

DOI: 10.24850/j-tyca-2026-02-03

Artículos

**Dinámica de la planta acuática *Pistia stratiotes* y su
incorporación a un sistema de producción de compost**
**Dynamics of the aquatic plant *Pistia stratiotes* and its
incorporation into a compost production system**

Martin Muñoz¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6990-2980>

Kaory Tinoco², ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4718-0857>

José A. Arenas³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1744-1980>

Héctor Aponte⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5249-9534>

¹Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur, Villa el Salvador, Lima, Perú, martinmzcaastro11@gmail.com

²Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur, Villa el Salvador, Lima, Perú, kaory.tinoco@gmail.com

³Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma, Santiago de Surco, Lima, Perú / Carrera de Biología Marina, Universidad Científica del Sur, Villa el Salvador, Lima, Perú, jose.arenas.ibarra@urp.edu.pe, jarenas@cientifica.edu.pe

⁴Carrera de Biología Marina, Universidad Científica del Sur, Villa el Salvador, Lima, Perú, haponte@cientifica.edu.pe

Autor para correspondencia: Héctor Aponte, haponte@cientifica.edu.pe

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 modelar 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 de 2022-febrero de 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 vermicompostaje; en cada caso se evaluó la calidad y eficiencia del compost obtenido. Los mejores modelos para el crecimiento de la biomasa fueron los siguientes: a) para los meses de invierno, el modelo de descenso exponencial ($R^2 = 0.97$; coeficiente de correlación = 0.99; error estándar = 0.11) y b) para los meses de verano, el modelo geométrico ($R^2 = 0.80$; coeficiente de correlación = 0.90; error estándar = 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) como en invierno (20.64 días) sugiere 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, zona costera, plantas acuáticas, especie invasora, biomasa, fertilizante, tratamiento de desechos, Perú.

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 vermicomposting 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 ($R^2 = 0.97$; correlation coefficient = 0.99; St. error = 0.11) and b) for the summer months the geometric model ($R^2 = 0.80$; 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: Wetlands, coastal zones, aquatic plants, invasive species, biomass, fertilizers, waste treatment, Peru.

Recibido: 06/08/2024

Aceptado: 13/06/2025

Publicado *ahead of print*: 09/07/2025

Versión final: 01/03/2026

Introducción

Los precios de los fertilizantes se han ido incrementando en el ámbito internacional. En 2021 alcanzaron valores antes no registrados, sobre todo los fertilizantes nitrogenados, como el caso de la urea, cuyo precio se triplicó en 2022 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022). Tales cambios económicos influyen directamente al Perú, pues 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 empleo 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 tal contexto, el aprovechamiento de cualquier tipo de residuos de naturaleza orgánica mediante su transformación en abono es una forma eficiente de aprovechar dichos recursos (Ramos & Terry, 2014).

Una de las técnicas de mayor acceso para las personas es el uso de abonos orgánicos a partir del proceso de compostaje (Ramírez & Duque, 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, Trujillo, & Torres, 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.*, 2019). La actividad microbiana origina diferentes variables durante el proceso del compostaje (producción de nitritos, nitratos, amoníaco, metabolitos secundarios y dióxido de carbono) para transformar la energía, los cuales establecen la tasa de degradación de la materia orgánica (Molano, 2004). La producción de compost puede utilizar como materia prima los derivados de la actividad agrícola, como la pulpa de café y paja de trigo (López *et al.*, 2015), así como residuos vegetales no agrícolas provenientes de ecosistemas acuáticos (Barrionuevo, Flores, & Dussi, 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 & 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, pues posee una alta tasa de reproducción, buena tolerancia a la humedad, temperatura, pH y variabilidad alimenticia (materia orgánica de origen vegetal o animal, descompuesta parcial o totalmente) (Cáceres, Calisaya, & Bedoya, 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).

El empleo a gran escala de estas técnicas es una de las formas de aprovechar plantas acuáticas invasoras nocivas, las cuales no requieren fertilizantes, labranza o semillas 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 *P. 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 —ecosistemas acuáticos con vegetación que dependen altamente del sistema hidrológico (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018)— presentan las condiciones para utilizar sus plantas acuáticas como materia prima. Tal es el caso del humedal Santa Rosa (Lima, Perú), el cual, debido a los procesos de eutrofización (Loayza, Castillejos, Mestas, & Quiliche, 2017), mantiene una gran población de *P. stratiotes*, la cual ocupa gran parte de la laguna principal (Ramirez, Aponte, & Cano, 2010). A pesar de que la planta es retirada de la laguna de manera manual (Pallarozo, 2022) hasta la fecha no ha sido posible controlar su población, aprovechar su disponibilidad y conocer su modelo de crecimiento en un humedal costero. Esta situación permite contar con una gran cantidad de materia prima con potencial para la generación de compost para su uso como abono. En dicho escenario, las actividades de extracción sistematizada, complementadas con la realización de técnicas de compostaje, 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.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en el humedal Santa Rosa (252607.62 E, 8717423.92 S), 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, Jiménez, & Portocarrero, 2009).

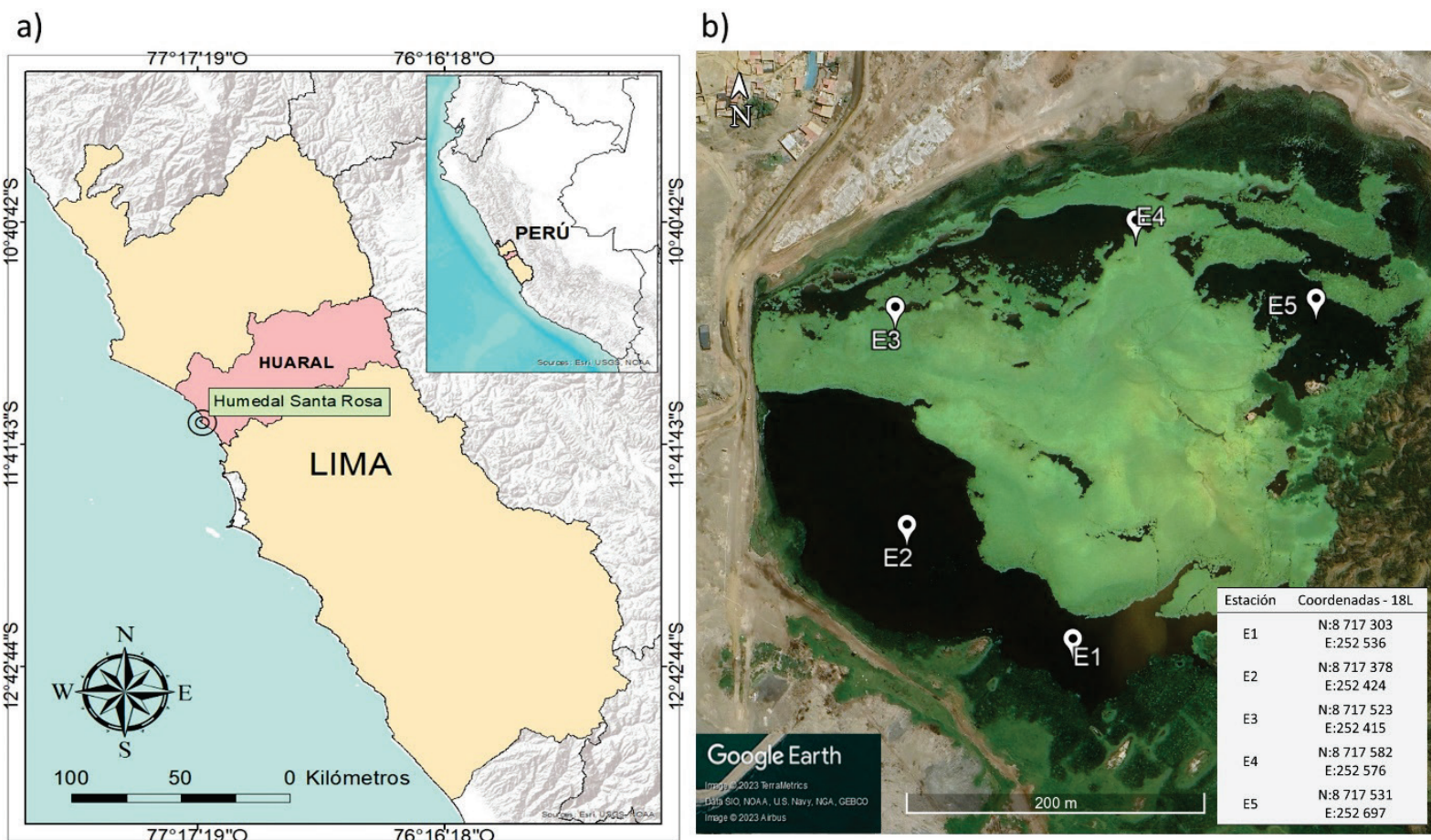


Figura 1. Área de estudio: a) humedal Santa Rosa; b) estaciones de muestreo (E1 = lado sur del espejo de agua; E2, lado suroeste; E3 = lado noroeste; E4 = lado norte; E5 = lado noreste) (fecha de captura: 20/04/2023; Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO; obtenida de *Google Earth*).

Este ecosistema es hábitat de una gran variedad de especies entre las que destacan las aves con 89 especies (Apeño & Aponte, 2022); las plantas vasculares, con 57 especies (Gonzales, Aponte, & Cano, 2019), y los invertebrados acuáticos con 28 655 macroinvertebrados distribuidos en 76 géneros (Castillo & Huamantínco, 2020). Los primeros listados de

su vegetación ya mencionaban la presencia de especies invasoras en el humedal (Ramírez *et al.*, 2010); *P. stratiotes* es la que se encuentra en mayor cantidad sobre la laguna principal (Loayza *et al.*, 2017). Las actividades antrópicas, como ganadería, agricultura, desarrollo demográfico y generación de residuos sólidos que se llevan a cabo a sus alrededores influyen de manera negativa en el humedal (Aponte, Gonzales, & Gomez, 2020).

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.

Tabla 1. Características fisicoquímicas en las estaciones de la laguna evaluada.

Temporada	Estación	pH*	Salinidad (ppm)*	Temperatura (°C)*	STD (ppm)*	C.E. (uS/cm)*	Amonio (mg/l)**	Fosfato (mg/l)**	Fósforo (mg/l)**
Invierno	1	8.15	642	14.5	870	1 300	2.3	1.59	0.6
	2	8.71	700	14.5	938	1 403	1.7	1.54	0.6
	3	8.78	630	14.6	854	1 275	1.2	1.37	0.7
	4	8.64	621	14.8	838	1 254	1.1	1.54	0.8
	5	8.39	607	16.8	822	1 229	1.7	1.62	0.8
Verano	1	9.15	896	32.70	1 189	1 775	1.9	1.02	0.6
	2	9.21	992	33.80	1 304	1 946	2.7	1.09	0.5
	3	9.35	1 120	34.05	1 460	2 190	3.4	0.94	0.5
	4	9.11	759	34.60	1 013	1 504	3.0	1.45	0.3
	5	9.83	923	32.70	1 218	1 819	1.8	0.78	0.2

STD = sólidos totales disueltos

C.E. = conductividad eléctrica

*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

En cada estación se colocaron tres parcelas de 1 m² (1 x 1 m), distribuidas de forma dirigida para 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 m²) 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, es decir, el doble de la biomasa colectada. Este experimento se realizó por duplicado (octubre de 2022 y febrero de 2023) de manera que se obtuvieron datos en dos épocas del año (invierno y verano, respectivamente), que coinciden con la estacionalidad hidrológica (creciente en invierno y bajante en verano) (Castillo & Huamantínco, 2020).

Modelamiento de la biomasa a lo largo del tiempo

Se realizaron regresiones a fin de explicar la biomasa en función del tiempo. Para ello, se hizo uso del *software Curve Expert Professional 2.7.3* (Hyams, 2021), en donde se probaron modelos lineales, exponenciales, hiperbólicos, logísticos, armónicos y gaussianos; se excluyeron los modelos polinomiales, con el propósito de obtener ecuaciones con la menor cantidad de variables posibles. En cada modelo se evaluó lo siguiente: a) el coeficiente de determinación (R^2); b) el coeficiente de correlación (r); c) error estándar (ES), y d) el criterio de información de Akaike (AIC) (Aponte, 2016). Utilizando la herramienta *Curve Finder*, se eligió como mejor modelo aquel que tuviera un coeficiente de determinación cercano a uno, mayor correlación y menor error estándar (Novales, 2010), al igual que 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).

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 252287 E y 8717518 N). 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 & Vilca, 2019).

a)



b)

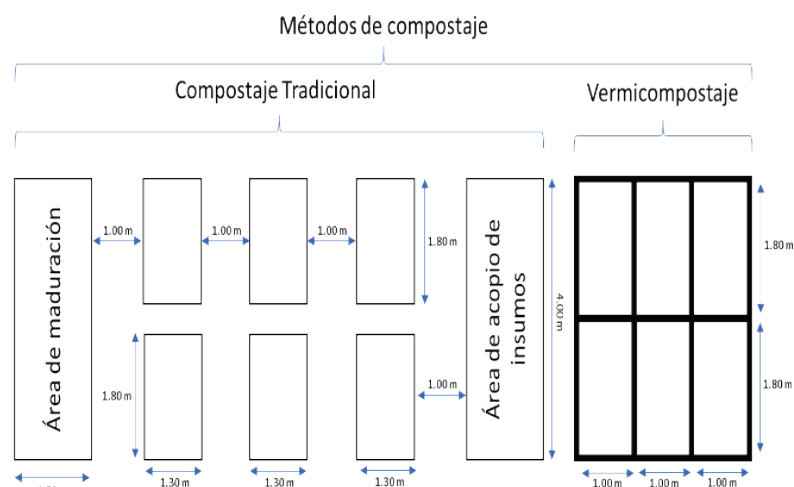


Figura 2. Sistema de compostaje en el humedal Santa Rosa: a) imagen satelital de la planta de compostaje en el humedal Santa Rosa; b) esquema de las dimensiones del sistema de compostaje.

El sistema estuvo compuesto por una infraestructura a base de madera con un techo de 2 m de altura; se emplearon mallas Raschel en el techo (90 % de sombra) y en los lados (80 % de sombra) para proteger

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 se construyeron de concreto con las mismas dimensiones, pero con una altura de 1.00 m, siguiendo las recomendaciones de Román, Martínez y Pantoja (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 de biomasa de *P. stratiotes* (30 y 40 %), porcentajes recomendados para este tipo de biomasa por Silbert, Campitelli, Suárez y Garrido (2018), así como la adición de un acelerador microbiano (concentrado líquido microbiano 100 % natural e inocuo de color marrón amarillenta con pH: 2.9-4.0, contiene mohos, levaduras, bacterias ácido-lácticas), el cual activa la descomposición de la materia orgánica; reduce el tiempo de degradación de los residuos orgánicos hasta un tercio de su tiempo; elimina y controla malos olores y moscas, y favorece los procesos de hidrólisis, fermentación y mineralización de la materia orgánica. Se aplica de manera combinada para cada método de compostaje (tradicional y vermicompostaje); por último, 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 luego los tratamientos sin el acelerador; todo se llevó a cabo en la temporada de invierno entre octubre y noviembre de 2022).

Tabla 2. Tratamientos para los métodos de compostaje y vermicompostaje.

Tratamiento	Tipo de compostaje	% <i>P. stratiotes</i>	% MSeco	% MNit	Acelerador microbiano	F.V./semana
T1	Compostaje tradicional	30	35	35	Sí	2 (1)
T2	Compostaje tradicional	30	35	35	No	1
T3	Compostaje tradicional	40	30	30	Sí	2 (1)
T4	Compostaje tradicional	40	30	30	No	1
V1	Vermicompostaje (+ 1 kg de MPL)	30	35	35	Sí	2 (1)
V2	Vermicompostaje (+ 1 kg de MPL)	30	35	35	No	1
V3	Vermicompostaje (+ 1 kg de MPL)	40	30	30	Sí	2 (1)
V4	Vermicompostaje (+ 1 kg de MPL)	40	30	30	No	1

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)

La biomasa de *P. stratiotes* se depositó en el área de acopio de la planta de compostaje para ser secada por cinco días bajo condiciones ambientales (temperatura ambiental y viento); después se trituro de forma manual (Gil & Benavides, 2019). Los trozos que ingresaron al

sistema tuvieron un tamaño promedio de 1 a 5 cm, con el fin de agilizar el proceso de descomposición (Márquez, 2019).

Las pilas de compostaje se elaboraron de acuerdo con la técnica del armado por capas, donde se colocó una primera capa de material seco (chala) de 10 cm; luego una segunda capa de material nitrificante de 6 cm, seguida de una capa con material orgánico (*P. stratiotes*) de 8 cm; esta secuencia se repitió hasta alcanzar una altura de 70 cm aproximadamente (Silbert *et al.*, 2018). Seguidamente, para la conservación de la humedad, se regó agua desclorada sobre las pilas de compostaje, registrando valores de 40 a 60 % de humedad; se empleó un termómetro de suelo de 50 cm de longitud de marca Genérico, Modelo 340222. Se efectuó 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 se mezclaron (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) se preparó utilizando un litro del concentrado microbiano, que 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, 2018). Se aplicaron 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.

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 evaluaron 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) (Tabla 3). Se consideró como mejor tratamiento al que cumplía con estar dentro de los parámetros fisicoquímicos establecidos en las normativas, que tuviera el menor periodo de descomposición de los residuos vegetales y al que produjera mayor cantidad de sustrato (Ríos, Florida, & Lama, 2023).

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 ₂ O 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	-	-

Adaptado de las normas de parámetros fisicoquímicos en compost:

^aNormativa chilena 2880 (2005)

^bNorma técnica colombiana 5167 (2011)

^cOrganización Mundial de la Salud (2013)

Para el análisis estadístico (Ćwiertniewicz, Ślipko, Banach, & Ziemińska, 2023) se compararon los parámetros fisicoquímicos de cada tratamiento; primero se verificaron 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 luego 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 Tukey (cada vez que hubo diferencia entre los tratamientos). Los promedios obtenidos para cada parámetro fisicoquímicos se representaron mediante un diagrama de cajas.

Resultados y discusión

Modelamiento de la dinámica poblacional de *P. stratiotes*

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.

Estaciones	Modelo	Tipo	Variables	Confiabilidad	TD (días)
Invierno					
Estación 1	$y = q_0(e)^{\frac{-x}{a}}$	Descenso exponencial	$q_0 = 3.08$ $a = -31.10$	$EE = 0.11$ $CC = 0.98$ $R^2 = 0.97$	20.70
Estación 2	$y = \frac{q_0}{(1 + \frac{x}{a})}$	Declive armónico	$q_0 = 3.06$ $a = -36.30$	$EE = 0.18$ $CC = 0.97$ $R^2 = 0.94$	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	$q_0 = 3.04$ $a = -17.87$ $b = -2.28$	$EE = 0.27$ $CC = 0.93$ $R^2 = 0.86$	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	$q_0 = 3.09$ $a = -31.09$	$EE = 0.11$ $CC = 0.99$ $R^2 = 0.97$	20.64
Verano					
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

Estaciones	Modelo	Tipo	Variables	Confiabilidad	TD (días)
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

EE = error estándar

CC = coeficiente de correlación

R^2 = 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)

Las diferencias en el crecimiento de *P. stratiotes* en cada estación probablemente se deben a que las condiciones fisicoquímicas del agua del humedal no son homogéneas (Tabla 1). Al eutrofizarse un cuerpo de agua, favorece la colonización y el desarrollo de plantas asociadas con estas condiciones, también influenciadas por la cantidad y calidad de agua (Díaz & Sotomayor, 2012), como lo observado en las estaciones 3, 4 y 5. Esta dinámica es característica de humedales someros (Maltchik, Rolon, & Schott, 2007; Meerhoff & Beklioglu, 2024). Al aumentar los nutrientes en el espejo de agua de los humedales, se incrementa la presencia de “malezas acuáticas” como *P. stratiotes*, que cuando acrecientan en gran

medida su abundancia modifican la calidad de agua calidad de los humedales (Jaklič, Koren, & Jogan, 2020; Piedra, Castillo, & Calvo, 2016). 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-Coelho, Deboni, & Santos-Lopes, 2005). Esto se asemeja a lo reportado por Haroon (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 obtenido en la presente investigación es mayor al reportado por Chadli, Mardi, Boualam, Bouslamti y Ennabili (2023), quienes determinaron que, en condiciones de laboratorio, la biomasa de *P. stratiotes* se duplicaba en 10 días aproximadamente.

Compostaje tradicional y vermicompostaje

En la Figura 3 se observan las características fisicoquímicas del compost preparado; el % de nitrógeno total, P_2O_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.

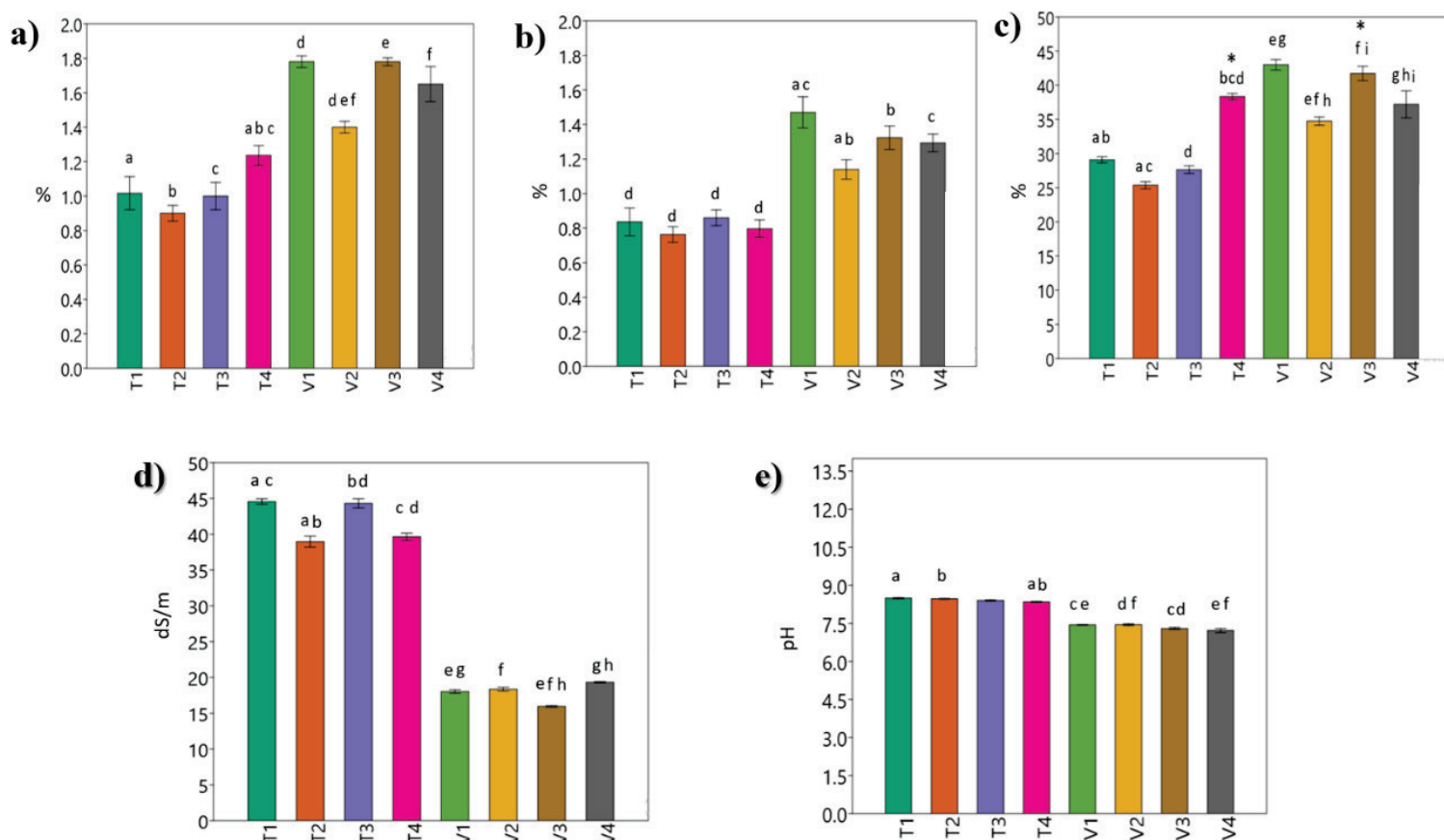


Figura 3. Diagrama de cajas del a) % de nitrógeno total; b) % de P_2O_5 ; c) % de M.O.; d) conductividad eléctrica, y e) pH para el compostaje tradicional (T) y vermicompostaje (V), considerando la media y el error estándar. Se exponen también los resultados de la prueba de agrupamiento de Tukey cada 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*.

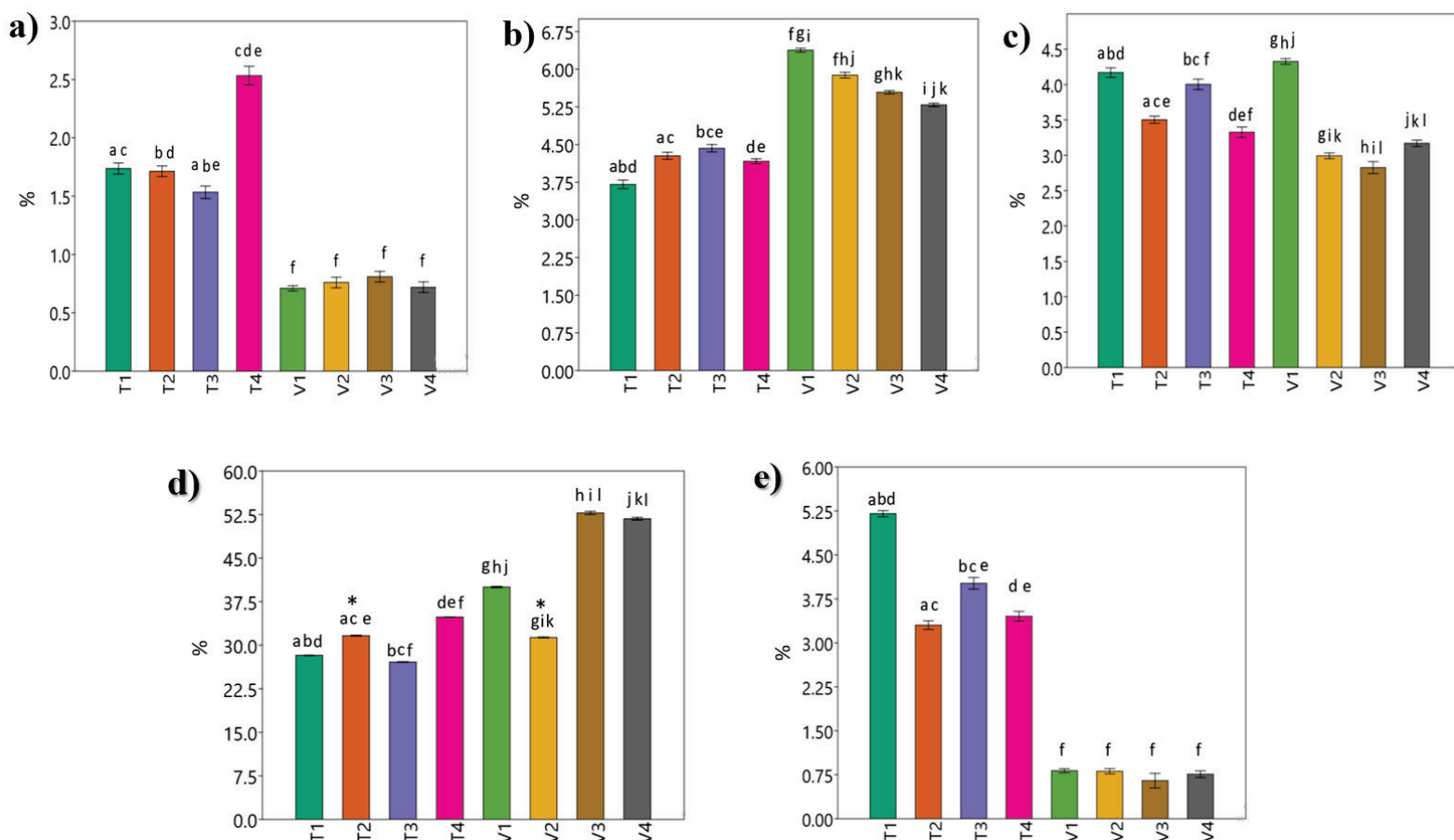


Figura 4. Diagrama de cajas del a) % de K₂O; b) % de CaO; c) % de MgO; d) % de humedad, y e) % de Na para el compostaje tradicional (T) y vermicompostaje (V), considerando la media y el error estándar. Se exponen también los resultados de la prueba de agrupamiento de Tukey cada vez que hubo diferencia 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, Karlanian,

Rizzo, & Riera, 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 (Torres *et al.*, 2018). El pH no depende de los tiempos de volteo y compostaje, sin embargo, es dependiente de los materiales sometidos al proceso (Ríos *et al.*, 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 Kjeldhal, los valores obtenidos en los tratamientos están dentro del rango de las normativas de compostaje NTC 5167 y OMS, presentando valores de 0.86 a 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, Martínez, Ramírez, Valenzuela, & Valdés, 2014). Por otro lado, la M.O. presente en el compostaje tradicional y vermicompostaje presenta 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 por completo, pero no necesariamente indica que sus demás características no admitan su aplicación (Ramírez, Vázquez, Méndez, & Mejía, 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 con 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 (Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997). 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 de 6.07, nitrógeno total de 0.71 %, 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, Uribe, Newcomer, Master, & Kinyua, 2018), en comparación con 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, Solís, Villegas, & Cardoso, 2013; Iglesias, 1995), a la vez que 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, sobre todo 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, turbidez y características químicas de los cuerpos de agua (Sannigrahi, 2009); en este caso, el humedal estudiado se

encuentra muy cerca del mar, por lo que el compost puede haber adquirido características de éste.

Eficiencia de la producción de compost y vermicompost

Se determinó que el tratamiento más eficiente fue T1, pues 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 C.E. 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 cómo el acelerador microbiano permitió reducir los tiempos de producción de compost.

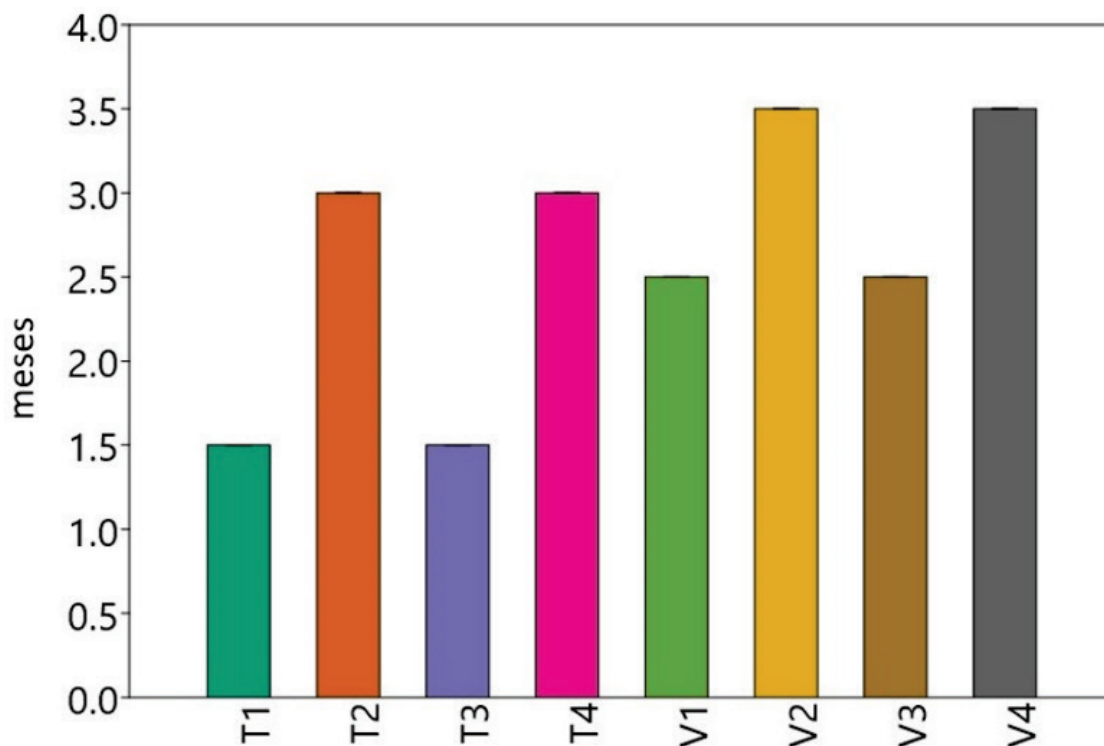


Figura 5. Tiempo de producción de compost de cada tratamiento (T = compostaje tradicional; V = vermicompostaje. Ver la Tabla 2 para los detalles de cada tratamiento).

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 procesan 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), lo que evidencia un retraso en ausencia de un acelerador microbiano. 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 & Kalamdhad, 2018). Se 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 dos 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); el sustrato se obtuvo en el transcurso de dos meses y medio.

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 ser de 65.17 t y 697.08 t para invierno; dichas biomásas cubrirán la tercera parte del espejo de agua de la laguna principal, equivalente a 12 mil toneladas (Zamora, 2023), en un periodo de tres meses. Eso significa que primero será necesario una extracción intensiva, a fin de solo dejar las biomásas 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 (dos en verano y dos en invierno) de 12 538 t en

verano y 11 906.26 t en invierno, las cuales permitirán mantener la laguna parcialmente libre de la planta.

- c) Una tonelada extraída se deberá destinar al sistema de compostaje de manera que pueda ser procesada utilizando las características del tratamiento T1.

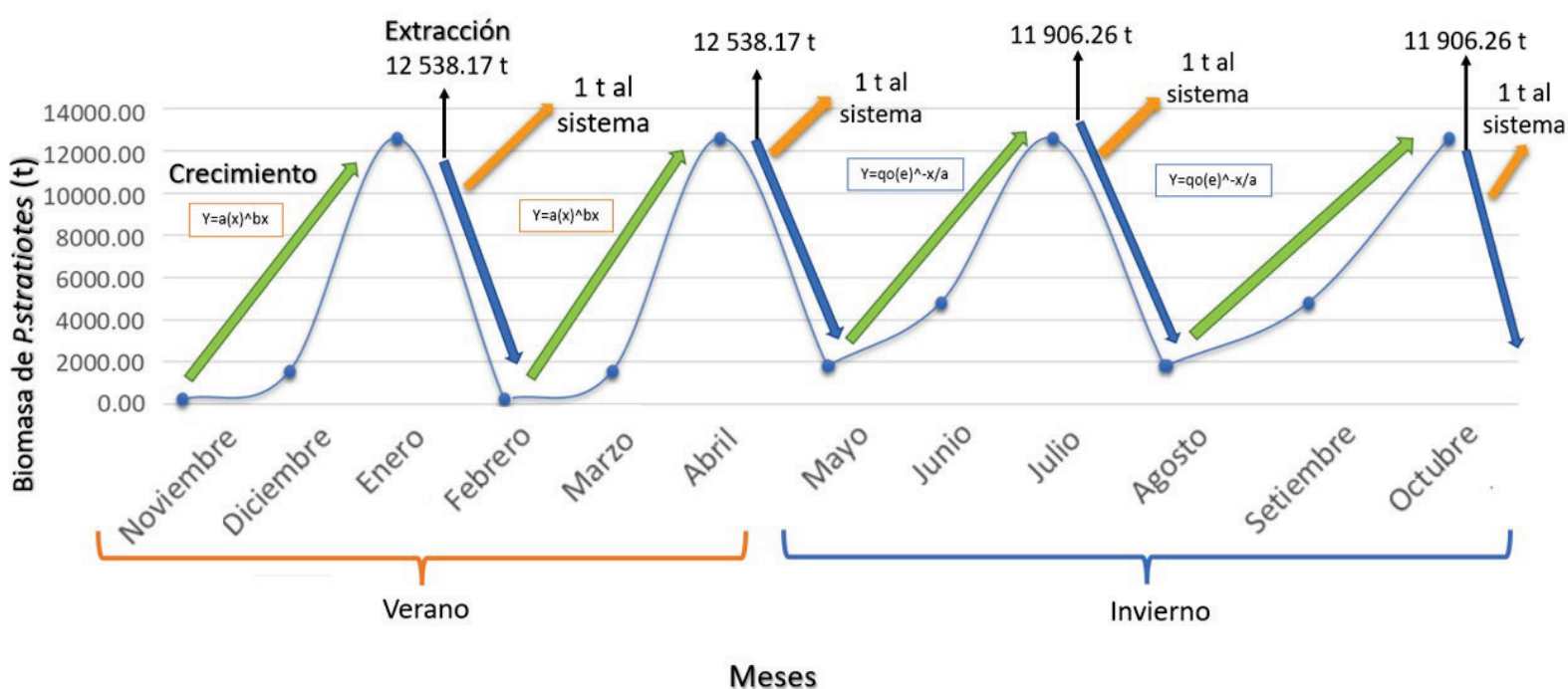


Figura 6. Modelo de uso sostenible de *P. stratiotes* basado en la relación de las metodologías de compostaje y los modelos de crecimiento de esta biomasa en el humedal Santa Rosa.

La gran limitante de este proceso de producción de compost es la planta de producción, pues hay que involucrar a otros actores (p. ej., empresas locales, población rural y organizaciones sin fines de lucro) con lo cual 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 usado en la producción de biocombustibles (Gusaín & Suthar, 2017), como alimento (forraje) para ganado vacuno, ovino y porcino (Bonilla & Santamaría, 2021), y fitorremediación (Nahar & 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.

Conclusiones

Los resultados obtenidos mostraron que la dinámica de la especie es particular a cada zona de la laguna principal; se encontró que los modelos que mejor explican su crecimiento son el modelo de descenso exponencial (para invierno) y el modelo geométrico (para verano). Para esta investigación, considerando el tiempo y cantidad de nutrientes, 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 dicha 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 uno de los estudios pioneros en integrar la dinámica

poblacional de *P. stratiotes* y la producción de compost *in situ* en un humedal peruano.

Agradecimientos

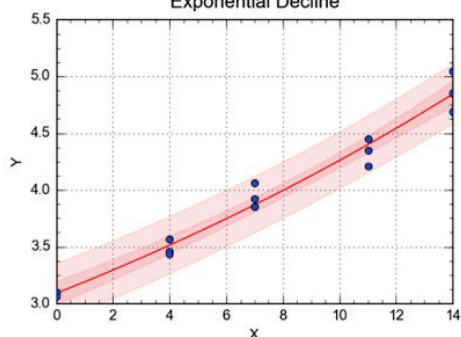
Este trabajo fue parcialmente financiado por el proyecto Degradación ambiental vs. respuesta ecosistémica: un estudio de caso en el humedal Santa Rosa desde una perspectiva limnológica (código de registro: 004-2020-PRO99) ganador de la Beca Cabieses, Fondo Semilla Docente 2020 de la Universidad Científica del Sur, Perú. Asimismo, se brinda agradecimiento al Comité de Vigilancia Ambiental del Humedal Santa Rosa-Chancay por su valiosa colaboración y apoyo en la realización de esta investigación.

Material complementario

Ver la Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10 y Figura 11.

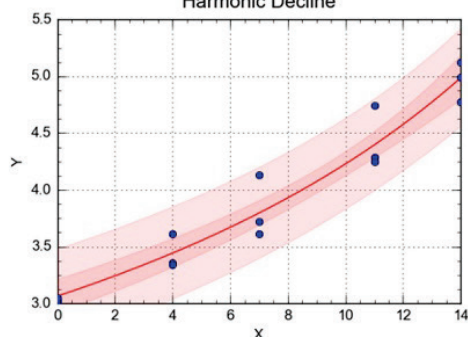
Estación N°1

Exponential Decline



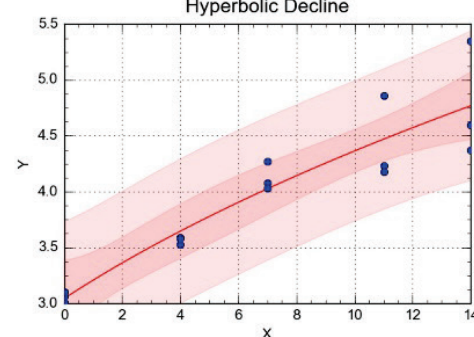
Estación N°2

Harmonic Decline



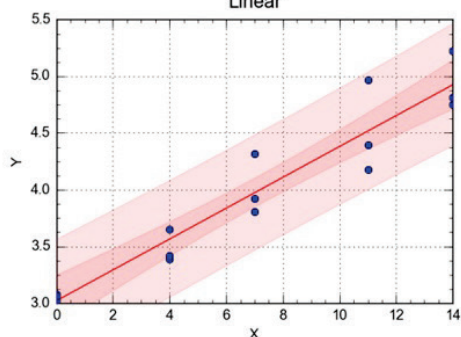
Estación N°4

Hyperbolic Decline



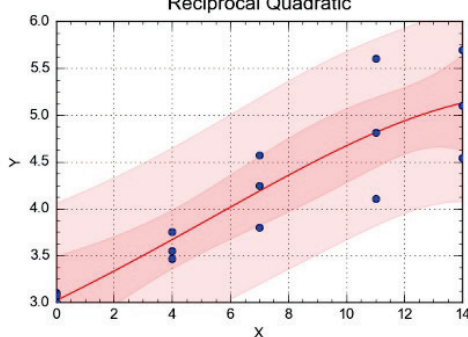
Estación N°3

Linear



Estación N°5

Reciprocal Quadratic



Todas las Estaciones – Ecuación general

Exponential Decline

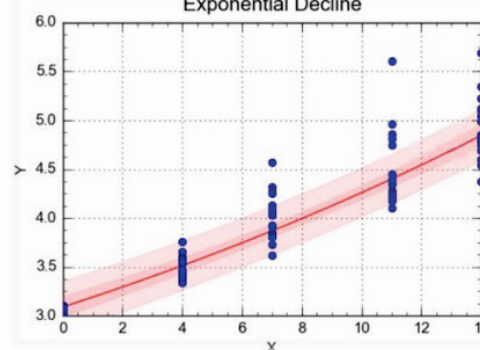


Figura 7. Gráficas de los modelos matemáticos de la dinámica poblacional-invierno (X representa al tiempo en días y Y, el peso en kg de biomasa de *P. stratiotes*).

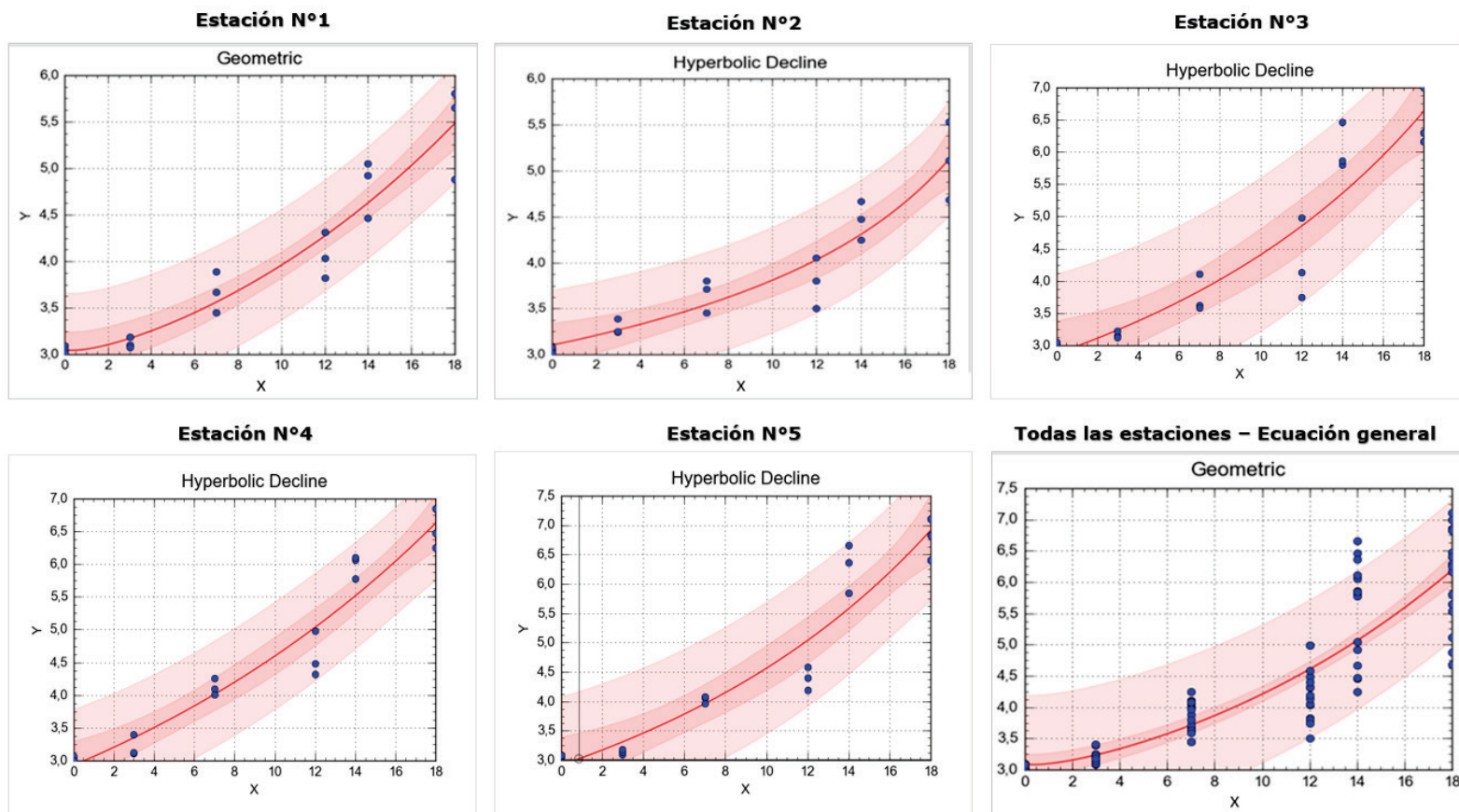


Figura 8. Gráficas de los modelos matemáticos de la dinámica poblacional-verano (X representa al tiempo en días y Y, el peso en kg de biomasa de *P. stratiotes*).

Estación N°1

Results					Model Information	
Name	Kind	Score	R ²	Std. Err.	AICC	
Exponential Decline	Regression	945	0.973304	0.110330	-45.804..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Exponential	Regression	945	0.973304	0.110330	-45.804..	
Modified Power	Regression	945	0.973304	0.110330	-45.804..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Fanizadgh-Harris	Regression	945	0.973342	0.114944	-43.246..	
Hyperbolic Decline	Regression	944	0.973372	0.115312	-43.130..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Gaussian Model	Regression	944	0.973387	0.115323	-43.147..	
Korfma Model	Regression	944	0.973757	0.119965	-41.187..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Logistic	Regression	944	0.973934	0.119569	-41.112..	
Gompertz Relation	Regression	944	0.973209	0.119564	-43.059..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Ratkowsky Model	Regression	944	0.973352	0.115336	-43.139..	
Reciprocal Quadratic	Regression	944	0.973143	0.119806	-43.022..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Bleedake	Regression	944	0.973360	0.115401	-43.111..	
Sinusoidal	Regression	943	0.973270	0.120670	-39.911..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Richards	Regression	943	0.973304	0.120593	-39.830..	
Weibull Model	Regression	942	0.972681	0.121366	-39.738..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Linear	Regression	941	0.973554	0.116988	-34.232..	
Lowess Smoothing	Smoother	940	0.973687	0.120738	-41.771..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Harmonic Decline	Regression	939	0.968813	0.118899	-43.472..	

$$y = q_0 e^{-x/a}$$

Estación N°2

Results					Model Information	
Name	Kind	Score	R ²	Std. Err.	AICC	
Harmonic Decline	Regression	933	0.944510	0.178993	-51.457..	Name: Harmonic Decline Type: Regression
Hyperbolic Decline	Regression	933	0.944661	0.184318	-48.079..	
Exponential	Regression	933	0.944474	0.178011	-51.440..	Name: Harmonic Decline Type: Regression
Exponential Association 3	Regression	933	0.944570	0.184293	-48.080..	
Modified Power	Regression	933	0.944474	0.178011	-51.440..	Name: Harmonic Decline Type: Regression
Logistic	Regression	933	0.943647	0.184343	-48.075..	
Reciprocal	Regression	933	0.944510	0.178993	-51.457..	Name: Harmonic Decline Type: Regression
Discrete	Regression	933	0.944560	0.184318	-48.079..	
Reciprocal Quadratic	Regression	933	0.943662	0.184017	-48.080..	Name: Harmonic Decline Type: Regression
Fanizadgh-Harris	Regression	932	0.943407	0.184749	-48.008..	
Lowess Smoothing	Smoother	932	0.943260	0.184890	-48.969..	Name: Harmonic Decline Type: Regression
Rational Model	Regression	931	0.945736	0.183881	-45.918..	
Sinusoidal	Regression	931	0.943762	0.183936	-45.925..	Name: Harmonic Decline Type: Regression
Weibull Model	Regression	931	0.943530	0.182747	-43.861..	
Ratkowsky Model	Regression	931	0.944276	0.186953	-48.702..	Name: Harmonic Decline Type: Regression
Linear	Regression	899	0.942688	0.189447	-48.325..	
Richards	Regression	899	0.944474	0.184025	-45.572..	Name: Harmonic Decline Type: Regression
Geometric	Regression	890	0.934875	0.193889	-49.056..	

$$y = q_0 / (1 + x/a)$$

Estación N°3

Results					Model Information	
Name	Kind	Score	R ²	Std. Err.	AICC	
Linear	Regression	861	0.909763	0.220109	-44.176..	Name: Linear Type: Regression
Gaussian Model	Regression	860	0.910181	0.236847	-41.557..	
Gompertz Relation	Regression	860	0.910060	0.236980	-41.540..	Name: Linear Type: Regression
Logistic	Regression	860	0.910216	0.236814	-41.561..	
Ratkowsky Model	Regression	860	0.910216	0.236814	-41.561..	Name: Linear Type: Regression
Hyperbolic Decline	Regression	860	0.909879	0.237128	-41.522..	
Reciprocal Quadratic	Regression	860	0.910586	0.236911	-41.615..	Name: Linear Type: Regression
DR-Hill	Regression	859	0.911777	0.240184	-38.942..	
Exponential Association 3	Regression	859	0.909471	0.237795	-41.437..	Name: Linear Type: Regression
Weibull Model	Regression	859	0.911634	0.245383	-38.618..	
Exponential Decline	Regression	858	0.907010	0.231550	-43.727..	Name: Linear Type: Regression
Exponential	Regression	858	0.907010	0.231550	-43.727..	
Rational Model	Regression	858	0.910580	0.246828	-38.442..	Name: Linear Type: Regression
Modified Power	Regression	858	0.907010	0.231550	-43.727..	
Richards	Regression	858	0.910540	0.246897	-38.433..	Name: Linear Type: Regression
Exponential Plus Linear	Regression	857	0.909753	0.247950	-38.392..	
Piecewise Linear	Regression	857	0.909753	0.247950	-38.392..	Name: Linear Type: Regression
Discrete	Regression	856	0.907067	0.241008	-41.034..	

$$y = a + bx$$

Estación N°4

Results					Model Information	
Name	Kind	Score	R ²	Std. Err.	AICC	
Hyperbolic Decline	Regression	811	0.899362	0.274248	-37.194..	Name: Hyperbolic Decline Type: Regression
Exponential Association 3	Regression	811	0.893313	0.274404	-37.141..	
Gaussian Model	Regression	811	0.893404	0.274215	-37.141..	Name: Hyperbolic Decline Type: Regression
Logistic	Regression	811	0.893636	0.274206	-37.176..	
Gompertz Relation	Regression	811	0.893511	0.274209	-37.163..	Name: Hyperbolic Decline Type: Regression
Ratkowsky Model	Regression	811	0.893636	0.274206	-37.176..	
DR-Hill	Regression	810	0.892335	0.284575	-34.173..	Name: Hyperbolic Decline Type: Regression
MVP	Regression	810	0.892335	0.284575	-34.173..	
Weibull Model	Regression	810	0.891480	0.285209	-34.068..	Name: Hyperbolic Decline Type: Regression
Reciprocal Quadratic	Regression	810	0.893493	0.275209	-37.053..	
Rational Model	Regression	809	0.892538	0.286386	-33.982..	Name: Hyperbolic Decline Type: Regression
Richards	Regression	809	0.892682	0.286227	-33.998..	
Exponential Plus Linear	Regression	808	0.892388	0.286549	-33.965..	Name: Hyperbolic Decline Type: Regression
Fanizadgh-Harris	Regression	807	0.892610	0.276405	-36.707..	
Linear	Regression	806	0.893236	0.277125	-36.194..	Name: Hyperbolic Decline Type: Regression
Piecewise Linear	Regression	801	0.893236	0.280669	-33.230..	
Exponential Decline	Regression	792	0.840301	0.281882	-37.825..	Name: Hyperbolic Decline Type: Regression
Exponential	Regression	792	0.840301	0.281882	-37.825..	

$$y = q_0 (1 + bx/a)^{-1/b}$$

Estación N°5

Results					Model Information	
Name	Kind	Score	R ²	Std. Err.	AICC	
Reciprocal Quadratic	Regression	741	0.800362	0.424837	-24.021..	Name: Reciprocal Quadratic Type: Regression
DR-Hill	Regression	740	0.800363	0.440932	-21.038..	
Weibull Model	Regression	740	0.800363	0.440930	-21.038..	Name: Reciprocal Quadratic Type: Regression
MVP	Regression	740	0.800363	0.440932	-21.038..	
Gaussian Model	Regression	739	0.798189	0.427243	-23.839..	Name: Reciprocal Quadratic Type: Regression
Rational Model	Regression	739	0.801886	0.442348	-20.940..	
Richards	Regression	739	0.801901	0.444476	-20.911..	Name: Reciprocal Quadratic Type: Regression
Lowess Smoothing	Smoother	739	0.798410	0.426999	-23.878..	
Logistic	Regression	738	0.797885	0.427777	-23.821..	Name: Reciprocal Quadratic Type: Regression
Ratkowsky Model	Regression	738	0.797885	0.427777	-23.821..	
Linear	Regression	738	0.794646	0.414070	-26.290..	Name: Reciprocal Quadratic Type: Regression
Exponential Association 3	Regression	737	0.795244	0.426297	-23.715..	
Hyperbolic Decline	Regression	737	0.795974	0.426257	-23.768..	Name: Reciprocal Quadratic Type: Regression
Hyperbolic Decline	Regression	736	0.793885	0.428673	-23.688..	
Exponential Plus Linear	Regression	733	0.796322	0.440301	-20.339..	Name: Reciprocal Quadratic Type: Regression
Piecewise Linear	Regression	732	0.794466	0.439142	-20.476..	
Fanizadgh-Harris	Regression	730	0.798921	0.438011	-21.248..	Name: Reciprocal Quadratic Type: Regression
Exponential Decline	Regression	728	0.784111	0.424558	-23.545..	

$$y = 1/(a + bx + cx^2)$$

Todas las estaciones – Ecuación general

Results					Model Information	
Name	Kind	Score	R ²	Std. Err.	AICC	
Gompertz Relation	Regression	824	0.891588	0.268067	-195.51..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Exponential Association 3	Regression	823	0.894025	0.269040	-193.25..	
Exponential Plus Linear	Regression	823	0.893006	0.271062	-193.25..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Piecewise Linear	Regression	821	0.892875	0.271790	-194.30..	
Fanizadgh-Harris	Regression	821	0.892875	0.271790	-194.30..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Hyperbolic Decline	Regression	820	0.891757	0.271119	-199.75..	
Exponential	Regression	820	0.891757	0.271119	-199.75..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Modified Power	Regression	820	0.891757	0.271119	-199.75..	
Discrete	Regression	820	0.891756	0.272987	-193.63..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Lowess Smoothing	Smoother	820	0.893534	0.275181	-192.44..	
Harmonic Decline	Regression	809	0.893060	0.281508	-190.11..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Reciprocal	Regression	809	0.893060	0.281508	-190.11..	
Geometric	Regression	788	0.893216	0.300461	-180.23..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Sinusoidal	Regression	426	0.291886	0.622208	-61.925..	
Truncated Fourier Series	Regression	240	0.000000	1.320111	47.2554..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Substition Growth Rate	Regression	237	0.000000	1.414338	52.0268..	
Power	Regression	237	0.000000	1.414688	51.7428..	Name: Exponential Decline Type: Regression
Reciprocal YD	Regression	237	0.000000	1.414688	52.0268..	

$$y = q_0 e^{-x/a}$$

Figura 9. Elección del mejor modelo-invierno. Para cada modelo se muestra el tipo de modelo (*kind*), *score* (puntaje alcanzado según parámetros de selección), coeficiente de determinación (*R*²), error estándar y criterio de información de Akaike (AICC).

Estación N°1

Results	Kind	Score	R ²	Std_Er	AICC
Geometric	Regression	871	0.917542	0.272952	-46.614...
Harmonic Decline	Regression	868	0.917309	0.273660	-46.089...
Rational Model	Regression	868	0.917234	0.263348	-41.088...
Statistical	Regression	868	0.917346	0.263348	-41.107...
Weibull Model	Regression	868	0.917347	0.263342	-41.107...
Reciprocal	Regression	868	0.919103	0.279960	-46.089...
Farzadgh-Harris	Regression	868	0.919677	0.282075	-43.861...
Hyperbolic Decline	Regression	867	0.919188	0.283960	-43.557...
Logistic	Regression	867	0.919182	0.283944	-43.538...
Bisectable	Regression	867	0.919188	0.283960	-43.557...
Reciprocal Quadratic	Regression	867	0.919255	0.283786	-43.572...
Lowest Smoothing	Smoothing	862	0.919089	0.283868	-42.690...
Exponential Decline	Regression	857	0.905420	0.263329	-44.145...
Exponential	Regression	857	0.905420	0.263329	-44.145...
Modified Power	Regression	857	0.905420	0.263329	-44.145...
Rankin Model	Regression	855	0.903172	0.263213	-41.540...
Richards	Regression	853	0.905420	0.273213	-43.061...
Geometric Relation	Regression	851	0.901675	0.307835	-40.896...

Model Information
Name: Geometric
Type: Regression
$y = ax^{bx}$

Estación N°2

Results	Kind	Score	R ²	Std_Er	AICC
Hyperbolic Decline	Regression	850	0.895268	0.236335	-47.487...
Bisectable	Regression	850	0.895268	0.236335	-47.487...
Rational Model	Regression	849	0.895387	0.263379	-44.594...
Reciprocal Quadratic	Regression	849	0.895482	0.257304	-47.351...
Farzadgh-Harris	Regression	847	0.893352	0.259912	-46.968...
Harmonic Decline	Regression	841	0.889459	0.259964	-46.411...
Reciprocal	Regression	841	0.889459	0.259964	-46.411...
Geometric	Regression	839	0.884666	0.261478	-48.160...
Logistic	Regression	839	0.884666	0.261478	-48.160...
Weibull Model	Regression	833	0.887186	0.276701	-43.062...
Lowest Smoothing	Smoothing	825	0.879912	0.262810	-43.974...
Exponential Decline	Regression	821	0.868346	0.279396	-45.774...
Exponential	Regression	821	0.868346	0.279396	-45.774...
Modified Power	Regression	821	0.868346	0.279396	-45.774...
Rankin Model	Regression	819	0.868346	0.280939	-43.177...
Richards	Regression	817	0.868346	0.280939	-43.177...
Geometric Relation	Regression	814	0.868346	0.280939	-43.177...
Linear	Regression	796	0.844666	0.302715	-42.770...

Model Information
Name: Hyperbolic Decline
Type: Regression
$y = q_0(1 + bx/a)^{-1/b}$

Estación N°4

Results	Kind	Score	R ²	Std_Er	AICC
Hyperbolic Decline	Regression	862	0.937687	0.361050	-35.156...
Bisectable	Regression	862	0.937687	0.361050	-35.156...
Logistic	Regression	862	0.937677	0.361107	-35.150...
Rational Model	Regression	862	0.937641	0.361155	-35.145...
Geometric Relation	Regression	861	0.936809	0.361325	-34.010...
Farzadgh-Harris	Regression	857	0.938426	0.373220	-33.962...
Lowest Smoothing	Smoothing	884	0.931650	0.378165	-33.488...
Geometric	Regression	883	0.929181	0.372711	-33.400...
Harmonic Decline	Regression	878	0.925240	0.382941	-34.425...
Reciprocal	Regression	878	0.925240	0.382941	-34.425...
Linear	Regression	875	0.922861	0.386888	-33.861...
Exponential Plus Linear	Regression	879	0.922356	0.402542	-33.231...
Piecewise Linear	Regression	871	0.922861	0.415845	-28.387...
Power	Regression	322	0.038214	1.373528	11.5536...
Power	Regression	321	0.067257	1.396891	13.5537...
Farzadgh-Harris-YD	Regression	320	0.063888	1.399512	13.6186...
Reciprocal Quadratic-YD	Regression	320	0.063945	1.397973	13.5796...

Model Information
Name: Hyperbolic Decline
Type: Regression
$y = q_0(1 + bx/a)^{-1/b}$

Todas las estaciones – Ecuación general

Results	Kind	Score	R ²	Std_Er	AICC
Savitzky-Golay Smoothing	Smoothing	797	0.845638	0.496582	-127.22...
Rational Model	Regression	793	0.842173	0.498285	-123.19...
Weibull Model	Regression	793	0.840003	0.555279	-103.70...
Lowest Smoothing	Smoothing	793	0.839754	0.553430	-103.73...
Geometric	Regression	794	0.802264	0.551264	-107.14...
Hyperbolic Decline	Regression	793	0.801322	0.555842	-104.62...
Bisectable	Regression	793	0.801322	0.555842	-104.62...
Reciprocal Quadratic	Regression	793	0.801265	0.555802	-104.59...
Logistic	Regression	793	0.801128	0.558174	-104.55...
Harmonic Decline	Regression	792	0.799665	0.554877	-103.96...
Reciprocal	Regression	792	0.799665	0.554877	-103.96...
Farzadgh-Harris	Regression	792	0.800166	0.557857	-104.09...
Exponential Decline	Regression	790	0.797560	0.557872	-105.02...
Exponential	Regression	790	0.797560	0.557872	-105.02...
Modified Power	Regression	790	0.797560	0.557872	-105.02...
Richards	Regression	749	0.797560	0.564322	-100.79...
Rankin Model	Regression	749	0.797426	0.561265	-100.87...
Geometric Relation	Regression	747	0.796486	0.564892	-101.77...

Model Information
Name: Geometric
Type: Regression
$y = ax^{bx}$

Figura 10. Elección del mejor modelo-verano. Para cada modelo se muestra el tipo de modelo (*kind*), *score* (puntaje alcanzado según parámetros de selección), coeficiente de determinación (R^2), error estándar y criterio de información de Akaike (AICC).



Figura 11. Estación de muestreo de *P. stratiotes* en el humedal Santa Rosa, Chancay, Perú, parcelas de 1 m² (1 x 1 m).

Referencias

- Acosta, C., Solís, O., Villegas, O., & Cardoso, L. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense*, 37(1), 127-139. <https://doi.org/10.15517/rac.v37i1.10718>
- Alcántara, B., Jiménez, R., & Portocarrero, O. (2009). *Caracterización y evaluación de los principales factores biológicos del humedal de Santa Rosa como base para su conservación, manejo y gestión*. Huacho, Perú: Gobierno Regional de Lima (GORE Lima). Recuperado de <https://n9.cl/e63sk>

- Apeño, A., & Aponte, H. (2022). Caracterización de la diversidad de aves en un humedal altamente intervenido del Pacífico suramericano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(179), 380-392. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1605>
- 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 doctorado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/4918>
- Aponte, H., Gonzales, S., & Gomez, A. (2020). Impulsores de cambio en los humedales de América Latina: el caso de los humedales costeros de Lima. *South Sustainability*, 1(2), 57-61. <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-023>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2022). *Panorama actual y proyecciones macroeconómicas 2022-2023 (reporte de inflación junio 2022)*. Recuperado de <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://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>

- Barrionuevo, M., Flores, L., & 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*, 13(3), 1022-1031. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.69832>
- Bazán, R. (1996). *Manual para el análisis químico de suelos, plantas y agua*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Beltrán, M. F., Nieto, A., Murillo, J. S. A., Ruiz, F. H., Troyo, E., Alcala, J. A., & Murillo, B. (2019). Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *México: Terra Latinoamericana*, 37(4), 371-378. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.520>
- Bonilla, J., & Santamaría, B. (2021). Plantas acuáticas invasoras en humedales. *Inventio*, 10(21), 33-38. Recuperado de <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/310>
- Cáceres, D., Calisaya, G., & Bedoya, E. (2018). Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, 4(número especial), 13-23. Recuperado de <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/115/99>
- 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*, 10(2), 330-341. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.2163>

- Camacho, J. I., Martínez, L., Ramírez, H., Valenzuela, R., & Valdés, M. (2014). Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 291-300. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000400291
- Castillo, R. M., & Huamantínco, A. A. (2020). Variación espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona litoral del humedal costero Santa Rosa, Lima, Perú. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 50-68. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i1.35233>
- Chadli, C., Mardi, L., Boualam, O., Bouslamti, R., & Ennabili, A. (2023). Experimental control tests of *Pistia stratiotes* L., an invasive aquatic plant of lentic habitats (Fez, Morocco). *Scientific African*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01775>
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales: estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar. Recuperado de https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf
- Ćwiertniewicz, M., Ślipko, K., Banach, A., & Ziemińska, A. (2023). Influencia de las bacterias celulolíticas autóctonas en la mejora del proceso de compostaje doméstico. *BioTecnología*, 104 (1), 5-20. <https://doi.org/10.5114/bta.2023.125082>

- Damiani, M. (2016). *Evaluación físico-químico de compost, elaborado a partir de Pistia stratiotes más estiércol de bovino bajo cuatro métodos de compostaje* (tesis de grado). Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/3257>
- Díaz, A., & Sotomayor, L. (2012). *Evaluación de la eutrofización de la laguna Conococha - Ancash a agosto de 2012* (tesis de grado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú. Recuperado de <https://biblioteca.unasam.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=22858>
- 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, Valencia, España. Recuperado de 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. <https://doi.org/10.15517/rbt.v53i3-4.14599>
- Gil, S., & Benavides, H. (2019). *Diseño de horno deshidratador de residuos orgánicos* (tesis de grado). Universidad EIA, Envigado, Antioquia, Colombia. Recuperado de <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/8804f936-c2ff-4b60-b415-b9ecefddce1c/content>

- Gonzales, S., Aponte, H., & Cano, A. (2019). Actualización de la flora vascular del humedal Santa Rosa-Chancay (Lima, Perú). *Arnaldoa*, 26(3), 867-882. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26303>
- Gusaín R., & Suthar, S. (2017). Potential of aquatic weeds (*Lemna gibba*, *Lemna minor*, *Pistia stratiotes* and *Eichhornia sp.*) in biofuel production. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.03.030>
- Haroon, A. M. (2022). Review on aquatic macrophytes in Lake Manzala, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 48(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2022.02.002>
- Hyams, D. (2021). *CurveExpertPro-2.7.1-win64.exe (version: 2.7.3) (software)*. Recuperado de <https://curveexpert-professional.software.informer.com/download/>
- Iglesias, L. (1995). *El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente*. Madrid, España: Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario.
- Jain, M. S., & Kalamdhad, A. S. (2018). Efficacy of batch mode rotary drum composter for management of aquatic weed (*Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle). *Journal of Environmental Management*. 221, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.055>
- Jaklič, M., Koren, Š., & Jogan, N. (2020). Alien water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) outcompeted native macrophytes and altered the ecological conditions of a Sava oxbow lake (SE Slovenia). *Acta Botánica Croatica*, 79(1), 35-42. <https://doi.org/10.37427/botcro-2020-009>

- Loayza, K., Castillejos, K., Mestas, 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, J. (2018). *Biofertilizante acelerado de excretas porcinas, sangre bovina y suero lácteo hidrolizados enzimáticamente y estabilizado con bacterias ácido-lácticas* (tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3495>
- López, X., Robles, C., Velasco, V., Ruiz, J., Enríquez, J., & Rodríguez, G. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados. *Ciencia Ergo Sum*, 22(2), 145-152. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/104/10439327005.pdf>
- Maltchik, L., Rolon, A. S., & Schott, P. (2007). Effects of hydrological variation on the aquatic plant community in a floodplain palustrine wetland of southern Brazil. *Limnology*, 8(1), 23-28. <https://doi.org/10.1007/s10201-006-0192-y>
- Márquez, C. L. (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 grado). Universidad Peruana Unión, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4209>
- Meerhoff, M., & Beklioglu, M. (2024). Shallow lakes and ponds. *Wetzel's Limnology*, 4, 859-892. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822701-5.00026-4>

- Melgarejo, M. R., Ballesteros, M. I., & Bendeck, M. (1997). Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y nutricionales en humus de lombriz y compost derivados. *Revista Colombiana de Química*, 26(2), 11-19. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/30181>
- Mendoza, M. A. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura* (tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11042/1728>
- Molano, A. (2004). Aislamiento de bacterias biofertilizantes (*Nitrobacter* spp., *Rhizobium* spp., *Azospirillum* spp.), para un sistema de compost tipo windrow. *Umbral Científico*, 5, 25-32. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30400504>
- Nahar, K., & 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*, 47(2), 231-237. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2021.05.003>
- Novales, A. (2010). *Análisis de regresión*. Madrid, España: Departamento de Economía Cuantitativa, Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>
- 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. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/3/ni280es/ni280es.pdf>

- Pallaroza, N. J. (2022). *Plan de restauración de la belleza paisajística del humedal de Santa Rosa del distrito de Chancay* (tesis de maestría). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/6040>
- Piedra, L., Castillo, M., & Calvo, J. (2016). *Plantas acuáticas invasoras hospederas o transmisoras de enfermedades presentes en humedales de Costa Rica* (2016, 01). Bogotá, Colombia: Universidad de Colombia. Recuperado de <https://n9.cl/9ia4y>
- Puerta, S. (2007). *Evaluación física, química y microbiológica del proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos, con microorganismos nativos y comerciales en el municipio de Venecia (Antioquia)* (tesis de maestría). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24952.65283>
- Ramirez, D. W., Aponte, H., & Cano, A. (2010). Flora vascular y vegetación del humedal de Santa Rosa (Chancay, Lima). *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 105-110. <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i1.57>
- Ramírez, M., Vázquez, S., Méndez, G., & Mejía, J. (2021). Caracterización de abonos orgánicos aplicados a cultivos florícolas en el sur del Estado de México. *CienciaUAT*, 16(1), 150-161. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i1.1518>

- Ramírez, V. H., & Duque, N. N. (2010). Respuesta del lulo La Selva (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) a la aplicación de fermentados aeróbicos tipo bocashi y fertilizante químico. *Acta Agronómica*, 59(2), 155-161. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122010000200004&lng=en&tlng=es
- Ramos, D., & Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59. Recuperado de 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., & 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. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/339/33952909010/html/>
- Reyes, J., Riveri, M., Andagoya, C., Beltrán, F., Hernández, L., García, A., & Ruiz, F. (2021). Emergencia y características agronómicas del *Cucumis sativus* a la aplicación de quitosano, *Glomus cubense* y ácidos húmicos. *Biotechnia*, 23(3), 38-44. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i3.1427>

- Reynoso, J. D. (2021). *Elaboración de vermicompost con estiércol de vacuno utilizando la lombriz roja californiana (Eisenia foétida) y microorganismos eficientes en la granja ecológica linderos, tomayquichua, ambo, Huánuco 2020* (tesis de grado). Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú. Recuperado de <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2807>
- Ríos, E., Florida, N., & Lama, D. (2023). Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la provincia Leoncio Prado, Perú. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 26(1). <https://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*. Santiago de Chile, Chile: Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Recuperado de <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- Sannigrahi, A. K. (2009). Management of some aquatic weeds through vermicomposting. *Indian Journal of Environmental Protection*, 29(9), 809-811.
- Silbert, V., Campitelli, P., Suárez, M. F., & Garrido, G. (2018). *Manual de buenas prácticas para producir compost hogareño*. Córdoba, Argentina: INTI Córdoba.
- Torres, J. A., Chiquito, R. G., Reyes, J. J., Troyo, E., Rueda, E. O., & Murillo, B. (2018). Crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tratadas con humato de vermicompost. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(20), 4189-4197. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.989>

- Vargas, O. I., Trujillo, J. M., & Torres, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 23(2), 123-129. <https://doi.org/10.22579/20112629.575>
- Vilca, L. C., & Vilca, K. G. (2019). *Influencia del porcentaje de ladrillo de desecho como agregado fino sobre la absorción, porosidad y resistencia a la compresión de un concreto, en la ciudad de Trujillo – La Libertad* (Tesis de pregrado). Universidad Privada de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/171>
- 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 grado). Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/3185>