es cierto no se logra alcanzar temperaturas sobre los 40.5 °C en la fase termofílica en las composteras CCS, Awasthi et al. (2020); Hu et al. (2020) y Vargas et al. (2019) obtuvieron datos superiores a las 55°C, esto debido, principalmente, a las condiciones de clima y los

tratamientos aplicados durante el proceso de compostaje. Además, temperaturas superior a los 65 °C reducen muchas formas de microorganismos entre ellos los microorganismos de interés, limitando la velocidad de su descomposición (Sayara et al. 2020). El consorcio microbiano responsable por la degradación de la materia orgánica en el compostaje está conformado de bacterias ácido lácticas, fotosintéticas, filamentosas, levaduras y actinomicetos gram-positivos (Zhao et al. 2022).

Temperaturas bajas poseen un impacto negativo en el desarrollo del compost Henry et al. (2020) y Jia et al. (2021) y se observó ese efecto en las composteras SCS. Cuando la temperatura ambiental y del compost es inferior a 20 °C, el crecimiento microbiano y el metabolismo se ralentizan o incluso se detienen, creando una fase de latencia a causa de la falta de actividad microbiana B. Henry et al., (2020) y Jia et al., (2021), lo que favorece el impacto negativo de patógenos, semillas de malas hierbas y larvas de mosca. (Niwagaba et al., 2009).

Es de gran importancia diseñar el sistema con colectores solares expuesto directamente a los rayos solares, como sugiere Ravikiran et al. (2023), el cual empleó sensores en un panel solar que permitieron seguir a la dirección del sol, aprovechando la energía solar en su totalidad. Los colectores de las composteras CCS1 Y CCS3, en este estudio, no recibieron radiación solar directa a causa de la posición en la que se encontraban, notándose los efectos en su desempeño.

En cuanto al comportamiento del pH, durante la primera fase de compostaje, se observó un descenso en los valores registrados en las composteras CCS y SCS a causa de la producción excesiva de ácidos orgánicos (Cao et al., 2022) este comportamiento también fue observado por otros autores Sundberg et al., (2004) y Mo et al., (2023). Sin embargo, es muy importante superar rápidamente la fase de pH bajo y garantizar que el proceso de compostaje se realice a un pH neutro o alcalino (Sundberg et al., 2013), caso contrario, se sugiere la aplicación de cal para estabilizar el pH hasta valores neutros (Sasaki et al. 2003). Los datos de pH altos registrados en las composteras CCS, según Castrillón et al. (2006), se atribuye a la mineralización de proteínas, aminoácidos y péptidos produciendo amoníaco.

La humedad es un aspecto clave para un correcto compostaje, permitiendo una mayor eficiencia y un menor impacto ambiental (Moncks et al., 2022), el contenido de humedad favorable para la descomposición biológica suele estar entre el 50 y el 70% Richard et al., (2002) y Liang et al. (2003). En las composteras CCS y SCS durante la fase inicial la humedad fue superior a los 70% a causa de los residuos orgánicos, provocando la descarga de agua libre como lixiviado, que contiene una mayor cantidad de nitrógeno y fósforo, generando la pérdida de nutrientes (Li et al., 2021). Esto se observó en los 2 tratamientos sin embargo se presenció una salida de lixiviados en mayor porcentaje en las composteras SCS. Además, según Wei et al., (2014) un contenido de humedad excesivamente alto reduce la porosidad del compost debido a la matriz fácilmente comprimida, lo que inhibe la transferencia de masa de oxígeno y anoxia la pila, lo que resulta en una desaceleración de la descomposición y un aumento de la emisión de olores

Con respecto a las características químicas del compostaje, la conductividad eléctrica obtenida estuvo entre un rango de 10.2 a 13.5 dS/m , superando la normativa chilena, este aumento de CE es posiblemente causa de la presencia de sales. Lin et al.(2020) afirman que el valor de CE puede ser alto a causa de la mineralización de la materia orgánica y disolución de ácidos orgánicos, pero durante sus experimentos mantuvieron los valores entre 5.5 a 6.5 dS/m. Los valores de N estuvieron entre 2.1 y 3.7 % y, según Chen et al. (2014), la pérdida de N es muy común por la volatilización de amonio y la salida de lixiviados en el compostaje. Apaza et al. (2017) obtuvieron 2.64 % de N, lo cual es muy semejante a porcentaje de N obtenido en esta investigación. Con respecto al fósforo y potasio, Apaza et al. (2017); Portilla (2022) obtuvieron resultados muy similares, determinando 2.54 % y 0.58 % de P; 1.06 % y 0.54 % de K, respectivamente, siendo apenas el valor de K mayor en la investigación. Este aumento de nutrientes durante el compostaje podría ser causado, predominantemente, por la gran pérdida de carbono durante la descomposición continua de la materia orgánica, y la actividad de los microorganismos también puede contribuir a la acumulación de nutrientes (Jamaludin et al., 2017). Además, la relación C/N, según la conclusión de Chatterjee et al., (2013), debe estar en torno de 12-18. Inicialmente la relación C/N fue 30:1 en las 8 composteras y durante el desarrollo del compost iba disminuyendo. Esto porque al haber una reducción la relación C:N se genera un exceso de nitrógeno disponible y, por lo tanto, mayor pérdida vía emisión de amoníaco (Pagans et al., 2006).

En cuanto al comportamiento de la radiación se alcanzó 512.84 W/m² y de acuerdo con Oviedo (2006) las horas de mayor radiación solar se dan a partir de las 10:00 horas y el pico de radiación es entre 11:30 y 12:30 horas. Sin embargo, en la investigación la temperatura más alta en el fluido caloportador se registró a las 14:00 horas debido a que la transferencia de calor es lenta. Además, según Çomakli et al. (2012) el sistema solar de calentamiento de agua es el método más popular y económico para beneficiarse de la energía solar con mantenimiento de bajo costo. A su vez el rendimiento de los colectores depende de los siguientes factores: 1) radiación solar, 2) temperatura ambiental, 3) temperatura del agua entrada, 4) velocidad del viento y 5) el caudal de circulación. (Navntoft y Cristóbal 2019).

5. CONCLUSIÓN

El sistema con calentamiento solar, a través de colectores solares, fue eficiente en el proceso de elaboración de compost, obteniendo del producto final en 45 días. Sin embargo, a comparación del compost sin calentamiento solar expuesto en la intemperie se obtuvo en 60 días. Por ello se concluye que el sistema tiene un 75 % de eficacia en la elaboración de abonos orgánicos (compost) en zonas altoandinas. La calidad del compost cumple con la normativa estándar utilizada.

Los colectores solares del sistema fueron eficientes en el incremento el calor dentro del sistema alcanzando temperaturas entre 33.99 °C-39.83 °C y ganancias de calor de entre 78.5 – 86.5 cal. Además, se demostró que el CCS2 y CCS1 captan mayor radiación a causa del enrollamiento concéntrico del colector solar.

REFERENCIAS

- Abellan, J., y Palacios, J. (2015). Manual De Compostaje. *Ministerio De Medio Ambiente Y Medio Rural Y Marino*, 2, 11-24.
- Apaza, E., Mamani, F., y Sainz, H. (2017). Sistema de compostaje para el tratamiento de residuos de hoja de coca con la incorporación de tres activadores biológicos , en el centro experimental de Kallutaca. *Selva Andina Biosphere*, 3(2), 75-85.
- Awasthi, M. K., Duan, Y., Awasthi, S. K., Liu, T., Chen, H., Pandey, A., Zhang, Z., y Taherzadeh, M. J. (2020). Emerging applications of biochar: Improving pig manure composting and attenuation of heavy metal mobility in mature compost. *Journal of Hazardous Materials*, 389(January), 122116.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122116>
- Blas, L. P. (2020). *Manejo de residuos sólidos domiciliarios en la gestión municipal en la Comunidad de Tanta, Lima, 2020*. 116.
[https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4068/M-ECOL-T030_07796524_M_BLAS MONTENEGRO LUZ PETRONILA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4068/M-ECOL-T030_07796524_M_BLAS%20MONTENEGRO%20LUZ%20PETRONILA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bohórquez, A. (2013). *Evaluación de la calidad del compost producido a partir de la molienda de caña de azúcar en la compañía Riopaila Castilla, Valle del Cauca, Colombia* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/34519>
- Calderon, L., y Morillo, G. (2019). *Análisis de la influencia de los tratamientos térmicos (recocido y revenido), en las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 7075-t651 mediante ensayos de tracción*. Universidad Politecnica Saleciana Sede Quito.
- Cao, Y., Gu, J., Zhang, J., Chen, B., Xu, Y., Liu, D., Hu, H., y Huang, H. (2022). Reduced pH is the primary factor promoting humic acid formation during hyperthermophilic pretreatment composting. *Journal of Environmental Management*, 316, 115215.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.115215>
- Castañeda Torres, S., y Rodriguez Miranda, J. P. (2017). Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia. *Universidad y Salud*, 19(1), 116. <https://doi.org/10.22267/rus.171901.75>
- Castrillón, O., Bedoya, O., y Montoya, D. (2006). Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración. *Producción más Limpia*, 1-2(Julio), 1-12.

- Castro, G., Daza, M. C., y Marmolejo, L. F. (2016). Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de manejo de residuos sólidos (PMRS) del municipio de Versalles, Valle del Cauca. *Gestión y Ambiente*, 19(1), 179-191. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169446378012>
- Chatterjee, N., Flury, M., Hinman, C., y Cogger, C. G. (2013). *Chemical and Physical Characteristics of Compost Leachates*. <http://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/819.1.pdf>
- Chen, Y., Yu, F., Liang, S., Wang, Z., Liu, Z., y Xiong, Y. (2014). Utilization of solar energy in sewage sludge composting: Fertilizer effect and application. *Waste Management*, 34(11), 2014-2021. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.029>
- Çomaklı, K., Çakır, U., Kaya, M., y 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>
- Gabriel, C. A. M. (2019). “Evaluación de las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 20234 de uso comercial expuesta a fragilización por hidrógeno”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- He, J., Zhu, N., Xu, Y., Wang, L., Zheng, J., y Li, X. (2022). The microbial mechanisms of enhanced humification by inoculation with *Phanerochaete chrysosporium* and *Trichoderma longibrachiatum* during biogas residues composting. *Bioresour Technol*, 351, 126973. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126973>
- Henry, A., Maung, C. E. H., y Kim, K. Y. (2020). Metagenomic analysis reveals enhanced biodiversity and composting efficiency of lignocellulosic waste by thermoacidophilic effective microorganism (tEM). *Journal of Environmental Management*, 276(March). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111252>
- Hu, J., Yang, Z., Huang, Z., Li, H., Wu, Z., Zhang, X., Qin, X., Li, C., Ruan, M., Zhou, K., Wu, X., Zhang, Y., Xiang, Y., y Huang, J. (2020). Co-composting of sewage sludge and *Phragmites australis* using different insulating strategies. *Waste Management*, 108, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.012>
- Jamaludin, S. N., Abdul Kadir, A., y Azhari, N. W. (2017). Study on NPK Performance in Food Waste Composting by Using Agricultural Fermentation. *MATEC Web of Conferences*, 103, 8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710305015>
- Jia, X., Qin, X., Tian, X., Zhao, Y., Yang, T., y Huang, J. (2021). Inoculating with the microbial agents to start up the aerobic composting of mushroom residue and wood chips at low temperature. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105294. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105294>
- Li, M. X., He, X. S., Tang, J., Li, X., Zhao, R., Tao, Y. Q., Wang, C., y Qiu, Z. P. (2021). Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting. *Chemosphere*, 264(111), 128549. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128549>
- Liang, C., Das, K. C., y McClendon, R. W. (2003). The influence of temperature and moisture

contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology*, 86(2), 131-137. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00153-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00153-0)

Lin, H., Ye, J., Sun, W., Yu, Q., Wang, Q., Zou, P., Chen, Z., Ma, J., Wang, F., y Ma, J. (2020). Solar composting greenhouse for organic waste treatment in fed-batch mode: Physicochemical and microbiological dynamics. *Waste Management*, 113, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.025>

Medina, J., y Paricaguan, B. (2013). Caracterización Química de Tres Residuos Orgánicos Provenientes Del Hipódromo Nacional de Valencia. *Ingeniería y Sociedad UC*, 8(1), 61-69. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/IngenieriaYSociedad/a8n1/art05.pdf>

MINAM. (2013). *Línea base ambiental de la cuenca del lago Titicaca*. 85. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Linea-Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca.pdf>

Mo, J., Xin, L., Zhao, C., Qin, Y., Nan, Q., Mei, Q., y Wu, W. (2023). Reducing nitrogen loss during kitchen waste composting using a bioaugmented mechanical process with low pH and enhanced ammonia assimilation. *Bioresource Technology*, 372, 128664. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2023.128664>

Moncks, P. C. S., Corrêa, K., L. C. Guidoni, L., Moncks, R. B., Corrêa, L. B., Lucia, T., Araujo, R. M., Yamin, A. C., y Marques, F. S. (2022). Moisture content monitoring in industrial-scale composting systems using low-cost sensor-based machine learning techniques. *Bioresource Technology*, 359, 127456. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2022.127456>

Moreno, C. C. (2017). *Radiación Térmica: Construyendo la identidad entre luz y calor*. Universidad Pedagógica Nacional de Colombia.

Navntoft, C., y Cristóbal, M. P. (2019). Introducción a la energía solar térmica. En <https://www.Argentina.Gob.Arwww.Argentina.Gob.Ar>.

Niwagaba, C., Nalubega, M., Vinnerås, B., Sundberg, C., y Jönsson, H. (2009). Bench-scale composting of source-separated human faeces for sanitation. *Waste Management*, 29(2), 585-589. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.022>

Ortiz Perez, D. A., y Gonzáles Chavez, T. P. (2015). *Tratamiento de los residuos sólidos orgánicos del mercado central Virgen de Fátima Huaraz- Ancash, optimizando el proceso de compostaje* [Universidad Nacional «Santiago Antunes de Mayolo»]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1354>

Oviedo, M. A. C. (2006). *Validación del Método SODIS como alternativa para la Desinfección del Agua en la Ciudad de Catacamas, Departamento de Olancho*.

Pagans, E., Barrena, R., Font, X., y Sánchez, A. (2006). Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. *Chemosphere*, 62(9), 1534-1542. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.06.044>

Portilla, R. (2022). *Microorganismos eficientes en la producción de compost a partir de residuos*

orgánicos en Chuquibambilla - Grau [Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1102>

- Quispe Huamán, L., y Sotomayor Alzamora, G. (2022). Determinación y análisis temporal de la radiación solar global en el Altiplano de Puno. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 30(1), 69-81. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052022000100069>
- Ravikiran, C., Nagaraju, S., Akhil, D., Sivaramakrishna, V., y Sundeep, M. (2023). Design of solar array with sun position tracking system employing refrigerant. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.05.032>
- Richard, T. L., (Bert) Hamelers, H. V. M., Veeken, A., y Silva, T. (2002). Moisture relationships in composting processes. *Compost Science and Utilization*, 10(4), 286-302. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2002.10702093>
- Rodrigo, E., y Larico, A. (2018). Determinación de la energía solar para el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca región Puno. *Revista De Investigaciones De La Escuela De Posgrado*, 7(051), 12. <https://doi.org/10.26788/riepg.2018.1.66>
- Roig, A., Paredes, C., y Bernal, M. P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Tecnología Bioambiental*, 78(Julio), 301-308. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00031-1)
- Sasaki, N., Suehara, K. I., Kohda, J., Nakano, Y., y Yano, T. (2003). Effects of C/N ratio and pH of raw materials on oil degradation efficiency in a compost fermentation process. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 96(1), 47-52. <https://doi.org/10.1263/jbb.96.47>
- Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F., y Sánchez, A. (2020). Recycling of organic wastes through composting: Process performance and compost application in agriculture. En *Agronomy* (Vol. 10, Número 11). <https://doi.org/10.3390/agronomy10111838>
- SENAMHI. (2023). *Comportamiento de heladas y friajes a nivel nacional 2023*. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/2872>
- Sundberg, C., Smårs, S., y Jönsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresource Technology*, 95(2), 145-150. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.01.016>
- Sundberg, C., Yu, D., Franke-whittle, I., Kauppi, S., Smårs, S., Insam, H., Romantschuk, M., y Jönsson, H. (2013). Effects of pH and microbial composition on odour in food waste composting. *Waste Management*, 33(1), 204-211. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.017>
- Vargas, O., Trujillo, J., y Torres, M. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 23(2), 123-129. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092019000200123
- Vergara, S. E., y Tchobanoglous, G. (2012). Municipal solid waste and the environment: A global perspective. En *Annual Review of Environment and Resources* (Vol. 37).

<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-050511-122532>

Wan, X., Xia, T., Li, Y., Sun, Z., Liu, X., y Li, T. (2023). Study on a novel water heat accumulator below the north roof in Chinese solar greenhouse: System design. *Applied Thermal Engineering*, 234, 121316.

<https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2023.121316>

Wei, L., Shutao, W., Jin, Z., y Tong, X. (2014). Biochar influences the microbial community structure during tomato stalk composting with chicken manure. *Bioresource Technology*, 154, 148-154. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.022>

Zhang, L., y Sun, X. (2016). Improving green waste composting by addition of sugarcane bagasse and exhausted grape marc. *Bioresource Technology*, 218, 335-343.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.097>

Zhao, H., Li, S., Jiang, Y., Wang, D., Wang, H., y Dou, X. (2022). Independent and combined effects of antibiotic stress and EM microbial agent on the nitrogen and humus transformation and bacterial community successions during the chicken manure composting. *Bioresource Technology*, 354, 127237.

<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2022.127237>

ANEXOS

Anexo 1 Evidencia de la sumisión de artículo en una revista de prestigio



[RICA] Envío recibido

Claudio M. Amescua Garcia <rica@atmosfera.unam.mx>
Para: Juan Eduardo Vigo Rivera
Mar 03/10/2023 10:21

vigo.rivera:

Gracias por enviarnos su manuscrito "EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS A TRAVÉS DE UN SISTEMA CON COLECTORES SOLARES EN CONDICIONES ALTOANDINAS: Use of solar energy in the composting of urban organic solid waste using solar collectors in high andean conditions" 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/55119>
Nombre de usuario/o: jevr72

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Claudio M. Amescua Garcia

Anexo 2 Copia de resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente

"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

RESOLUCIÓN N° 0921-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 13 de setiembre de 2022

VISTO:

El expediente de **Sulema Callasi Choquepuma**, identificado(a) con Código Universitario N° 201712461 y **Yojan Jaime Llave Ciprian**, identificado(a) con Código Universitario N° 201711751, 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 aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Sulema Callasi Choquepuma** y **Yojan Jaime Llave Ciprian**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Aprovechamiento de la energía solar en la elaboración de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos en condiciones altoandinas" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 13 de setiembre de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Aprovechamiento de la energía solar en la elaboración de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos en condiciones altoandinas**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **MSc. Rose Adeline Callata Chura** y **Ing. Miguel Angel Salcedo Enriquez**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Erika Inés Acuña Salinas

Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Santiago Ramírez López

Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

CC:
-Interesado
Asesor
Dirección General de Investigación
Archivo

Anexo 3 Control y monitoreo del sistema con calentamiento solar



Anexo 4 Compost final de las composteras con y sin calentamiento solar

