

**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**

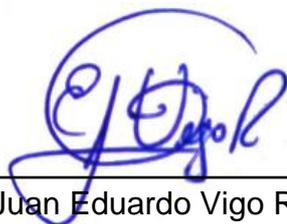
## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

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 Nayase Pari Mamani y los demás miembros: Mg Franklyn Elord Zapana

Yucra - Msc Leayda Abigail Tondori 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 altitudinales

del(los) bachiller(es): a) Sulema Gallari Chogquepuma  
 b) Yejan Jaime Slave Sepuan  
 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 Gallari Chogquepuma

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 Slave Sepuan

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]  
 Asesora  
[Firma]  
 Bachiller (a)

[Firma]  
 Miembro  
[Firma]  
 Bachiller (b)

[Firma]  
 Secretaria  
[Firma]  
 Miembro  
 Bachiller (c)

# **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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>) 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