

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de ingeniería ambiental



**Secado de lodos de aguas residuales municipales y su  
aplicación en el crecimiento de Lactuca sativa L**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autores:**

Henry Paul Castillo Lalangui  
Josué Ismael Rosales Lazo

**Asesor:**

Mtro: Carmelino Almestar Villegas

Tarapoto, abril del 2023

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo Mtro.Carmelino Almestar Villegas docente de la Facultad de ingeniería y arquitectura, Escuela Profesional de ingeniería ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Secado de lodos de aguas residuales municipales y su aplicación en el crecimiento de Lactuca sativa L., en el distrito de Tarapoto.”** del (los) autor (autores) Henry Paul Castillo Lalangui y Josué Ismael Rosales Lazo, tiene un índice de similitud de 19 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del o los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 14 días del mes de abril del año 2023



---

Carmelino Almestar Villegas

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 14 día(s) del mes de abril del año 2023, siendo las 08:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mg. Ricky Bray Saavedra Mego, el (la) secretario(a): Ing. Ericka Nayda Perales Domínguez y los demás miembros: Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo y el (la) asesor(a) Mtro. Carmelino Almaraz Villegas

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Secado de lodos de aguas residuales municipales y su aplicación en el crecimiento de Lactuca sativa L."

del(los) bachiller(es): a) Henry Paul Castillo Lalangui  
b) Josué Ismael Rosales Lazo  
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): Henri Paul Castillo Lalangui

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy bueno

Bachiller -(b): Josué Ismael Rosales Lazo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy bueno


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.

\_\_\_\_\_  
Presidente/a

  
\_\_\_\_\_  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Asesor/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Bachiller (a)

\_\_\_\_\_  
Bachiller (b)

\_\_\_\_\_  
Bachiller (c)

## RESUMEN

El propósito del estudio fue analizar la eficacia de la aplicación de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales en el crecimiento de *Lactuca sativa L.* en el distrito de Tarapoto. Para ello se tomó una muestra de lodo húmedo de 50 kg de las lagunas anaerobias. Asimismo, las dimensiones de las cajas fueron: 40 cm de largo por 30 cm de ancho y 30 cm de alto. Una de ellas se utilizó para deshidratar el lodo de la PTAR y la otra caja se utilizó para el establecimiento de las plántulas de lechuga *Lactuca sativa L.*, después de la germinación. El secado del lodo se realizó durante dos días mediante secado natural con la radiación solar. El lodo deshidratado presentó un alto contenido de materia orgánica, macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes; así como un bajo contenido de coliformes termotolerantes y metales pesados. Esto significa que los lodos deshidratados mediante lechos de secado pueden ser utilizados potencialmente como fertilizante orgánico en los cultivos agrícolas. Por otro lado, se encontró diferencia significativa (p-valor 0,042) de la altura de las plantas entre los tratamientos (tierra negra y lodo deshidratado). Mientras que, para la longitud de hoja no se encontró diferencia (p-valor 0,133) significativa entre los tratamientos, es decir con ambos abonos se obtuvo similar longitud de hoja.

**Palabras clave:** Fangos, lechuga, abonos orgánicos

## **ABSTRACT**

The purpose of the study was to analyze the effectiveness of the application of sludge from a municipal wastewater treatment plant on the growth of *Lactuca sativa* L. in the district of Tarapoto. For this, a 50 kg wet mud sample was taken from the anaerobic lagoons. Likewise, the dimensions of the boxes were: 40 cm long by 30 cm wide and 30 cm high. One of them was used to dehydrate the WWTP sludge and the other box was used for the establishment of *Lactuca sativa* L. lettuce seedlings, after germination. The drying of the mud was carried out during two four days by means of natural drying with solar radiation. The dehydrated sludge presented a high content of organic matter, macronutrients (N, P, K) and micronutrients; as well as a low content of thermotolerant coliforms and heavy metals. This means that sludge dewatered by drying beds can potentially be used as an organic fertilizer on agricultural crops. On the other hand, a significant difference (p-value 0.042) was found in the height of the plants between the treatments (black earth and dehydrated sludge). While, for leaf length, no significant difference (p-value 0.133) was found between the treatments, that is, with both fertilizers, similar leaf length was obtained.

**Keywords:** Sludge, lettuce, organic fertilizers

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen muchas tecnologías que ayudan a la descontaminación de las aguas residuales; como, por ejemplo, los sistemas de lodos activados. Sin embargo, estos sistemas no son aplicados correctamente dentro de una PTAR y en la remoción de materia orgánica no llegan a completarse adecuadamente, y en muchos casos, estas depuraciones resultan altamente contaminantes (Vega, 2012).

Los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas deben ser tratados antes de ser reutilizados o dispuestos en los rellenos sanitarios (MINAM, 2009).

Con el tiempo, debido al crecimiento poblacional, estos lodos fueron aumentando considerablemente. El volumen de lodos que se produce depende principalmente de los componentes fisicoquímicos y biológicos del agua residual u pozos sépticos del grado de tratamiento previo (Carabalí et al., 2016).

Según Zabotto et al. (2019) los lodos residuales estabilizados están compuestos por nutrientes que proporcionan múltiples beneficios para el desarrollo de las plantas; y que, en su mayoría, se las encuentra en estado orgánico. De la misma forma tiene un gran impacto en la mejora de los compuestos químicos y biológicos en el suelo, logrando así incrementar el valor nutricional de las plantas.

El secado de lodos de aguas residuales se define como una operación unitaria que consiste en la disminución del contenido de agua de un material, con la finalidad de estabilizarlo (Pliego-Bravo et al., 2014)

Asimismo, los lodos deshidratados se pueden utilizar como abonos orgánicos para el crecimiento de *Lactuca sativa* L. Martínez & Garcés (2010), que la velocidad de crecimiento de las plantas es un indicador de la biomasa.

El propósito del estudio fue analizar la eficiencia de la aplicación de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales en el crecimiento de *Lactuca sativa* L. en el distrito de Tarapoto.

## PARTE EXPERIMENTAL

### *Diseño metodológico*

Para el desarrollo del estudio, se utilizó un diseño experimental, el cual se caracteriza porque busca las causas de un fenómeno a través del análisis de las diferencias significativas entre los tratamientos. Para desarrollar el presente artículo se obtuvo información de bases de datos como: Municipalidad de Sauce, Biblioteca del CONCYTEC, Renati, EBSCO y SCIELO.

### *Diseño muestral*

La muestra se obtuvo de la PTAR municipal del distrito de Sauce, mientras el ensayo se hizo en la ciudad de Tarapoto con coordenadas X: 9321314 Y: 629347. Así mismo se tomó una muestra de lodo húmedo de 50 kg de las lagunas anaerobias. El distrito de Sauce cuenta con 7263 habitantes, sabiendo que estas generan una cantidad de 500 m<sup>3</sup> de aguas residuales al día, considerando también el aporte de las empresas turísticas y micro empresas establecidas en dicho distrito.

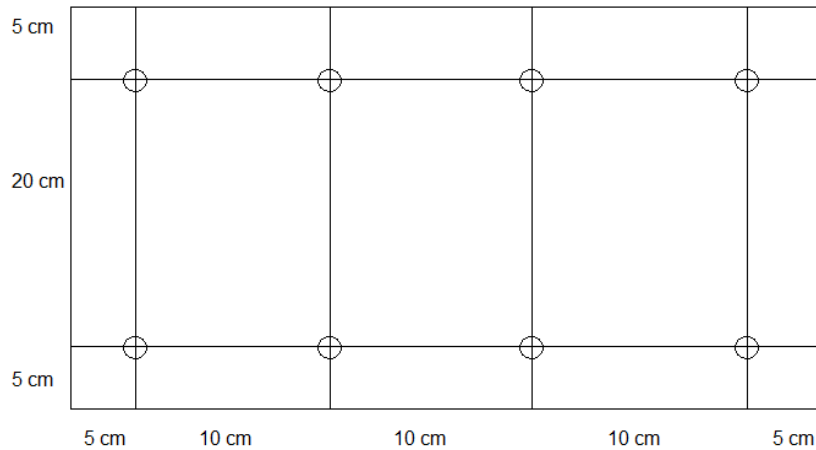
### *Diseño y construcción de las cajas*

Las cajas se construyeron de madera huairuro, teniendo como referencia las dimensiones de los lechos de secado las cuales fueron: 40 cm de largo por 30 cm de ancho y 30 cm de alto. Una de las cajas se utilizó para deshidratar el lodo de la PTAR y la otra caja se utilizó para el establecimiento de las plántulas de lechuga *Lactuca sativa L.*, después de la germinación. El secado del lodo se realizó durante cuatro días mediante secado natural con la radiación solar.

### *Plantación de *Lactuca sativa L.**

Primero se hizo germinar la lechuga en recipientes por un tiempo de 7 días en vasos de polietileno de alta densidad. Luego se trasplantaron a las cajas de madera (una con tierra negra y otra con lodo deshidratado). Las plántulas se establecieron en dos filas con una distancia de 20 cm entre filas y 10 cm entre plántulas; cada círculo representa una planta de lechuga (ver figura 1). Asimismo, se midió la altura de las plantas y la longitud de las hojas al cabo de 35 días. Las mediciones de longitud se realizaron con una regla milimetrada.

Figura 1. Establecimiento de las plántulas de *L. sativa*



### *Análisis estadístico*

El análisis de los datos se realizó en el paquete estadístico Excel. El procedimiento estadístico que se utilizó fue la prueba T para dos muestras independientes con 95% de confianza.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### *Calidad del lodo deshidratado mediante lechos de secado*

El lodo deshidratado presentó un alto contenido de materia orgánica, macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes; así como un bajo contenido de coliformes termotolerantes y metales pesados (tabla 1). Esto significa que los lodos deshidratados mediante lechos de secado pueden ser utilizados potencialmente como fertilizante orgánico en los cultivos agrícolas.

Tabla 1. Análisis del lodo deshidratado

Parámetro	Unidad	Valor
Materia orgánica	%	8,8
Nitrógeno	%	0,73
Coliformes termotolerantes	NMP/100 g	<18
Humedad	%	58,5
pH	-	7,5
Boro	mg/kg	1,36
Calcio	mg/kg	4491,1
Cobre	mg/kg	9,8
Fósforo	mg/kg	633,01
Hierro	mg/kg	8494,04
Magnesio	mg/kg	977,11
Manganeso	mg/kg	62,4

Molibdeno	mg/kg	6,25
Sodio	mg/kg	186,91
Zinc	mg/kg	44,26
Cadmio	mg/kg	1,33
Mercurio	mg/kg	<0,04
Plomo	mg/kg	<0,20

*Efecto del lodo deshidratado sobre la altura planta*

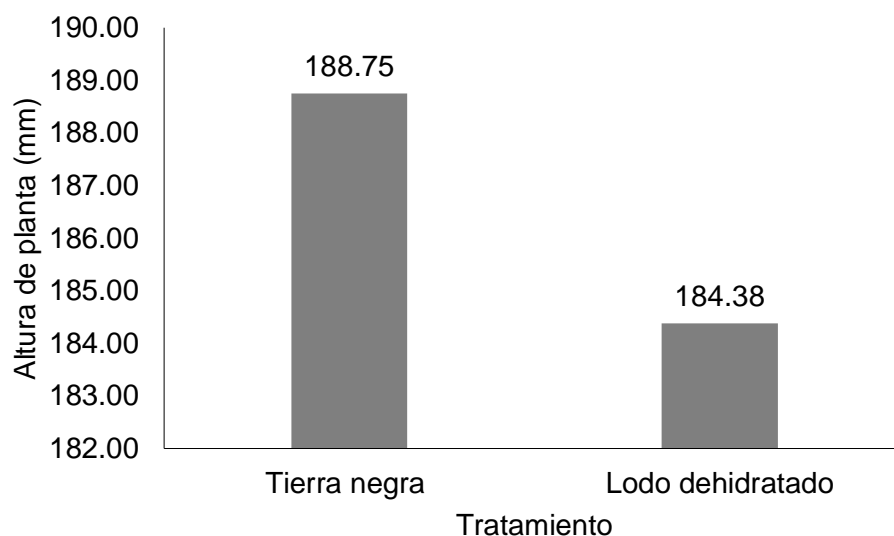
Al realizar la prueba T se encontró un p-valor de 0,042; es decir hay diferencia significativa de la altura de las plantas entre los tratamientos (tierra negra y lodo deshidratado).

Tabla 2. Prueba T de la altura de las plantas

Estadístico	Tierra negra	Lodo deshidratado
Media	188,75	184,38
Varianza	26,79	17,41
Observaciones	8	8
Grados de libertad		14
Valor T		1,86
p-valor		0,042

Asimismo, en la figura 2 se muestra el gráfico de barras de las medias de los tratamientos. Se encontró una mayor altura de planta con la tierra negra.

Figura 2. Gráfico de barras de las medias



*Efecto del lodo deshidratado sobre la longitud de hoja*

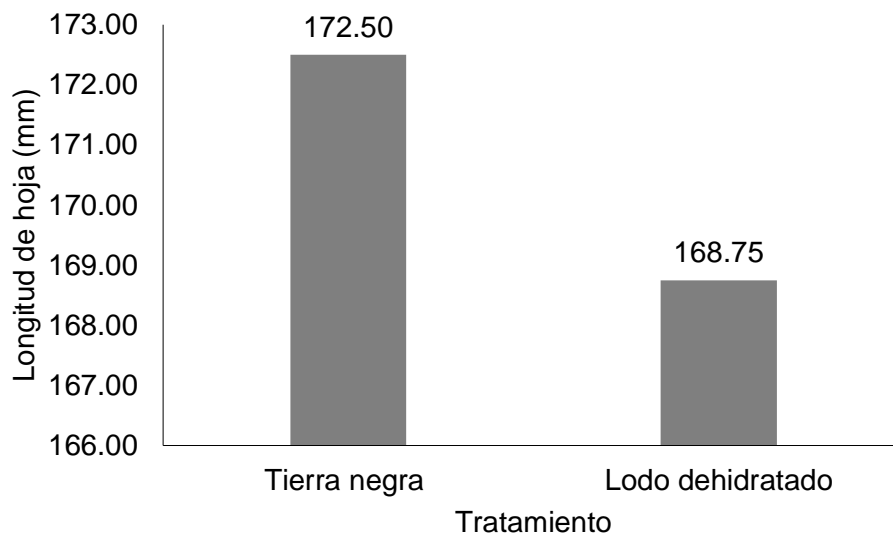
Al realizar la prueba T se encontró un p-valor de 0,133; es decir no existe diferencia significativa de la longitud de hoja de las plantas entre los tratamientos (tierra negra y lodo deshidratado).

Tabla 3. Prueba T de la longitud de hoja

Estadístico	Tierra negra	Lodo deshidratado
Media	172,50	168,75
Varianza	50	33,93
Observaciones	8	8
Grados de libertad		14
Valor T		1,16
p-valor		0,133

Asimismo, en la figura 3 se muestra el gráfico de barras de las medias de los tratamientos. Para ambos tratamientos, la longitud de hoja fue similar.

Figura 3. Gráfico de barras de las medias



## Discusión

El lodo deshidratado presentó un alto contenido de materia orgánica, macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes; así como un bajo contenido de coliformes termotolerantes y metales pesados. Después del secado de lodos en forma natural con lechos de arena, se obtienen porcentajes adecuados de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo; así como un bajo contenido de metales pesados (Castellanos-Rozo et al., 2018). Los resultados que se encontraron en el presente estudio corroboran lo encontrado por Marquina & Martínez (2016) que obtuvieron un abono orgánico a partir de lodos residuales, con resultados relevantes de los parámetros pH, N, K<sub>2</sub>O.

Por otro lado, se encontró diferencia significativa de la altura de las plantas entre los tratamientos (tierra negra y lodo deshidratado), este resultado está de acuerdo con Salcedo-Pérez et al. (2007), ya que sostienen que los lodos residuales y el compost de lodos de PTAR, incrementan el porcentaje y rendimiento de forraje en 18 y 22% respectivamente.

Asimismo, con respecto a la longitud de hoja no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos (tierra negra y lodo deshidratado); es decir con ambos abonos se obtuvo similar longitud de hoja. Esto significa que los contenidos de macro y micronutrientes tanto del humus como del lodo deshidratado son similares convirtiendo de este modo al abono obtenido mediante el secado solar de lodos de PTAR en una alternativa para reutilizarlos como mejoradores de suelo en la agricultura.

El contenido de metales pesados de los lodos deshidratados fue bajo. En un estudio realizado por Espinoza & Santos (2021) se encontró presencia de cadmio en niveles bajos, lo cual significa que las aguas residuales se contaminan con este metal pesado al entrar en contacto con residuos del tipo RAEE. Debido a su bajo contenido bajo en metales pesados, los autores recomiendan su uso como abono orgánico.

Pese a que el contenido de coliformes termotolerantes del lodo deshidratado fue bajo, se deberían analizar otros parámetros como E. coli y huevos de helmintos, ya que Cuisano et al., (2018) encontraron la presencia de estos parámetros microbiológicos en plantas de *Lactuca sativa* L., fertilizadas con lodo residual proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales.

### **CONCLUSIÓN**

El lodo deshidratado presentó un alto contenido de materia orgánica, macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes; así como un bajo contenido de coliformes termotolerantes y metales pesados. Esto significa que los lodos deshidratados mediante lechos de secado pueden ser utilizados potencialmente como fertilizante orgánico en los cultivos agrícolas. Por otro lado, se encontró diferencia significativa de la altura de las plantas entre los tratamientos (tierra negra y lodo deshidratado). Mientras que, para la longitud de hoja no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, es decir con ambos abonos se obtuvo similar longitud de hoja.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carabalí, M., Lote, M., & Echeverry, L. (2016). Evaluación de los parámetros físicoquímicos en un reactor discontinuo de lodos activados para el tratamiento de aguas con metanol. *Revista Ingeniería*, 22(1), 98–110.
- Castellanos-Rozo, J., Merchán, N. A., Galvis, J., & Manjarres, E. H. (2018). Deshidratación de los lodos en lecho de secado y su influencia sobre la actividad biológica de los microorganismos. *Gestión y Ambiente*, 21(2), 242–251.  
<https://doi.org/10.15446/ga.v21n2.75876>
- Cuisano, P. L., Marca, H. M., & Zapata, J. C. (2018). *Contaminación del cultivo Lactuca sativa (Var. White boston) con Escherichia coli y huevos de helminto, abonado con lodo residual de planta de tratamiento Totorá- Ayacucho* (p. 86). p. 86. Retrieved from [http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/3523/Cuisana%2C Marca y Zapata\\_tesis\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/3523/Cuisana%2C%20Marca%20y%20Zapata_tesis_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Espinoza, J. J., & Santos, E. G. (2021). Innovación en la gestión de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico en Lima-Perú. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(48), 205–215. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21773>
- Marquina, L., & Martínez, J. (2016). *Obtención de abonos orgánicos por medio de las lombrices "Eisenia Foetida" a partir de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo*. Retrieved from <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1745>
- Martínez, F., & Garcés, G. V. (2010). Crecimiento y producción de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. romana) bajo diferentes niveles de potasio. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(2), 185–198.
- MINAM. (2009). *Tratamiento y reúso de aguas residuales* (p. 179). p. 179. Retrieved from <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>
- Pliego-Bravo, Y. S., García-Reyes, M. E., Urrea-García, G. R., & Vergara-Hernández, M. (2014). Thermochemical process simulation suggested for sewage sludge application as source of alternative energy. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(2), 619–629.
- Salcedo-Pérez, E., Vázquez-Alarcón, A., & Krishnamurthy, L. (2007). *En Suelos Volcánicos De Uso Agrícola Y Forestal En*. 32, 115–120.

Vega, M. (2012). Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Refugia Centro de La Conservación de La Ecobiodiversidad, A.C.*, pp. 1–122. Retrieved from [http://indesol.gob.mx/cedoc/pdf/III. Desarrollo Social/Agua y Saneamiento/Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.pdf](http://indesol.gob.mx/cedoc/pdf/III.Desarrollo%20Social/Agua%20y%20Saneamiento/Eficiencia%20en%20Plantas%20de%20Tratamiento%20de%20Aguas%20Residuales.pdf)

Zabotto, A., Zuñiga, E., Ruiz, L., Broetto, F., Reis, A., & Kanashiro, S. (2019). Uso de lodos residuales como **fertilizante** en eucalipto - diagnóstico de investigación Use of residual sludge as a fertilizer on eucalyptus - research diagnosis. *Idesia*, 37(2), 103–108.



# REVISTA de la SOCIEDAD QUÍMICA DEL PERÚ

EVIDENCIA DE SUMISIÓN DEL ARTÍCULO

SECADO DE LODOS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y SU APLICACIÓN EN EL CRECIMIENTO DE LACTUCA SATIVA L.

**Autores:** Henry Paul Castillo Lalangui, Josué Ismael Rosales Lazo

**Asesor:** Mtro. Carmelino Almaraz Villegas

Link de la página web: <http://revistas.sqperu.org.pe/index.php/revistasqperu>

Indexada en:



Sciendo Analytics

Resumida/Indizada

Latindex

Sciendo Perú



“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

RESOLUCIÓN N° 0033-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 15 de febrero de 2022

**VISTO:**

El expediente de **Henri Paul Castillo Lalangui**, identificado(a) con Código Universitario N° 201612677 y **Josué Ismael Rosales Lazo**, identificado(a) con Código Universitario N° 201610856, 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 **Henri Paul Castillo Lalangui** y **Josué Ismael Rosales Lazo**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Secado de lodos de aguas residuales municipales y su aplicación en el crecimiento de Lactuca Sativa L., en el distrito de Tarapoto, 2022" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

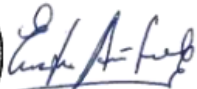
Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 15 de febrero de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Secado de lodos de aguas residuales municipales y su aplicación en el crecimiento de Lactuca Sativa L., en el distrito de Tarapoto, 2022**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar al **Mtro. Carmelino Almestar Villegas** como ASESOR, para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mtra. Kátherin Jina Luz Pinedo Gómez** y **Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
**DECANA**



  
Dr. Santiago Ramírez López  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

CC:  
-Interesado  
Asesor  
Dirección General de Investigación  
Archivo