TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"Producción de compost a partir de la dinámica poblacional del "repollito de agua" (*Pistia stratiotes*) del Humedal Santa Rosa (Perú)"

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

Martin Stefano Muñoz Castro (0000-0002-6990-2980)

Kaory Naomi Tinoco Ccancce (0000-0003-4718-0857)

Asesor:

Hector Alonso Aponte Ubillus (0000-0001-5249-9534)

Co – Asesor:

Jose Antonio Arenas Ibarra (0000-0003-1744-1980)

Lima – Perú

2024

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 10 de junio del 2024.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Yaneth Charito Vasquez Olivera
Miembro: Mg. Orlando Advíncula Zeballos
Miembro: Mg. Jennifer Villavicencio Huamani

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

PRODUCCIÓN DE COMPOST A PARTIR DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DEL "REPOLLITO DE AGUA" (*Pistia stratiotes*) DEL HUMEDAL SANTA ROSA (PERÚ)

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Martin Muñoz Castro**
- **Kaory Naomi Tinoco Ccancce**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Martin Muñoz Castro & Kaory Naomi Tinoco Ccancce			Nota (en letras): 18 (DIECIOCHO)
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

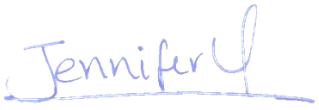
Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Mg. Yaneth Charito Vasquez Olivera
Presidente



Mg. Orlando Advíncula Zeballos
Miembro 1



Mg. Jennifer Villavicencio Huamani
Miembro 2



Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús
Asesor

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS[1]

Lima, 13 de Julio del 2024

Señor,
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Yo: **Martin Stefano Muñoz Castro** y **Kaory Naomi Tinoco Ccancce**, **egresados** de la **carrera de Ingeniería Ambiental** de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor de tesis **Héctor Alonso Aponte Ubillús**, declaramos que este **informe final de tesis** titulado: **Producción de Compost a partir de la Dinámica Poblacional del "Repollito De Agua" *(Pistia stratiotes*) del Humedal Santa Rosa (Perú),** sustentado para obtener el **título de Ingeniero Ambiental** es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi (nuestra) investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,

Martin Stefano Muñoz Castro
DNI: 75144347

Héctor Alonso Aponte Ubillús
DNI:42815994

Kaory Naomi Tinoco Ccancce
DNI: 76590446

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Producción de compost a partir de la dinámica poblacional del "Repollito de agua" (Pistia stratiotes) del humedal Santa Rosa (Perú)

Autores. Martin Muñoz Castro; Kaory Naomi Tinoco Ccancce

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2435676174).

Resultado de la evaluación. 4%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir citas, excluir bibliografía, excluir fuentes de menos de 12 palabras.



TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Abstract

One of the drivers of change affecting Peruvian coastal wetlands is the uncontrolled growth of invasive aquatic plants. This research aimed to model the biomass production of a *P. stratiotes* population (Santa Rosa Wetland in Chancay – Lima) and, from this, propose a compost and vermicompost production system. The biomass of *P. stratiotes* was recorded (October 2022 - February 2023) to obtain mathematical models that explain its evolution over time. Likewise, compost production systems were built using eight different traditional composting and vermicosposting technologies; in each case the quality and efficiency of the compost obtained was evaluated. The best models for biomass growth were a) for the winter months the exponential decline model (R2=0.97; correlation coefficient=0.99; St. error =0.11) and b) for the summer months the geometric model (R2=0.80; correlation coefficient=0.90; st. Error =0.55). The compost with the best quality and efficiency was traditional composting, with 30% biomass and with the addition of the microbial accelerator. The growth of *P. stratiotes* recorded in doubling time both in summer (17.70 days) and winter (20.64 days), suggests carrying out four extractions per year, obtaining a total production of four tons of compost, under the exponential descent model for a controlled management of P. stratiotes biomass growth in the main lagoon.

Keywords: Coastal wetland; biomass of *Pistia stratiotes*; fertilizer; composting; vermicomposting; production system.

Resumen

Uno de los impulsores de cambio que afecta a los humedales costeros peruanos es el crecimiento descontrolado de plantas acuáticas invasoras. Esta investigación tuvo como objetivo generar ecuaciones que expliquen la producción de biomasa de una población de *P. stratiotes* en el humedal Santa Rosa - Chancay - Lima y, a partir de ello, proponer un sistema de producción de compost y vermicompost. Se registró la biomasa de *P. stratiotes* (octubre del 2022 - febrero del 2023) para obtener modelos matemáticos que expliquen su evolución en el tiempo. Asimismo, se construyeron sistemas de producción de compost usando ocho diferentes tecnologías de compostaje tradicional y vermicospostaje; en cada caso se evaluó la calidad y eficiencia de compost obtenido. Los mejores modelos para el crecimiento de la biomasa fueron a) para los meses de invierno el modelo de descenso exponencial (R^2=0.97; coef. De correl=0.99; Error st. =0.11) y b) para los meses de verano el modelo geométrico (R^2=0.80;

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

coef. De correl=0.90; Error st. =0.55). El compost de mejor calidad y eficiencia fue el de compostaje tradicional, con 30% de biomasa y con adición del acelerador microbiano. El crecimiento de *P. stratiotes* registrado en tiempo de duplicación tanto en verano (17.70 días) e invierno (20.64 días), sugieren realizar cuatro extracciones al año, obteniendo una producción total de cuatro toneladas de compost, bajo el modelo de descenso exponencial para un manejo controlado del crecimiento de la biomasa de *P. stratiotes* en la laguna principal.

Palabras clave: Humedal costero; biomasa de *Pistia stratiotes*; abono; compostaje; vermicompostaje; sistema de producción.

---

1. Introducción

Los precios de los fertilizantes han ido incrementando internacionalmente en el 2021, alcanzando incluso valores antes no registrados; sobre todo los fertilizantes nitrogenados como el caso de la urea (cuyo precio se triplicó en el 2022; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022). Estos cambios económicos influyen directamente al Perú, ya que, para el acondicionamiento de los suelos, el país importa fertilizantes químicos en gran cantidad; dicho problema fue aminorado por el uso de sulfato de amonio (con contenido de nitratos y precio bajo), sustituyendo la urea, y el uso de abonos orgánicos (Banco Central de Reserva del Perú, 2022). Esta situación, conlleva a la necesidad de buscar y evaluar otras alternativas para la nutrición de las plantas; en este contexto, el aprovechamiento de cualquier tipo de residuos de naturaleza orgánica mediante su transformación en abonos es una forma eficiente de aprovechar dichos recursos (Ramos y Terry, 2014).

Una de las técnicas de mayor acceso para las personas es el uso de abonos orgánicos a partir del proceso de compostaje (Víctor y Naidu, 2010). Este proceso se basa en la producción de compost, el cual es un tipo de abono orgánico producido por la desintegración de residuos vegetales o animales por acción del calor y macroorganismos (Mendoza, 2012; Vargas et al., 2019) que producen un compost equilibrado con distintas proporciones de carbono y nitrógeno (Damiani, 2016). Estas técnicas producen un sustrato enriquecido de nutrientes que influye en la composición del suelo por su contenido químico y por la actividad microbiana (Beltrán et al., 2016). La actividad microbiana origina diferentes variables durante el proceso del compostaje (producción de nitritos, nitratos, amoniaco, metabolitos secundarios y dióxido de carbono) para transformar la energía, los cuales establecen la tasa de degradación de la materia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

orgánica (Molano, 2005). La producción de compost puede utilizar como materia prima los derivados de la actividad agrícola, tales como la pulpa de café y paja de trigo (López et al., 2015), así como residuos vegetales no agrícolas provenientes de ecosistemas acuáticos (Barrionuevo et al., 2020).

Algunas técnicas de compostaje combinan la actividad de los microorganismos con la acción de lombrices en una técnica denominada vermicompostaje; esto da como resultado el vermicompost, un sustrato homogéneo y estabilizado (Villegas y Laines, 2017). El vermicompostaje es un proceso de bajo costo; en este proceso, la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* (Savigny, 1826)) es la especie con que más se trabaja, puesto que posee una alta tasa de reproducción, buena tolerancia a la humedad, temperatura y pH, y su variabilidad alimenticia (materia orgánica de origen vegetal o animal, descompuesto parcial o totalmente) (Cáceres et al., 2018). Se ha obtenido vermicompost a partir de restos cítricos, de maíz e higuera, adicionado excretas de conejo, de las cuales se obtuvo un sustrato de calidad superior al compost tradicional (España, 2020).

La utilización a gran escala de estas técnicas es una de las formas de controlar plantas acuáticas invasoras nocivas, las cuales no requieren fertilizantes, labranza, semillas o nutrientes para su proliferación (Sannigrahi, 2009). Por ejemplo, se ha obtenido compost también a partir de la biomasa de especies acuáticas de comportamiento invasivo como *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms “jacinto de agua” y *Pistia stratiotes* L. “repollito de agua” (Márquez, 2019) utilizando las técnicas tradicionales. Asimismo, el producto del vermicompostaje en combinación con el uso de plantas acuáticas como materia prima, ha tenido éxito en el cultivo de especies comerciales como el pepino, ya que la aplicación del producto, vermicompost o humus, generó un incremento en la altura de la planta, largo y peso del fruto (Reyes et al., 2021). Del mismo modo, el desarrollo del vermicompostaje a base de *Eichhornia crassipes* ha mostrado un aumento en el peso de la col morada a diferencia de los tratamientos que no aplicaron este sustrato (Reyes et al., 2017).

Algunos humedales, los cuales son ecosistemas acuáticos con vegetación que dependen altamente del sistema hidrológico (Ramsar, 2018), presentan las condiciones para utilizar sus plantas acuáticas como materia prima. Este es el caso del humedal Santa Rosa (Lima, Perú) el cual, debido a los procesos de eutrofización (Loayza et al., 2017), mantiene a una gran población de *P. stratiotes* la cual ocupa gran parte de la laguna principal (Ramírez et al., 2010). A pesar de que la planta es retirada de la laguna de manera manual (Pallarozo, 2022) hasta la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

fecha no ha sido posible controlar su población, aprovechar su disponibilidad y conocer su modelo de crecimiento en un humedal costero. Esta situación nos permite contar con una gran cantidad de materia prima con potencial para la generación de compost para su uso como abono. En este escenario, la realización de técnicas de compostaje, complementadas a las actividades de extracción sistematizada permitirían aprovechar correctamente la biomasa de esta planta acuática, y contribuir con la sustitución de fertilizantes sintéticos. Buscando responder a estas necesidades, el presente estudio tuvo como objetivos a) modelar la producción de biomasa *P. stratiotes* del humedal Santa Rosa y, a partir de ello, b) proponer un sistema de producción de compost y vermicompost como alternativa de aprovechamiento de esta biomasa.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La investigación se realizó en el humedal Santa Rosa (11º35'17,8"S - 77º16'8,3"W), ubicado en el norte de Lima (Huaral, Chancay) en los asentamientos humanos de Santa Rosa, Peralvillo y El Cascajo (Figura 1a). La extensión del humedal abarca 40 ha (Loayza et al., 2017), donde se localiza una laguna principal en la parte central, otra pequeña en el oeste y un canal principal, los cuales forman parte de la cuenca del río Chancay con una mínima influencia del mar (Alcántara et al., 2009).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

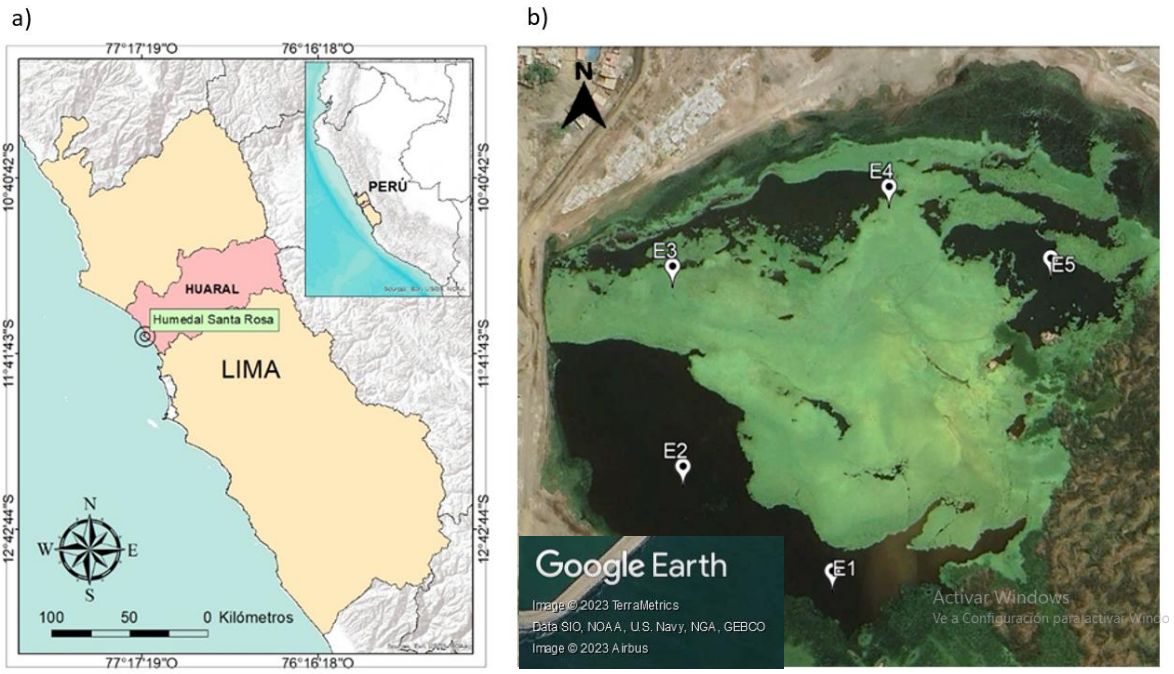


Figura 1. Área de estudio. a) Humedal Santa Rosa. b) Estaciones de muestreo (Estaciones: E1=lado sur del espejo de agua; E2, lado suroeste; E3=lado noroeste; E4=lado norte; E5=lado noreste) (fecha de captura: 20/04/2023; Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO; obtenida de Google Earth).

Este ecosistema es hábitat de una gran variedad de especies entre las que destacan las aves con un total de 89 especies (Apeño y Aponte, 2022), las plantas vasculares con un total de 57 especies (Gonzales et al., 2019) y los invertebrados acuáticos con un total de 28 655 macroinvertebrados distribuidos en 76 géneros (Castillo y Huamantinco, 2020). Los primeros listados de su vegetación ya nos mencionaban sobre la presencia de especies invasoras en el humedal (Ramírez et al., 2010), siendo *P. stratiotes* la que se encuentra en mayor cantidad sobre la laguna principal (Loayza et al., 2017). Las actividades antropogénicas como la ganadería, agricultura, el desarrollo demográfico y la generación de residuos sólidos que se llevan a cabo a sus alrededores son los que influyen negativamente al humedal (Aponte et al., 2020).

2.2 Evaluación del crecimiento de *P. stratiotes in situ*

Se eligieron cinco estaciones de muestreo representativas de las diferentes condiciones de la laguna principal del humedal Santa Rosa (Figura 1b). Las características fisicoquímicas de cada estación se muestran en la Tabla 1.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

En cada estación se colocaron tres parcelas de $1m^2$ (1m x 1m); estas fueron distribuidas de forma dirigida con la finalidad de que ocupen espacios representativos en cada estación. En cada parcela se colocaron tres kilos de biomasa fresca de *P. stratiotes* (plantas intactas extraídas de la misma laguna); esta biomasa representa el peso de las plantas que ocupa la cuarta parte ($0.25\ m^2$) de la parcela; se eligió esta biomasa a fin de que no hubiera influencia de la capacidad de carga en cada unidad experimental.

Se realizó el seguimiento de la biomasa cada tres días pesando su biomasa fresca en campo (peso húmedo). Las mediciones terminaron cuando la biomasa fue mayor o igual a seis kilogramos. Este experimento se realizó por duplicado (octubre 2022 y febrero 2023) de manera que se obtuvieron datos en dos épocas del año (invierno y verano respectivamente).

Tabla 1

Características fisicoquímicas en las estaciones de la laguna evaluada. STD=Sólidos totales disueltos. *Medidas con un multiparámetro durante el trabajo de campo. **Características medidas con los equipos Hanna Checker (amonio y fósforo) y Milwaukee MI412 (fosfato) en laboratorio, se utilizó un sistema de enfriamiento durante su traslado.

	Estación	pH*	Salinidad (ppm)*	Temperatura (°C)*	STD (ppm)*	Cond. Eléctrica (uS/cm)*	Amonio (mg/L)**	Fosfato (mg/L) **	Fósforo (mg/L) **
Invierno (2022)	1	8.15	642	14.5	870	1300	2.3	1.59	0.6
	2	8.71	700	14.5	938	1403	1.7	1.54	0.6
	3	8.78	630	14.6	854	1275	1.2	1.37	0.7
	4	8.64	621	14.8	838	1254	1.1	1.54	0.8
	5	8.39	607	16.8	822	1229	1.7	1.62	0.8
	Estación	pH	Salinidad (ppm)	Temperatura (°C)	STD (ppm)	Cond. Eléctrica (uS)	Amonio (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Fósforo (mg/L)
Verano (2023)	1	9.15	896	32.7	1189	1775	1.9	1.02	0.6
	2	9.21	992	33.8	1304	1946	2.7	1.09	0.5
	3	9.35	1120	34.05	1460	2190	3.4	0.94	0.5
	4	9.11	759	34.60	1013	1504	3.0	1.45	0.3
	5	9.83	923	32.70	1218	1819	1.8	0.78	0.2

2.3 Modelamiento de la biomasa a lo largo del tiempo

Se realizaron regresiones con la finalidad de explicar la biomasa en función del tiempo. Para ello, se hizo uso del software CurveExpert Professional 2.7.3, (Hyams, 2021) en donde se probaron modelo lineales, exponenciales, hiperbólicos, logísticos, armónicos y gaussianos; se excluyeron los modelos polinomiales con la finalidad de obtener ecuaciones con la menor cantidad de variables posibles. En cada modelo se evaluó a) el coeficiente de determinación

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

(R^2), b) el coeficiente de correlación (r), c) error estándar (ES) y el d) Criterio de Información de Akaike (AIC). Utilizando la herramienta Curve Finder, se eligió como mejor modelo a aquel que tuviera un coeficiente de determinación cercano a uno, mayor correlación, y un menor error estándar (Novales, 2010) y el menor Criterio de Información de Akaike. Una vez elegido el modelo, se calculó el tiempo de duplicación (se despejó el tiempo en el que el peso final es el doble del peso inicial; la manipulación algebraica dependió de cada modelo).

2.4 Implementación de los métodos de compostaje

Se designó un área de 100 m² y un perímetro de 44.4 m para la implementación del sistema de compostaje (Figura 2a; coordenadas 252287E y 8717518N). Para ello, se acondicionó un piso de concreto pulido (pendiente de 5-10%) para la recolección de los lixiviados provenientes de las pilas de compostaje y vermicompostaje (Vilca, 2016).

a) b)

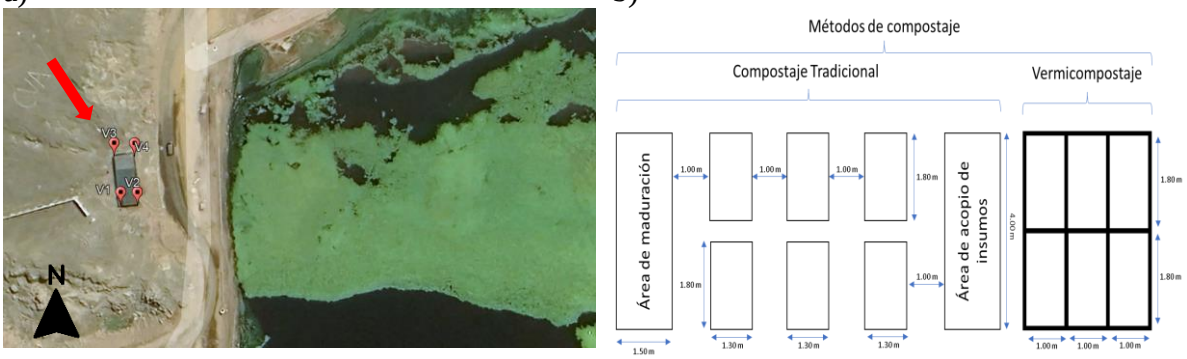


Figura 2. Sistema de compostaje en el humedal Santa Rosa. **a)** Imagen satelital de la planta de compostaje en el humedal Santa Rosa. **b)** Esquema de las dimensiones del sistema de compostaje.

El sistema estuvo compuesto por una infraestructura a base de madera con un techo de 2 m de altura; se empleó mallas Raschel en el techo (90% de sombra) y en los lados (80% de sombra) para proteger a la estructura de los rayos solares y las posibles precipitaciones. Las medidas de cada pila de compostaje fueron 1.30 m de ancho, 1.80 m de largo, 0.70 m de altura con 1.00 m de distancia entre ellas (Figura 2b); las vermicomposteras fueron construidas a base de concreto con las mismas dimensiones, pero con una altura de 1.00 m; siguiendo las recomendaciones de Román et al., 2013. En total se establecieron 12 pilas de compostaje y 12 vermicomposteras.

Se utilizó *P. stratiotes* como insumo principal para el sistema de compostaje, el cual se colectó de la laguna. Además, se recolectó material seco (chala) y material nitrificante (excretas de ganado) de las zonas adyacentes al humedal. Se realizaron tratamientos con dos porcentajes

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

de biomasa de *P. stratiotes* (30% y 40%; porcentajes recomendados para este tipo de biomasa por Silbert et al., 2018) así como la adición de un acelerador microbiano, el cual activa la descomposición de la materia orgánica, de manera combinada para cada método de compostaje (tradicional y vermicompostaje); finalmente se adicionó material seco y material nitrificante (excretas de ganado) en partes iguales hasta completar el 100% (Tabla 2). Se realizaron tres repeticiones para cada tratamiento de manera secuencial (primero los tratamientos con el acelerador y posteriormente los tratamientos sin el acelerador; todo se realizó en la temporada de invierno entre octubre y noviembre del 2022).

Tabla 2

Tratamientos para los métodos de compostaje y vermicompostaje. MSeco=Material Seco; MNit=Material Nitrificante; MPL= Material para lombricultura; F. V. / semana = frecuencia de volteo por semana, para los tratamientos con acelerador microbiano, la frecuencia cambió al cabo de tres semanas (valor entre paréntesis).

Tratamiento	Tipo de Compostaje	%*P. stratiotes*	%M Seco	%M Nit	Acelerador microbiano	F.V. / semana
T1	Compostaje tradicional	30%	35%	35%	SI	2 (1)
T2	Compostaje tradicional	30%	35%	35%	NO	1
T3	Compostaje tradicional	40%	30%	30%	SI	2 (1)
T4	Compostaje tradicional	40%	30%	30%	NO	1
V1	Vermicompostaje (+ 1kg de MPL)	30%	35%	35%	SI	2 (1)
V2	Vermicompostaje (+ 1kg de MPL)	30%	35%	35%	NO	1
V3	Vermicompostaje (+ 1kg de MPL)	40%	30%	30%	SI	2 (1)
V4	Vermicompostaje (+ 1kg de MPL)	40%	30%	30%	NO	1

La biomasa de *P. stratiotes* fue depositada en el área de acopio de la planta de compostaje para ser secada por cinco días bajo condiciones ambientales (temperatura ambiental y viento); posteriormente fue triturada de forma manual (Gil y Benavides, 2019). Los trozos que ingresaron al sistema tuvieron un tamaño promedio de uno a cinco centímetros con el fin de agilizar el proceso de descomposición (Márquez, 2019).

Las pilas de compostaje se elaboraron en base a la técnica del armado por capas, donde se colocó una primera capa de material seco (chala), una segunda capa de material nitrificante,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

seguida de una capa con material orgánico (*P. stratiotes*); esta secuencia se repitió hasta alcanzar una altura de 0.70 m (Silbert et al., 2018). Seguidamente, para la conservación de la humedad, se regó agua desclorada sobre las pilas de compostaje. Se realizó el mismo procedimiento para el desarrollo del vermicompostaje, además de insertar un kilo de material para lombricultura (lombrices pequeñas y adultas, cocones y humus orgánico) en cada vermicompostera (Reynoso, 2021). Las capas de las pilas de compostaje fueron mezcladas (volteadas, técnica que se utiliza para facilitar la aireación) en diferentes frecuencias (Tabla 2) para asegurar una adecuada aireación en el sistema de compostaje (Mendoza, 2012). El acelerador microbiano (para los tratamientos que lo contenían) fue preparado utilizando un litro del concentrado microbiano, el cual fue disuelto en 18 litros de agua con la adición de 2 kg de melaza; esta combinación se almacenó durante cinco días en un recipiente hermético (López, 2019). Se aplicó 300 ml de acelerador microbiano activado a cada pila de compostaje durante cada volteo.

El control de la temperatura, pH y humedad se realizó previo a los volteos, empleando un medidor de suelo de 30 cm de longitud. Los parámetros fueron medidos en la parte interna de cada pila en cinco puntos diferentes, dos en el lado derecho, dos en el izquierdo y uno al medio.

2.5 Evaluación de la calidad del compost y vermicompost

Se tomó una muestra de compost y vermicompost por cada repetición de cada tratamiento (tres repeticiones por cada tratamiento, 24 muestras en total). Estas muestras se analizaron en el laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se evaluó los siguientes parámetros: pH (por Potenciometría), conductividad eléctrica (C.E; en extracto – Conductímetro), materia orgánica (M.O; calcinación), nitrógeno total (N; método micro-Kjeldahl), humedad (Hd; método de la estufa), óxido de fósforo (P_2O_5; Espectrofotometría de absorción atómica por digestión nitroperclórica – EAA), óxido de potasio (K_2O, EAA), óxido de calcio (CaO; EAA), óxido de magnesio (MgO; EAA) y sodio (Na; EAA) (Bazán, 1996).

Para determinar la eficiencia de los sistemas de compostaje y vermicompostaje se compararon los resultados de los parámetros fisicoquímicos, del compost y vermicompost obtenido, con las normativas internacionales indicadores de calidad (Norma Chilena de compost – NCh 2880, Norma Técnica Colombiana – NTC 5167 y Organización Mundial de la Salud – OMS); la tabla 3 muestra tres normativas. Se consideró como mejor tratamiento al que cumplía con estar dentro de los parámetros fisicoquímicos establecidos en las normativas, que tuviera el menor

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

periodo de descomposición de los residuos vegetales y al que produjera mayor cantidad de sustrato (Ríos et al., 2023).

Para el análisis estadístico se compararon los parámetros fisicoquímicos de cada tratamiento; primero se realizó la verificación de los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad mediante la prueba de Levene (se verificó que $p>0.05$ en ambos casos), para posteriormente comparar las características fisicoquímicas de todos los tratamientos a través de la prueba ANOVA de un factor, seguida de la comparación por pares a posteriori de Tuckey (cada vez que hubo diferencia entre los tratamientos). Los promedios obtenidos para cada parámetro fisicoquímicos fueron representados mediante un diagrama de cajas.

Tabla 3

Comparación de parámetros fisicoquímicos de normativas internacionales de estándares de calidad de compost orgánico

Parámetros	Normativa Chilena[a]	Normativa Colombiana[b]	Organización Mundial de la Salud[c]
	NCh 2880	NTC 5167	OMS
Humedad	≥ 25 %	20 – 35 %	30 – 50 %
Ph	5 – 7.5	4 - 9	6 – 9
MO	≥ 45 %	Mínimo 15 %	25 – 50 %
N	-	Mayor a 1 %	0.4 - 3.5 %
C.E	≤ 5 mmho/cm	-	-
Nitrógeno Total	≥ 0.8 % expresado en base seca.	-	-
Nitrógeno amoniacal	300 mg/L expresado en base seca.		
P_2O_5	-	Mayor a 1 %	0.3 - 1.8 %
Cenizas	-	Máximo 60 %	-
Ca	-	Mayor a 1 %	-
Mg	-	Mayor a 1 %	-
K	-	Mayor a 1 %	-
Fósforo Soluble	≤ 5 mg/L en extracto.	-	-
Fósforo Total	≤ 0.1 % sobre base seca.	-	-
B	< 200 mg/K en masa.	-	-
Na	< 1 % sobre base seca.	-	-
C: N	10 - 25	-	-

Fuente: Adaptado de las normas de parámetros fisicoquímicos en compost (Normativa Chilena 2880, 2005a, Norma Técnica Colombiana 5167, 2011b; Organización Mundial de la Salud, 2013c).

3. Resultados y discusión

3.1 Modelamiento de la dinámica poblacional de *P. stratiotes*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

La Tabla 4 muestra los modelos matemáticos obtenidos por cada estación y de las estaciones en su conjunto, los mejores modelos matemáticos del crecimiento de *P. stratiotes* para invierno y verano fueron el de Descenso Exponencial y el Geométrico, respectivamente (para más detalles puede revisar el Material Suplementario 1). Es posible apreciar que en cada estación la dinámica fue distinta y como consecuencia se muestran modelos distintos y tiempos de duplicación distintos.

Tabla 4.

Modelos matemáticos de la dinámica poblacional de P. stratiotes en invierno y verano. EE=Error estándart; CC=Coeficiente de correlación; R2=Coeficiente de determinación; TD=Tiempo de duplicación (días). (Véase el material complementario para más detalle de los valores y gráficas obtenidas durante la selección de modelos).

Invierno					
Estaciones	Modelo	Tipo	Variables	Confiabilidad	TD
Estación 1	$y = q_0(e)^{\frac{-x}{a}}$	Descenso exponencial	qo=3.08; a=-31.10	EE=0.11; CC=0.98; R^2=0.97	20.70
Estación 2	$y = \frac{q_0}{(1+\frac{x}{a})}$	Declive armónico	qo=3.06; a=-36.30	EE=0.18; CC=0.97; R^2=0.94	17.67
Estación 3	$y = a + bx$	Lineal	a=3.02; b=0.13	EE=0.23; CC=0.95; R^2=0.91	22.92
Estación 4	$y = q_0(1+\frac{bx}{a})^{(\frac{-1}{b})}$	Declive Hiperbólico	q0=3.04; a=-17.87; b=-2.28	EE=0.27; CC=0.93; R^2=0.86	29.09
Estación 5	$y = \frac{1}{(a+bx+cx^2)}$	Cuadrático recíproco	a=0.33; b=-0.02; c=0.00049	EE=0.42; CC=0.89; R^2=0.80	19.20
Todas las estaciones	$y = q_0(e)^{\frac{-x}{a}}$	Descenso exponencial	qo=3.09; a=-31.09	EE=0.11; CC=0.99; R^2=0.97	20.64
Verano					
Estaciones	Modelo	Tipo	Variables	Confiabilidad	TD (días)
Estación 1	$y = a(x)^{bx}$	Geométrico	a=3.06; b=0.01	EE=0.27; CC=0.96; R^2=0.92	21.84
Estación 2	$y = q_0(1+\frac{bx}{a})^{(\frac{-1}{b})}$	Descenso hiperbólico	q-0= 3.10; a=-61.74; b=2.40	EE=0.26; CC=0.95; R^2=0.90	20.46
Estación 3	$y = q_0(1+\frac{bx}{a})^{(\frac{-1}{b})}$	Descenso hiperbólico	q-0=3.11; a=-75.32; b=5.21	EE=0.35; CC=0.96; R^2=0.92	13.98
Estación 4	$y = q_0(1+\frac{bx}{a})^{(\frac{-1}{b})}$	Descenso hiperbólico	q-0=3.14; a=-53.82; b=3.41	EE=0.29; CC=0.97; R^2=0.94	14.05
Estación 5	$y = q_0(1+\frac{bx}{a})^{(\frac{-1}{b})}$	Descenso hiperbólico	q-0=3.18; a=-72.75; b=5.03	EE=0.31; CC=0.97; R^2=0.95	13.87
Todas las estaciones	$y = a(x)^{bx}$	Geométrico	a=3.10; b=0.013	EE=0.55; CC=0.90; R^2=0.80	17.70

Las diferencias en el crecimiento de *P. stratiotes* en cada estación probablemente se deben a que las condiciones fisicoquímicas que posee el agua del humedal no son homogéneas. Al

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

eutrofizarse el cuerpo de agua, en los bordes se favorece la colonización y el desarrollo de plantas (Diaz et al., 2012), muy similar a lo observado en las estaciones 3, 4 y 5. La calidad de los humedales se encuentra asociada con el desarrollo de las plantas (Piedra et al., 2016); al aumentar los nutrientes en el espejo de agua de los humedales, ocurre el incremento de la diversidad de especies denominadas "malezas acuáticas" como *Pistia stratiotes*. El crecimiento observado en esta investigación corresponde a una planta expuesta a un cuerpo de agua eutrofizado (Loayza et al., 2017), donde las condiciones son óptimas para la especie y, por lo tanto, puede duplicar su biomasa y formar rápidamente vegetación densa (Freitas et al., 2005). Esto se asemeja a lo reportado por Mohamed (2022) en el lago Manzala en Egipto, donde las condiciones de eutrofización del lago favorecieron el crecimiento de una densa vegetación de *P. stratiotes*. En el humedal Santa Rosa, durante el invierno, la biomasa inicial (3.00 kg) se duplicó en 20.63 días; sin embargo, en verano se duplicó en 17.70 días. El tiempo de duplicación obtenidas en la presente investigación son mayores a las reportadas por Chadly et al., (2023) quienes determinaron que, en condiciones de laboratorio, la biomasa de *P. stratiote*s se duplicaba en 10 días aproximadamente (Chadly et al., 2023).

3.2 Compostaje Tradicional y Vermicompostaje

En la figura 3 se observan las características fisicoquímicas del compost preparado; el % de nitrógeno total, P_20_5 y M.O presentaron mayor mediana en los tratamientos de vermicompostaje; por otro lado, la C.E y el pH, fueron mayores en los tratamientos de compostaje tradicional. En la figura 4 se observa que el porcentaje de CaO, MgO y Hd presentaron valores más altos en los tratamientos de vermicompostaje; el K_2O y Na, fueron mayores en los tratamientos de compostaje tradicional. Gran parte de los parámetros fisicoquímicos muestran diferencias entre los tratamientos de compostaje tradicional y vermicompostaje salvo en el porcentaje de M.O entre el tratamiento T4 con V4 (Figura 3) y el % de humedad entre el tratamiento T2 con V2 (Figura 4); en la mayoría de los casos, se obtuvieron valores más altos en los tratamientos de vermicompostaje.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

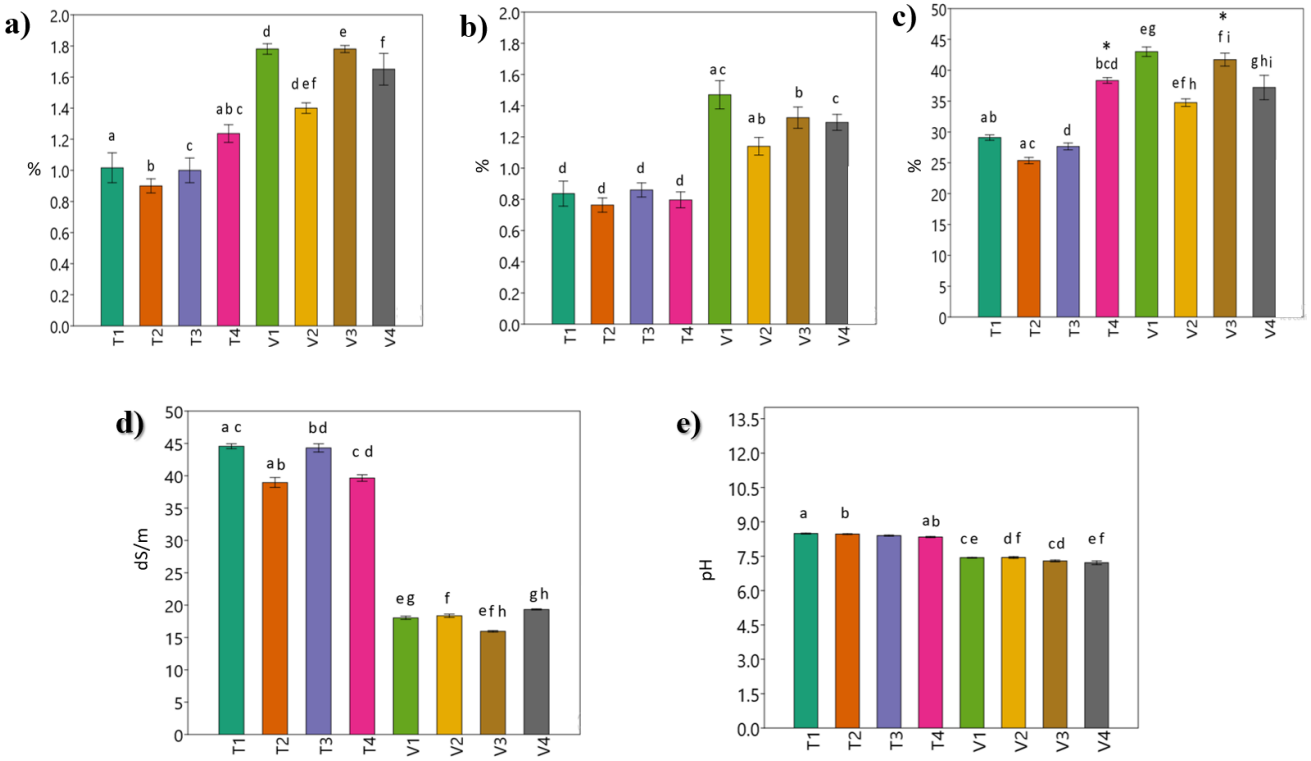


Figura 3. Diagrama de cajas del a) % de Nitrógeno total, b) % de P_2O_5, c) % de M.O, d) Conductividad Eléctrica y e) pH para el compostaje tradicional (T) y Vermicompostaje (V), considerando la media y el error estándar. Se expone también los resultados de la prueba de agrupamiento de Tuckey cada vez que hubo diferencia entre los tratamientos ($p<0.05$ para el ANOVA). *Diferencias estadísticamente significativas y grupos significativamente diferentes mediante el test de Tukey a posteriori.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

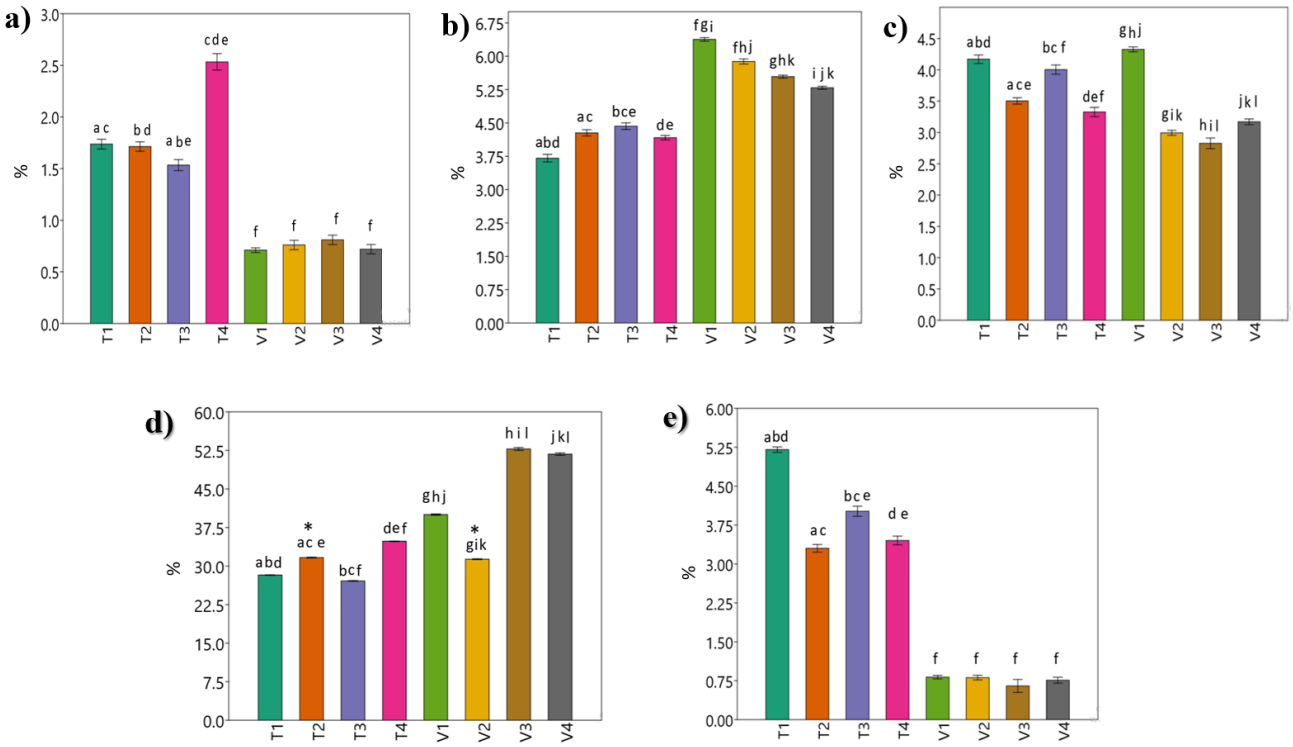


Figura 4. Diagrama de cajas del a) % de K_2O, b) % de CaO, c) % de MgO, d) % de Humedad y e) % de Na para el compostaje tradicional (T) y Vermicompostaje (V), considerando la media y el error estándar. Se expone también los resultados de la prueba de agrupamiento de Tuckey cada vez que hubo diferencia entre los tratamientos ($p<0.05$ para el ANOVA). *Diferencias estadísticamente significativas y grupos significativamente diferentes mediante el test de Tukey a posteriori.

Los valores alcalinos del compost tradicional se deben al bajo contenido de iones intercambiables de hidrógeno y alto contenido de magnesio y calcio respecto al vermicompostaje (Bárbaro et al., 2019). La secreción de NH_4^+ reduce la concentración de iones H+ lo cual conlleva a presentar valores alcalinos en el compost tradicional y por la actividad de las glándulas calcíferas en el caso del vermicompost, la cual contiene anhidrasa que cataliza la fijación de CO_2 como $CaCO_3$ (Vargas et al., 2019). El pH no depende a los tiempos de volteo y compostaje, sin embargo, es dependiente a los materiales sometidos al proceso (Ríos, 2023) en este caso las excretas de animales y la biomasa de *P.stratiotes*, los cuales se encuentran en condiciones altas de salinidad. Los valores de pH elevados podrían ser consecuencia de que la especie invasora fue extraída de un humedal cercano al mar (Márquez, 2019). Con respecto al nitrógeno total Kejldhal, los valores obtenidos en los tratamientos se encuentran dentro del rango de las normativas de compostaje NTC 5167 y OMS, presentando valores de 0.86% a

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

1.78%. Estudios reportaron que, durante el inicio del proceso de compostaje, los porcentajes de N total registran valores como 2.7 y 2.8% para residuos orgánicos de ámbito municipal; además se registraron valores entre 1.1 y 1.4% en residuos orgánicos frescos, del mismo modo, se alcanzaron valores de 1-2.5% al comenzar el proceso con residuos orgánicos municipales (Camacho et al., 2018). Por otro lado, la M.O presente en el compostaje tradicional y vermicompostaje presentan valores entre 24% y 43%, siendo los tratamientos de vermicompostaje los que presentan valores más altos. Idealmente, el porcentaje de M.O debe oscilar entre el 40 % y 60 %, de no ser así, podría significar que aún no se ha completado el proceso de compostaje, debido a que la M.O no se está degradando completamente, pero no necesariamente indica sus demás características no admitan su aplicación (Ramírez et al., 2021).

El vermicompostaje cumple con los rangos establecidos en las normativas NTCh 2880, NTC 5167 y OMS para los parámetros de calidad, salvo en la C.E y K_2O; los valores de C.E son menores en comparación a los valores obtenidos en el compostaje tradicional. El vermicompost presenta mejores condiciones de madurez (correcto estado de degradación, transformación y síntesis microbiana del sustrato), en contraste con el compostaje tradicional, el cual permite ser adicionado a un suelo productivo (Vásquez et al., 2018). Un estudio similar de vermicompostaje a base de repollito de agua muestra resultados con valores menores a los obtenidos en el presente estudio, con un pH 6.07, el nitrógeno total 0.71 %, el fósforo de 0.38 %, y potasio de 0.94%, sin embargo, indican que es un fertilizante orgánico de buena calidad (Sannigrahi, 2009).

Los tratamientos del compostaje tradicional presentaron un valor alto de C.E y Na, lo cual demuestra la existencia de sales minerales en el compuesto (Camacho et al., 2018), a comparación de los tratamientos de vermicompostaje, en donde se realizó un periodo previo de compostaje al alimento brindado a las lombrices, lo cual disminuye la C.E (Acosta et al, 2013; Iglesias, 1995), a la vez disuelve los nitratos presentes en el estiércol (Román et al., 2013). La C.E de un compost estará condicionada también por la composición y naturaleza del material compostado, principalmente por la concentración de sales y de cierta manera por la presencia de iones amonio o nitrato obtenidos en el transcurso del proceso (Puerta, 2007). La calidad del compost depende de la composición química de las plantas acuáticas, las turbidez y características químicas de los cuerpos de agua (Sannigrahi, 2009); en este caso el humedal

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

estudiado se encuentra muy cerca al mar, por lo que el compost puede haber adquirido características de este.

3.3 Eficiencia de la producción de compost y vermicompost

Se determinó que el tratamiento más eficiente fue T1; puesto que cumple con la mayoría de las características del compost para las normativas internacionales; sin embargo, no cumple con los valores sugeridos de pH, M.O, Na y la CE para la normativa NCh 2880, y del P_2O_5 para la NTC 5167 y la humedad en la normativa de la OMS. Comparando los tiempos de producción de compost de cada tratamiento (figura 5) se puede apreciar como el acelerador microbiano permitió reducir los tiempos de producción de compost.

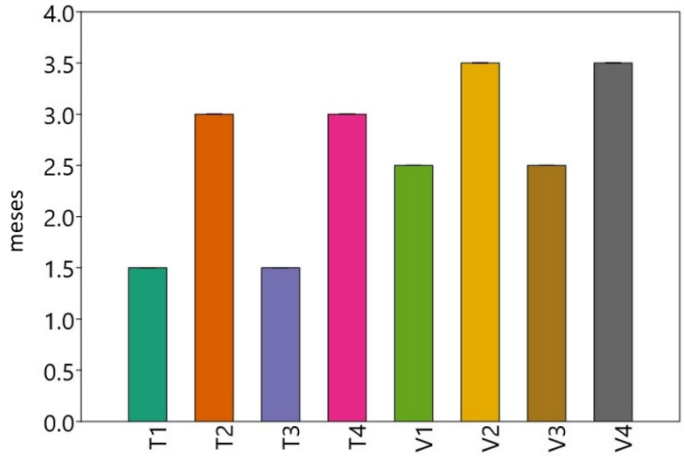


Figura 5. Tiempo de producción de compost de cada tratamiento (T=compostaje tradicional; V= vermicompostaje; ver la tabla 2 para los detalles de cada tratamiento)

La producción de compost bajo la metodología tradicional con aplicación del acelerador microbiano tomó menor tiempo para la elaboración de compost (45 días), periodo adecuado al crecimiento de *P.stratiotes* para su procesamiento en la época de invierno. Estos resultados se diferencian de otros estudios donde se procesa 3 kg de *P. stratiotes* en un periodo de 15 semanas, en ese trabajo se aplicó melaza para la degradación bacteriana del sustrato (Márquez, 2019) evidenciando un retraso en ausencia de un acelerador microbiano. También en un estudio se elaboró compost tradicional a partir de la biomasa de una planta de humedales costeros, como la *Hydrilla verticillata*, sin embargo, demoró menor tiempo (20 días) para obtener compost final maduro a partir de 50 kg de esta especie, en donde indicó al estiércol de vaca como inóculo para mejorar la tasa de degradación (Jain y Kalamdhad, 2018). Por otro lado, se

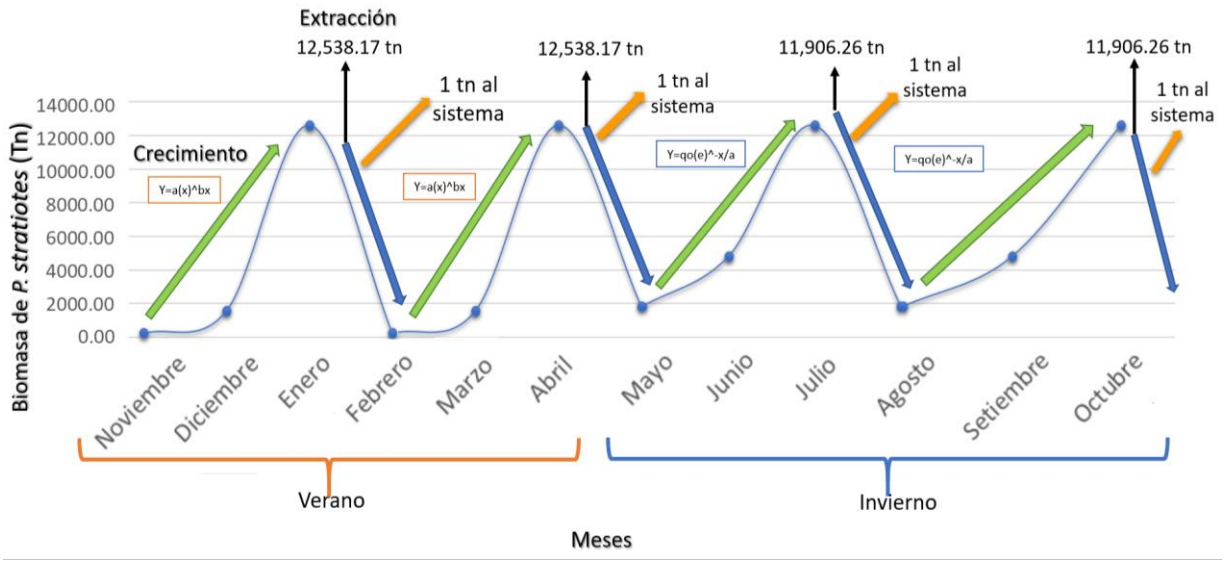
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

elaboró el proceso de vermicompostaje a base de *P. stratiotes* en proporciones de 1:2 de la planta y estiércol de vaca, respectivamente, en presencia de 500 *Perionyx excavates* adultos obteniendo el sustrato en 2 meses (Sannigrahi, 2009), tiempo similar a lo desarrollado en la metodología propuesta (*P. stratiotes* 30%, 1 kg de núcleo de *Eisenia foetida* con adición de acelerador microbiano) obteniendo el sustrato en el transcurso de 2 meses y medio.

3.4 Integrando la dinámica poblacional de *P. stratiotes* y las metodologías de compostaje

A partir de los modelos matemáticos de crecimiento de *P. stratiotes* y considerando el proceso de producción de compost más eficiente, se propone el siguiente modelo de uso de la biomasa de *P. stratiotes* para este humedal (figura 6):

a) La biomasa inicial que debería quedar en la laguna en verano deberá de ser 65.17 tn y 697.08 tn para invierno; dichas biomasas cubrirán la tercera parte del espejo de agua de la laguna principal equivalente a 12 mil toneladas (Zamora, 2023) en un período de 3 meses. Eso significa que primeramente será necesario una extracción intensiva a fin de solo dejar las biomasas iniciales propuestas en la laguna.
b) Considerando el tiempo de procesamiento y la capacidad operativa de la planta de compostaje, se deberán realizar cuatro extracciones a lo largo del año (12,538.17 tn por extracción). Estas extracciones de 12,538 tn en verano y 11,906.26 tn en invierno permitirán mantener la laguna parcialmente libre de la planta.
c) Una tonelada extraída deberá ser destinada al sistema de compostaje de manera que esta pueda ser procesada utilizando las características del tratamiento T1.



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 6. Modelo de uso sostenible de *P. stratiotes* basado en la relación de las metodologías de compostaje y los modelos de crecimiento de esta biomasa en el humedal Santa Rosa.

La gran limitante de este proceso de producción de compost es la planta de producción; de esta forma, si se logra involucrar a otros actores (por ejemplo, empresas locales, población rural y organizaciones sin fines de lucro) podría ampliarse la planta de producción y procesar una biomasa mayor a una tonelada cada cuatro meses. En las condiciones actuales, el compost producido podría ser utilizado en la reforestación local, programas sociales, campañas de educación ambiental, cuidado de áreas verdes de colegios de la zona y de empresas involucradas con el desarrollo del proyecto; el resto de la biomasa podría ser utilizado en la producción de biocombustibles (Gusaín y Suthar, 2017), como alimento (forraje) para ganado vacuno, ovino y porcino (Bonilla y Santamaria, 2021) y fitorremediación (Nahar y Hoque, 2021). La presente propuesta es una de las primeras alternativas para el uso de la biomasa de esta especie vegetal invasora en el Humedal Santa Rosa, problemática que requiere una solución desde la ciencias biológicas e ingeniería, las cuales se han integrado en esta investigación.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos mostraron que la dinámica de la especie es particular a cada zona de la laguna principal, encontrando que los modelos que mejor explican su crecimiento son el modelo de descenso exponencial (para invierno) y el modelo geométrico (para verano). El compost de mejor calidad y eficiencia fue el de compostaje tradicional, con 30% de biomasa de *P. stratiotes* y con adición del acelerador microbiano. El modelo de uso de esta especie para este humedal sugiere realizar cuatro extracciones al año, obteniendo una producción total de cuatro toneladas de compost, para un manejo controlado del crecimiento de la biomasa de *P. stratiotes* en la laguna principal. La presente investigación es una de las investigaciones pioneras en integrar la dinámica poblacional de *P. stratiotes* y la producción de compost *in situ* en un humedal peruano; esperamos que esta información sirva como una propuesta base para la implementación de un sistema productivo local en un corto o mediano plazo.

5. Referencias Bibliográficas

Acosta, C., Solís, O., Villegas, O., y Cardoso, L. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Einsenia foetida*. Agronomía Costarricense,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

37(1), 127-139. Retrieved December 12, 2023, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242013000100010&lng=en&tlng=es.

Alcántara, B. y Jiménez, R. (2017). Expediente técnico de creación del área de conservación ambiental humedal santa rosa-sector el cascajo.

Aponte, H. (2016). Capacidad captadora de carbono y producción de proteínas de *Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine (Hydrocharitaceae) bajo condiciones de laboratorio [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://hdl.handle.net/20.500.12672/4918

Banco Central de Reserva del Perú (2022). Panorama actual y proyecciones macroeconómicas 2022-2023. https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Reporte-Inflacion/2022/junio/ri-junio-2022-recuadro-7.pdf

Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. Chilean journal of agricultural & animal sciences, 35(2), 126-136. https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309

Barrionuevo, M., Flores, L. y Dussi, M. (2020). Caracterización de residuos de macrófitas acuáticas para la producción de compost. Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y prácticas. Vol. 13, N°3, 1022-1031. http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.69832

Bazán, R. (1996). Manual para el Análisis Químico de Suelos, Plantas y Agua. Universidad Nacional Agraria la Molina.

Bonilla, J. y Santamaría, B. (2021). Plantas acuáticas invasoras en humedales. Inventio, 10(21), 33–38. http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/310

Camacho, F., Uribe, L., Newcomer, Q., Master, K., Kinyua, M. (2018). Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). Cuadernos de Investigación UNED [online]. 2018, vol.10, n.2, pp.330-341. ISSN 1659-4266. http://dx.doi.org/10.22458/urj.v10i2.2163.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Chadly. C., Mardi, L. Boualam, O., Bouslanti, R y Ennabili A. (2023) Experimental control tests of Pistia stratiotes L., an invasive aquatic plant of lentic habitats (Fez, Morocco)

España, E. (2020). Compostaje y vermicompostaje de residuos agrícolas. Su papel en la eliminación de fármacos en el sistema suelo-planta y sobre el desarrollo vegetal. [Tesis de doctorado, Universidad de Valencia]. https://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/75280/Tesis_202020.docx.pdf?sequence=1

Freitas Coelho, F., Deboni, L., & Santos Lopes, F. (2005). Density-dependent reproductive and vegetative allocation in the aquatic plant Pistia stratiotes (Araceae). Revista de Biología Tropical, 53(3-4), 369-376.

Gusaín R. y Sutrar, S. (2017). Potential of aquatic weeds (*Lemna gibba, Lemna minor, Pistia stratiotes and Eichhornia sp.*) in biofuel production. Institution of Chemical Engineers. Published by Elsevier B.V. All rights reserved. Volume 109, July 2017, Pages 233-241. https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.03.030

Hyams, D. (2021). CurveExpertPro-2.7.1-win64.exe (Version: 2.7.3) [Software]. https://curveexpert-professional.software.informer.com/download/

Iglesias, L. (1995). El estiercol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Ministerio de agricultura pesca y alimentación 1995: 1-24.

Jain, A. y Kalamdhad, S. (2018). Efficacy of batch mode rotary drum composter for management of aquatic weed (Hydrilla verticillata (L.f.) Royle). https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.055

Loayza, K., Castillejos, K., Mestas y R., Quiliche, J. P. J., (2017). Estudio de la teledetección y caracterización fisicoquímica del humedal “El Cascajo”, Santa Rosa, Chancay-Lima, Perú. INFINITUM, 7(1), 52-58. https://doi.org/10.51431/infinitum.v7i1.61

López, X., Robles, C., Velasco, V., Ruiz, J., Enríquez, J., Rodríguez, G. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10439327005

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Márquez, C. (2019). Evaluación de la calidad de compost de especies acuáticas invasoras Eichhornia crassipe (Jacinto de agua) y *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua) del Humedal Santa Rosa-Chancay y su efecto en el crecimiento de *Raphanus sativus* (Rábano). [Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio digital de tesis y trabajos de investigación. http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4209

Mohamed Haroon, A. (2022) Review on aquatic macrophytes in Lake Manzala, Egypt. 1687-4285/- 2022 Instituto Nacional de Oceanografía y Pesca. Alojamiento por Elsevier BV https://doi.org/10.1016/j.ejar.2022.02.002

Molano, A. (2005). Aislamiento de bacterias biofertilizantes (Nitrobacter spp, Rhizobium spp, Azospirillum spp), para un sistema de compost tipo windrow. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30400504

Nahar, K. y Hoque, S. (2021) Phytoremediation to improve eutrophic ecosystem by the floating aquatic macrophyte, water lettuce (*Pistia stratiotes L.*) at lab scale, The Egyptian Journal of Aquatic Research, Volume 47, Issue 2, 2021, Pages 231-237, ISSN 1687-4285, https://doi.org/10.1016/j.ejar.2021.05.003.

Novales, A. (2010). Análisis de regresión. Departamento de Economía Cuantitativa. Universidad Complutense de Madrid (España).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2022). El mercado mundial de fertilizantes: Balance de la situación de un mercado en dificultades. FAO Roma, Italia. https://www.fao.org/3/ni280es/ni280es.pdf

Pallarozo, N. J. (2022). Plan de restauración de la belleza paisajística del humedal de Santa Rosa del distrito de Chancay. (Tesis para optar maestría)

Ramírez, D., Aponte, H., & Cano, A. (2010). Flora vascular y vegetación del humedal de Santa Rosa (Chancay, Lima). Revista Peruana de Biología, 17(1), 105-110. Recuperado en 15 de julio de 2024, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172799332010000100012&lng=es&tlng=es.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Ramírez, M., Vázquez, S., Méndez, G., y Mejía, J. (2021). Caracterización de abonos orgánicos aplicados a cultivos florícolas en el sur del Estado de México. CienciaUAT, 16(1), 150-161. Epub 13 de diciembre de 2021. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i1.1518

Ramos, D. y Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos Tropicales, 35(4), 52-59. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007

Reyes, J. J., Luna, R. A., Murillo, B., Nieto, A., Hernández, L. G., Rueda, E. O., y Preciado, P. (2017). Uso de vermicompost y compost de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el crecimiento de col morada (*Brassica oleracea*). Interciencia, 42(9), 610-615.

Ríos, E., Florida, N., Lama, D. (2023). Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la provincia Leoncio Prado, Perú. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(1):e2371. http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n1.2023.2371

Román, P., Martínez, M., Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf

Sannigrahi, A.K. (2009). Management of some aquatic weeds through vermicomposting. Indian J. Environmental Protection, 29 (9): 809-811.

Vargas, O., Trujillo, J., y Torres, M. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. https://doi.org/10.22579/20112629.575

Vásquez., J & Loli., O. (2018). Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. Scientia Agropecuaria, 9(1), 43-52. https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.05

Villegas, V. & Laines, J. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(2), 393-406. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.59

Zamora, A. (2023). *Evaluación de dos servicios ecosistémicos brindados por la población de Pistia stratiotes en el humedal Santa Rosa, Chancay-Lima*. [Tesis de Titulación,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

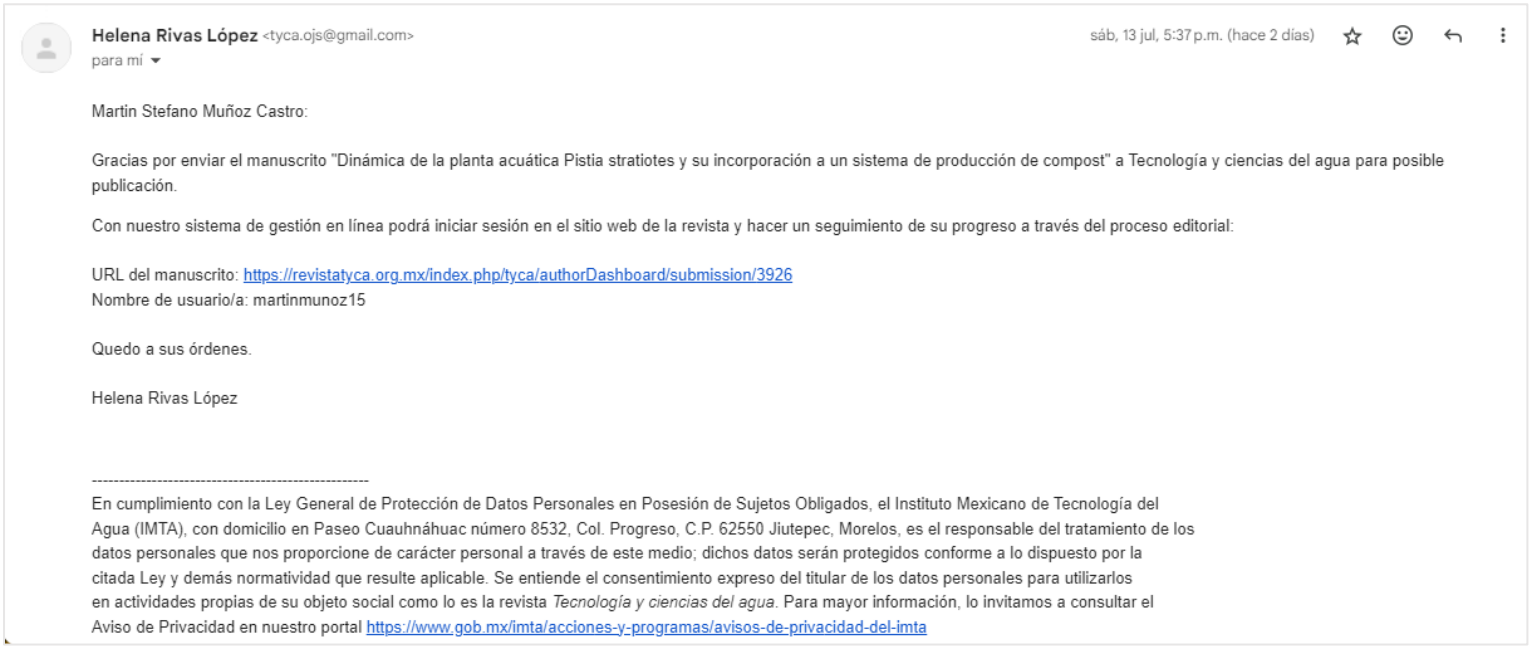
Universidad Científica del Sur]. https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/3185

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Anexo 1

Evidencia de envío de manuscrito a la revista “Ciencia y tecnología del Agua”



Helena Rivas López <tyca.ojs@gmail.com> sáb, 13 jul, 5:37 p.m. (hace 2 días)
para mí

Martin Stefano Muñoz Castro:

Gracias por enviar el manuscrito "Dinámica de la planta acuática Pistia stratiotes y su incorporación a un sistema de producción de compost" a Tecnología y ciencias del agua para posible publicación.

Con nuestro sistema de gestión en línea podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito: https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/authorDashboard/submission/3926
Nombre de usuario/a: martinmunoz15

Quedo a sus órdenes.

Helena Rivas López

En cumplimiento con la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con domicilio en Paseo Cuauhnáhuac número 8532, Col. Progreso, C.P. 62550 Jiutepec, Morelos, es el responsable del tratamiento de los datos personales que nos proporcione de carácter personal a través de este medio; dichos datos serán protegidos conforme a lo dispuesto por la citada Ley y demás normatividad que resulte aplicable. Se entiende el consentimiento expreso del titular de los datos personales para utilizarlos en actividades propias de su objeto social como lo es la revista *Tecnología y ciencias del agua*. Para mayor información, lo invitamos a consultar el Aviso de Privacidad en nuestro portal https://www.gob.mx/imta/acciones-y-programas/avisos-de-privacidad-del-imta

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

CONSTANCIA N° 021-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2022

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado** (reunión ordinaria: 25 de Enero de 2022).

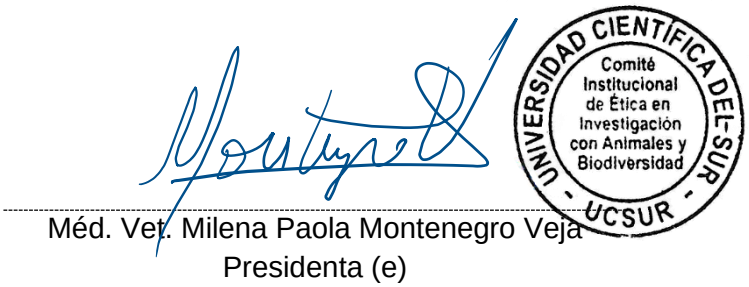
Código de registro:	**563-2021-PRE11**
Título:	**Producción de compost a partir de la dinámica poblacional del "repollito de agua" (*Pistia stratiotes*) del Humedal Santa Rosa (Perú)**
Investigador(a):	**Martin Stefano Muñoz Castro; Kaory Naomi Tinoco Ccancce**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente. Adicionalmente, en el contexto de la pandemia de enfermedad por COVID-19, le recomendamos cumplir con las normas publicadas por el estado peruano.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 15 de setiembre de 2023**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 16 de marzo de 2022



Méd. Vet. Milena Paola Montenegro Veja
Presidenta (e)
Comité Institucional de Ética en Investigación
con Animales y Biodiversidad

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 056-2022-DACIA-DAFCA-U. CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 08 de abril del 2022

VISTO:
El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: ***Producción de compost a partir de la dinámica poblacional del "repollito de agua" (Pistia stratiotes) del Humedal Santa Rosa (Perú)***, presentado por:

- **Martin Stefano Muñoz Castro**
- **Kaory Naomi Tinoco Ccancce**

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo con el Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:
Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: ***Producción de compost a partir de la dinámica poblacional del "repollito de agua" (Pistia stratiotes) del Humedal Santa Rosa (Perú)*** y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Héctor Alonso Aponte Ubillus** como asesor(a) para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,

Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental