

Alternativa biorremediadora en el tratamiento de aguas residuales del Cantón El Panguí – Ecuador con *Eichhornia crassipes*

BIOREMEDIAL ALTERNATIVE IN THE TREATMENT OF WASTEWATER IN THE
CANTON EL PANGUI – ECUADOR CON *EICHHORNIA CRASSIPES*

Ramírez-Iglesias, Elizabeth; González González, Johana S.; Gonzáles Quirola, Carlos A.

 Elizabeth Ramírez-Iglesias

eliza2030@gmail.com

Investigadora y Coordinadora de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Matriz Puyo km 2,1/2 vía Puyo a Tena. El Puyo, Ecuador

 Johana S. González González

Investigador, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Matriz Puyo km 2,1/2 vía Puyo a Tena. El Puyo, Ecuador

 Carlos A. Gonzáles Quirola

Investigador, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Matriz Puyo km 2,1/2 vía Puyo a Tena. El Puyo., Ecuador

Petroglifos Revista Crítica Transdisciplinar

Fundación Grupo para la Investigación, Formación, y Edición Transdisciplinar, Venezuela

ISSN-e: 2610-8186

Periodicidad: Semestral

vol. 6, núm. 2, e060204, 2023

editor@petroglifosrevistacritica.org.ve

Recepción: 03 Mayo 2023

Aprobación: 17 Octubre 2023

Publicación: 23 Octubre 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/650/6504757005/>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10028653>

Resumen: Diversas especies vegetales son empleadas en fitorremediación debido a su acción depuradora, ya que son capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados para el saneamiento y descontaminación de cuerpos de agua, además de ser utilizadas en la elaboración de compost. El objetivo de este estudio fue proponer una alternativa de biotransformación para la obtención de un biofertilizante, a partir del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) como alternativa tecnológica en procesos de fitorremediación. Se estableció un diseño completamente aleatorizado, el cual fue realizado en dos fases: selección y establecimiento de la especie vegetal, y la propuesta de compostaje. Se seleccionaron 60 individuos de la especie para establecer en la planta de oxidación, evaluándose la biorremediación por 120 días. Se analizaron muestras del afluente y efluente, mediante gravimetría y análisis químicos. Igualmente, se analizó químicamente la biomasa total inicial y final para utilizarla en el compostaje. Tanto a los sustratos como al biofertilizante, se le realizaron análisis químicos y microbiológicos. Se realizó un ANAVAR con una prueba de Duncan ($p < 0,05$). Los resultados indican que *Eichhornia crassipes* fue eficiente en la remoción de SST, y en la remoción de TDS, DBO₅, DQO y otros contaminantes. El biofertilizante obtenido a partir del compostaje mostró contenidos adecuados de MO, Nt, Ca, Mg y C/N para mejorar las condiciones del suelo, además de un componente microbiológico adecuado para su utilización. En conclusión, *Eichhornia crassipes* podría ser una alternativa en el tratamiento de aguas residuales y en procesos de compostaje para potenciar la fertilidad del suelo.

Palabras clave: agua, metales pesados, *Eichhornia crassipes*, compost.

Abstract: Various plant species are used in phytoremediation due to their purifying action, since they are capable of retaining a wide variety of heavy metals in their tissues for the sanitation and decontamination of bodies of water, as well as being used in the production of compost. The objective of this study was to propose a biotransformation alternative to obtain a biofertilizer from *Eichhornia crassipes* as a technological alternative in phytoremediation processes. The experimental

design was completely randomized, which was carried out in two phases: selection and establishment of the plant species, and the composting proposal. 60 individuals of the species were selected to establish in the oxidation plant, evaluating the bioremediation for 120 days. Samples of the influent and effluent were analyzed by gravimetry and chemical analysis. Likewise, the initial and final total biomass was chemically analyzed for use in composting. Both the substrates and the biofertilizer underwent chemical and microbiological analysis. An ANAVAR was performed with a Duncan's test ($p < 0.05$). The results indicate that *Eichhornia crassipes* was efficient in the removal of TSS, and in the removal of TDS, BOD₅, COD and other contaminants. The biofertilizer obtained from composting showed adequate OM, Nt, Ca, Mg and C/N contents for improving soil conditions, as well as an adequate microbiological component for its use. In conclusion, *Eichhornia crassipes* could be an alternative in wastewater treatment and composting processes to enhance soil fertility.

Keywords: water, heavy metals, *Eichhornia crassipes*, compost.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se considera que más del 80% de las aguas residuales se vierten al ambiente sin ningún tipo de tratamiento, mientras que, en los países de ingresos altos, se trata alrededor del 70% de las aguas residuales urbanas e industriales (Garavito *et al.*, 2020). En América Latina más de 300 millones de habitantes generan cada día 225000 t de residuos sólidos; y por otro lado, menos del 5% de las aguas de alcantarillado en las ciudades reciben tratamiento. De allí que, si no se tratan, se convierten en un riesgo significativo para la salud humana, ya que provocan patologías gastrointestinales, lo que ha ocasionado 1,7 millones de muertes al año (Alvarado, 2018; Villafuerte, 2020).

En Ecuador, la principal causa de mortalidad infantil son las enfermedades provocadas por la contaminación biológica del agua, debido a que el 90% de las aguas residuales se descargan en fuentes de agua dulce, sin ningún tipo de tratamiento previo (Gavilánez, 2015; Secretaría Nacional del Agua [SENAGUA], 2016; Montero-Vega *et al.*, 2020; Robalino, 2020). Esta realidad, aunado a la falta de infraestructura física y un plan de tratamiento de aguas residuales eficiente, es uno de los graves problemas a los cuales como sociedad se deben buscar alternativas de saneamiento.

La Amazonia Sur no escapa a esta realidad. Dentro de este entorno tropical existen los sistemas de tratamiento de aguas residuales básicos donde, si bien existen sistemas de oxidación de aguas servidas y se transportan grandes cantidades de residuos sólidos y materia orgánica, dichos sistemas se tornan ineficientes por el exceso de material y su falta de mantenimiento (Cabrera *et al.*, 2012), aumentando los costos de operación, y disminuyendo la remoción de contaminantes; así como la generación de malos olores para la población (Velasco *et al.*, 2019).

Existen estrategias biológicas en donde microorganismos y plantas pueden inmovilizar o transformar contaminantes, metales *in situ*, lo cual puede reducir su presencia en determinados contextos (Rajendran *et al.*, 2003). Las estrategias de remediación basadas en procesos microbianos (microremediación) pueden minimizar la toxicidad y la biodisponibilidad de los metales pesados y otros componentes (Beltrán-Pineda y Gómez-Rodríguez, 2016).

En el espectro de la biorremediación, existen diferentes tipos, uno de ellos es la fitoremediación la cual se basa en el uso de plantas para remover contaminantes del ambiente. Existen plantas denominadas

hiperacumuladoras que pueden absorber grandes cantidades de metales en sus tejidos aéreos como tallos y hojas, lo cual es una ventaja a la hora del postratamiento de metales pesados. De allí, que la fitorremediación en este escenario puede constituir una alternativa interesante para conocer la capacidad de filtración en el agua de algunas especies vegetales, y al respecto, dentro de la literatura se encuentran referencias o trabajos en sistemas de la amazonia, y en menor cantidad en zonas costeras.

Actualmente, la fitorremediación es una alternativa tecnológica para el saneamiento y descontaminación de los cuerpos de agua (Wei *et al.*, 2021), utilizando para ello plantas nativas con propiedades que van desde la fitoestabilización, adsorción y/o volatilización de acuerdo con las características del contaminante (Hu *et al.*, 2020).

Una de las problemáticas asociada a este manejo, es que esas plantas luego de cierto tiempo de uso dejan de ser efectivas, por lo que hay que retirarlas del área de intervención, generando el problema de manejo de esos residuos para lo cual, el compostaje ha sido señalado como un proceso viable.

El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) forma parte de estas plantas con características fitorremediadoras, y se encuentra distribuida ampliamente en la Amazonía ecuatoriana (Gavilánez, 2015; Garrido y Villamarín, 2016; Neumann *et al.*, 2023), siendo reseñada en la literatura como altamente eficiente en la remoción de contaminantes y aguas con un alto nivel de eutrofización (Islam *et al.*, 2021; Ahila *et al.*, 2021; Buta *et al.*, 2023).

Entre las propiedades que le otorgan esta capacidad fitorremediadora, se encuentran bacterias simbióticas (Hu *et al.*, 2020; Nazir *et al.*, 2020; Wei *et al.*, 2021) que actúan en procesos como nitrificación, desnitrificación y amonificación (Chungopast *et al.*, 2021). Asimismo, las raíces de estas plantas absorben metales pesados por un proceso de difusión del medio y por intercambio de cargas (Lima y Asencios, 2021). Tanto el proceso de transformación del nitrógeno (N), como la absorción de metales por las raíces, así como sus características eurióicas (Moakher *et al.*, 2021), hacen de esta planta una de las más utilizadas en términos de saneamiento de aguas.

Orellana y Hernández (2021) reportan que, si bien la fitorremediación utilizando *Eichhornia crassipes* es altamente efectiva en tiempos relativamente cortos, uno de los graves problemas que se presenta con esta técnica es la disposición o liberación de los materiales a mediano y largo plazo, una vez que los contaminantes están fijados a la estructura foliar de la planta. Es por ello que resulta imperativo establecer mecanismos que luego de la biotransformación, eviten su retorno al ambiente (Nazir *et al.*, 2020).

En este sentido, es importante considerar la degradación natural de las plantas que han sido empleadas en el proceso de remediación, siendo el compostaje una de las estrategias a utilizar (Ahila *et al.*, 2021), a fin de inmovilizar metales pesados y evitar su retorno al ambiente, tal y como es mencionado por Wei *et al.* (2021). Autores como Ilo *et al.* (2020) y Uzingher *et al.* (2020), señalan que una vez que *Eichhornia crassipes* ha sido utilizada en el proceso de biorremediación y sometida a procesos de descomposición, cuidando las relaciones carbono/nitrógeno (C/N) y los niveles de bacterias totales, celulolíticas, amonificantes y hongos en el material estabilizado; puede ser utilizado como biofertilizante en áreas verdes y cultivos.

El compostaje de *Eichhornia crassipes* luego de ser utilizada como biorremediadora, surge como alternativa para la obtención de un bioproducto que, junto a la utilización de otros sustratos locales, puede ser estabilizado y transformado en biofertilizante con características fisicoquímicas y microbiológicamente adecuadas (Ramírez-Iglesias *et al.*, 2017).

Al establecer el compostaje de esta planta para la obtención de una técnica beneficiosa adicional, es importante considerar los tiempos de descomposición (Reyes-Pérez *et al.*, 2017), el alcanzar las temperaturas (T) recomendadas durante el proceso (Mashavira *et al.*, 2015), así como los contenidos de nutrientes y concentración de algunos metales pesados que podrían estar presentes (Nazir *et al.*, 2017; Islam *et al.*, 2021). De igual forma, diversas investigaciones recomiendan realizar análisis al abono final, a fin de verificar los contenidos microbiológicos presentes en el producto que posteriormente pudiera ser utilizado como biofertilizante (Ramírez-Iglesias *et al.*, 2017; Chungopast *et al.*, 2021; Tobar y Hernández 2021).

Por tanto, el objetivo de la presente investigación es proponer una alternativa de biotransformación para la obtención de un biofertilizante, a partir del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) como alternativa tecnológica en procesos de fitorremediación.

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1.- Características de la zona de estudio

La zona de estudio planteada para esta investigación fue una planta de tratamiento de aguas residuales, ubicada en la Provincia de Zamora Chinchipe, Cantón El Pangui – Vía Pashkush, junto a la Finca del Colegio Ecuador Amazónico. Se localiza en una zona rural a una altitud 864,07 msnm, 30°37'09" latitud sur y 78°35'0" longitud oeste, con una precipitación media anual de 1626 mm y una temperatura que oscila entre 18°C a 24°C. La planta de tratamiento tiene en sus cercanías asentamientos de comunidades cuya práctica agrícola predominante es el cultivo de maíz, yuca, algunos frutales; así como la presencia de bambú. De igual forma existe la cría de gallinas, cuyes y vacas como parte de la actividad económica más representativa del sector.

1.2.- Material vegetal y establecimiento de la especie vegetal fitorremediadora

El ensayo de la investigación estuvo estructurado en dos partes, donde la primera consistió en la identificación, selección y establecimiento de la especie vegetal fitorremediadora en la planta de tratamiento.

1.2.1.- Diseño experimental en el proceso de fitorremediación a base de *Eichhornia crassipes*

El diseño experimental fue completamente aleatorizado, tomando 60 individuos de la especie vegetal seleccionada para el estudio en la zona del Remolino Cantón El Pangui, para su respectiva identificación botánica atendiendo la metodología empleada por Lara (2017). Las plantas tenían un tamaño aproximado de 15 cm y, posterior a la identificación de *Eichhornia crassipes*, se procedió a su implementación en la planta de tratamiento, empleando la metodología de Hernández y Luna (2016); así como las experiencias de los trabajadores de la planta de tratamiento, quienes previamente habían utilizado esta planta como fitorremediador.

La implementación de *Eichhornia crassipes* se realizó colocando 60 plantas ya identificadas en la parte inferior de la laguna de oxidación, y transcurridos 15 días de su introducción, se procedió a realizar los análisis gravimétricos del agua residual según la metodología empleada por Coronel (2016), por un lapso de 120 días, con la metodología usada por Lozada (2019) la cual, de acuerdo a este autor, es el tiempo mínimo necesario para observar los posibles efectos de fitorremediación.

El muestreo en la planta de oxidación fue realizado cada 15 días, tomando tres muestras de agua en dos sitios diferentes a una profundidad de 40 cm a fin de disminuir el sesgo al momento de los análisis, a saber: el afluente (ingreso de aguas residuales) y efluente (salida de aguas residuales hacia el río Pachicutza). El total muestras de agua tomadas durante los 120 días de monitoreo fue de n=48. La recolección de muestras se realizó siguiendo el protocolo de monitoreo de aguas residuales de Núñez (2021).

1.2.2.- Análisis físicos y químicos de las muestras de agua residual

Las muestras de agua residual fueron colocadas en envases plásticos de 100 mL y se filtraron usando un filtro de fibra de vidrio durante 5 min. Luego, se secaron en una estufa durante 3 horas a 100°C, repitiendo el proceso hasta obtener un peso constante a fin de calcular los sólidos suspendidos totales (SST), según la metodología de diferentes autores en sus investigaciones (Garay *et al.*, 2003; Coronel, 2016; Hernández y Luna, 2016). Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{SST mg.L}^{-1} = (A-B) * 1000 / V \text{ mL}$$

Donde:

A= Peso filtro + residuo (g).

B = Peso filtro (g).

V= Volumen de la muestra filtrada (mL).

Asimismo, se recolectaron 300 mL de agua para realizar determinaciones de pH según el método de Hernández y Luna (2016), utilizando un pH metro digital de campo con una precisión de ± 0.01 . Por otro lado, se evaluó el total de sólidos disueltos (TDS) con una precisión de $\pm 2\%$. Finalmente, para conocer el porcentaje de remoción de los SST en aguas residuales, se empleó el método de Mendoza *et al.* (2018), utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \frac{C_a - C_e}{C_a} * 100$$

Donde:

C_a = concentraciones en el afluente.

C_e = concentraciones en el efluente.

Luego de transcurridos 120 días de haber implementado el proceso de fitorremediación con *Eichhornia crassipes*, se procedió a recolectar tres muestras de agua en la entrada y la salida de la planta de tratamiento; así como de la biomasa vegetal para la realización de los análisis químicos correspondientes.

Para ello se procedió a evaluar el contenido de nitrógeno total (N_t) utilizando el método de Kjeldahl (Sweeney y Rexroad, 1987) empleando un equipo MEAG-15 APHA 4500-Norg C (semi Micro-Kjeldahl). En el caso del arsénico (As) y los metales como cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb) y fósforo (P), fueron sometidas a un pretratamiento por absorción atómica. Todos los métodos fueron aplicados de acuerdo a Miner (2006) y Baird (2017).

En lo que respecta a la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), se utilizó el método respirométrico para su determinación; mientras que para la demanda química de oxígeno fue utilizado el método colorimétrico de flujo cerrado, de acuerdo con Baird (2017).

En el caso de la biomasa total de *Eichhornia crassipes*, se realizaron análisis de N_t por el método Kjeldahl (Sweeney y Rexroad, 1987); así como por el método de espectrofotometría de absorción atómica de llama, generación de hidruros. En cuanto al Cu, Zn y Pb, estos fueron analizados por espectrofotometría de absorción atómica de llama, Aire-Acetileno (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [USEPA], 1986). El análisis de contenido de P se realizó por digestión con ácido después de la calcinación de la muestra, donde se trabaja por oxidación en forma de fosfato, según la metodología reseñada por McKean (1993).

1.3.- Caracterización de los residuos orgánicos generados localmente y compostaje de *Eichhornia crassipes*

Se procedió a caracterizar los sustratos orgánicos que se generan en mayor proporción en la zona, para ser utilizados posteriormente en el proceso de compostaje de *Eichhornia crassipes*, una vez confirmada su función biorremediadora en la planta de oxidación.

El diagnóstico de los residuos producidos en el contexto local que pueden ser potencialmente utilizados en la producción de biofertilizantes se realizó con información generada por los productores de la zona. En general, los principales residuos locales empleados en la región son estiércol de cuy, estiércol de bovino, aserrín, bagazo y *Eichhornia crassipes* (Mendoza *et al.*, 2018; Perdomo, 2018). El proceso de compostaje orientado a la obtención de un biofertilizante comprendió cuatro fases: i) caracterización de los residuos orgánicos locales, ii) caracterización de dichos residuos a fin de considerar las relaciones carbono/nitrógeno, así como los tiempos de descomposición, iii) monitoreo de la descomposición considerando temperatura y humedad, y iv) caracterización del biofertilizante obtenido.

Los criterios de evaluación contemplados inicialmente fueron las relaciones C/N y concentración de lignina, ya que mediante estos parámetros se pueden inferir tanto los tiempos de descomposición como las proporciones que se pueden utilizar de los materiales al conformar las pilas de compostaje (Ramírez-Iglesias *et al.*, 2017). Asimismo, se realizaron mediciones de temperatura y pH, y éste último parámetro fue medido utilizando una relación de sustrato y agua de 1:2, tal como lo mencionan Anderson y Ingram (1993).

El diseño experimental en el caso de la elaboración de los bioabonos a partir de *Eichhornia crassipes* fue completamente aleatorizado, con tres pilas de compost como réplicas a partir de la materia orgánica generada de forma local, a fin de evaluar los tiempos de descomposición, así como la disponibilidad de nutrientes. La conformación de las pilas de compostaje, obedeció a un diagnóstico con las unidades familiares de producción de lo que se genera en mayor proporción de forma local, y a la caracterización de la materia prima que conformo las pilas de compostaje de acuerdo a lo sugerido por Ramírez-Iglesias *et al.* (2017). Cada una de las pilas tenían 1,60 m de ancho con una altura de 1,30 m. Éstas se construyeron con capas alternas de cada componente en igual proporción y fraccionando todo el material, a fin de facilitar los procesos de descomposición (Hanníbal *et al.*, 2016).

A los tres días se realizó el primer volteo y medición de la temperatura, y luego a los cinco días con la finalidad de monitorear de forma más cercana la temperatura sugerida entre 65-70°C que debía alcanzar la pila para su saneamiento. Posterior a estas dos mediciones, tanto el volteo como las mediciones de temperatura y el humedecimiento se espaciaron cada ocho días, por el periodo que duró la descomposición del material, hasta que cada una de las pilas cumplió 60 días, considerando coloración, degradación del material y temperatura. Cabe destacar que las tres pilas fueron protegidas con un polietileno negro a fin de resguardarlas de la lluvia y el sol, tratando que las tres guardaran características similares de descomposición, según lo señalado por Ramírez *et al.* (2017). Una vez que las pilas presentaron estabilidad en cuanto a la temperatura a los 60 días, y poseían características de un compost maduro por su olor y color característico (Zapata-Hernández, 2009), se procedió a tomar tres muestras por pila, para realizar la caracterización química y microbiológica del abono ya estabilizado.

1.3.1.- Análisis químicos de los sustratos

El carbono (%) se midió a través de una oxidación húmeda sin calentamiento (UCV, 1993); mientras que para la determinación del Nt se empleó una digestión húmeda con H₂SO₄ y destilación con Kjeldahl siguiendo la metodología empleada por Bremner y Mulvaney (1982) y Ramírez-Iglesias (2017).

El P con digestión húmeda se determinó a través del método colorimétrico molibdato-ácido ascórbico siguiendo la metodología de Murphy y Riley (1962), empleando un Spectronic 20 Thermo Scientific, Genesys 22 para la lectura de los resultados.

El K, Ca y Mg se determinaron por absorción atómica, y se utilizó como extractante Mehlich III siguiendo la metodología de Murphy a Riley (1962), empleando para ello un espectrofotómetro de absorción atómica IC-3300.

Por último, la lignina fue determinada por el método de Van Soest (1982) empleando solución de permanganato de potasio, el cual consiste en separar el contenido celular de la pared celular, lo que se hace

calentando parte de la muestra en una solución de detergente neutro, donde el contenido celular se solubiliza en el detergente, mientras que la pared celular no lo es y puede separarse por filtración.

1.3.2.- Elaboración de las pilas de compostaje

Tomando en cuenta la caracterización de los sustratos seleccionados a través del diagnóstico realizado previamente, se diseñó la conformación de las pilas de compostaje, quedando las tres pilas constituidas de la misma manera, donde la proporción de los materiales para cada una de las pilas fue 40 kg de *Eichhornia crassipes*, 11 kg de bagazo de caña, 64 kg de estiércol de cuy, 74 kg estiércol de vaca, 15 kg de material verde variado y 23 kg de material seco. Todas las pilas recibieron el mismo tratamiento durante el proceso de compostaje.

La elaboración de las pilas se realizó colocando varias capas de los materiales antes mencionados en el siguiente orden: una capa seca o colchón seco de verde, seguido por una de estiércol de bovino, una de material verde de *Eichhornia crassipes* y bagazo de caña para luego, humedecer la pila. Una vez hecho esto, se colocó de nuevo una capa de material verde, seguida de bagazo de caña y estiércol, humedeciendo de nuevo la pila; y finalmente se colocó una capa de material verde de *Eichhornia crassipes* y aserrín. La pila fue humedecida nuevamente luego de adicionar las últimas capas de material. Este procedimiento se realizó hasta que la pila alcanzó una altura de 1,30 m, colocando una última capa de material verde. Por último, se cubrió cada pila con un polietileno negro, de aproximadamente 3 m con el fin de evitar la pérdida de calor.

Asimismo, se midió la temperatura de cada pila a los tres y cinco días con la ayuda de un termómetro ambiental (Modelo HTC1), el cual fue colocado en el centro de la pila. Luego, se realizó el volteo de la misma, tratando de alcanzar la mayor altura para mantener la temperatura y el aireado por mayores períodos de tiempo, y así garantizar que los microorganismos presentes en las diferentes sucesiones realicen una descomposición más eficiente del compost para la obtención de un abono de buena calidad.

1.3.3.- Recolección de muestras para la evaluación del bioproducto con *Eichhornia crassipes*

Una vez que el abono mostró estabilización y una degradación visible del material vegetal y las excretas, se tomaron tres muestras de cada pila para un total de nueve muestras. Los análisis realizados a los abonos fueron iguales a los elaborados con los sustratos, con la diferencia de que para la determinación de P disponible por el método colorimétrico molibdato-ácido ascórbico desarrollado por Murphy y Riley (1962), se utilizó como extractante el bicarbonato de sodio indicado por Watable y Olsen (1965). En el caso de las evaluaciones microbiológicas se realizó el conteo de bacterias totales, celulolíticas y amonificantes por el método del número más probable empleado por Haruta *et al.* (2005) y por Ramírez-Iglesias (2017).

1.4.- Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis exploratorio descriptivo, comprobación de los supuestos estadísticos y la detección y eliminación de valores anómalos. Se realizó un ANAVAR y una prueba de Duncan (Duncan, 1974) para la comparación de medias tanto en el afluente como en el efluente de la planta de oxidación, y en la biomasa total de la *Eichhornia crassipes* antes y después del proceso de biorremediación. El nivel de significancia fue $p < 0,05$ y se usó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.1.- Remoción de sólidos suspendidos totales a base de *Eichhornia crassipes*

Al comparar los SST del afluente con el efluente, los valores cambiaron notablemente de $26,75 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,56 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente (figura 1). Cabe destacar, que dichos sólidos son considerados como material de desecho luego de evaporar el agua a 100°C (Metcalf y Eddy, 1995). El proceso de fitorremediación de *Eichhornia crassipes* en esta experiencia logró alcanzar una alta densidad, generando así una mayor capacidad de retención de sólidos suspendidos totales para apoyar la descomposición bacteriana.

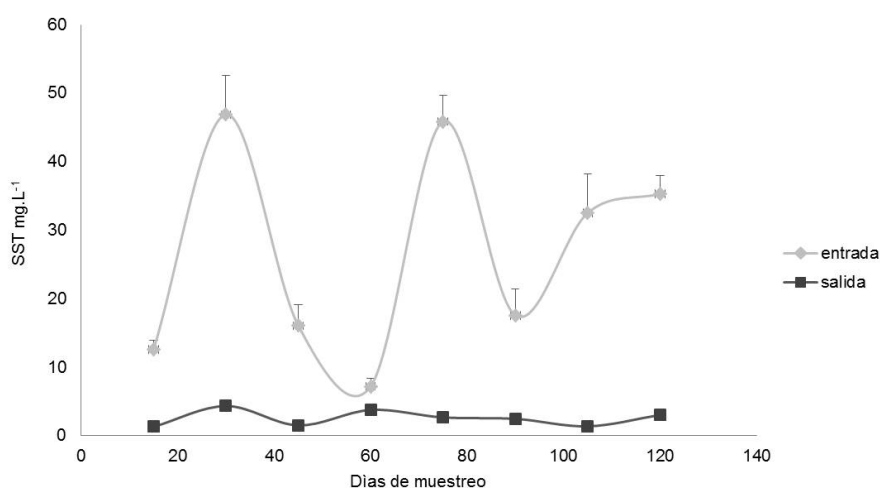


Figura 1. Remoción de sólidos suspendidos totales (SST) por *Eichhornia crassipes* en la laguna de oxidación del cantón El Pangui.

Nota. Las barras indican la desviación estándar en base a los días de muestreo (n=48).

Mediante la fitoextracción y rizofiltración se logró absorber y filtrar una alta proporción de materia en suspensión de la laguna de oxidación utilizando esta especie vegetal; comprobando así que hubo una reducción significativa de los contaminantes, por lo que se puede afirmar que esta planta contribuyó positivamente a la remoción de SST. Por ello, puede considerarse como una alternativa idónea para tratar este tipo de efluentes.

Cabe señalar que *Eichhornia crassipes* mostró una eficiencia de remoción de SST del 90%; mientras que en el estudio realizado por Vizcaíno y Fuentes (2016) obtuvieron una eficiencia del 100%. Estos autores atribuyen la eliminación efectiva de la materia en suspensión a la baja velocidad de circulación que tenía el agua residual con las raíces del Jacinto de Agua, lo que favorece la sedimentación y filtración de los contaminantes mencionados anteriormente. De igual forma, esta justificación es corroborada por Brix y Arias (2005), quienes afirman que las raíces de estas plantas incrementan la remoción de SST, logrando así la biodegradación de la materia orgánica, acción que realizan los microorganismos aerobios presentes en sus raíces, otro factor muy importante es que esta especie reduce significativamente los malos olores (Coronel, 2016).

En el caso de los TDS se obtuvo un valor de 152 ppm en el afluente, mientras que en el agua tratada con *Eichhornia crassipes* fue de 139 ppm (figura 2), lo que significa que este vegetal es eficiente en la remoción de sólidos disueltos en el efluente. Al respecto, León Suarez (2017) obtuvo una menor concentración de TDS (62 ppm); sin embargo, Guio y Toscano (2018) señalan que la remoción de sólidos disueltos totales no fue exitosa debido a que el afluente tenía mayor carga de sólidos, lo que sugería una menor eficiencia de remoción.

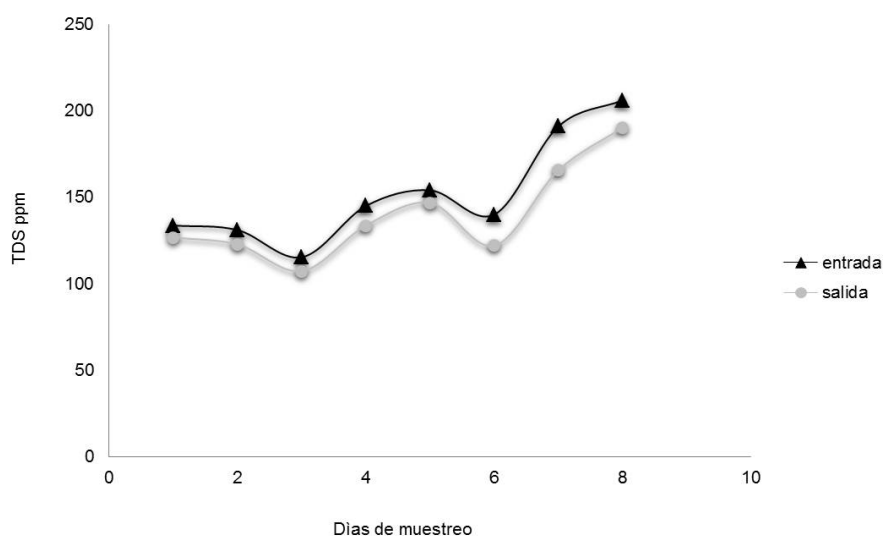


Figura 2. Remoción de sólidos disueltos totales (TDS) en la laguna de oxidación por medio de la utilización de la *Eichhornia crassipes*.

Con respecto al pH, el agua del afluente presentó un valor de 6,0, mientras que el agua residual en el efluente presentó rangos entre 6,56 a 6,97, destacando que este medio presenta las condiciones ideales para que la planta pueda desarrollarse y a su vez cumplir con el proceso fitorremediador. Las condiciones adecuadas para un buen desarrollo de esta especie es la presencia de una iluminación alta, temperaturas cálidas (entre 15 y 30°C), y un pH comprendido entre 5,5 y 9. En estas condiciones es capaz de duplicar su población cada cinco días (Sanz Elorza *et al.*, 2004; Tejada-Tovar *et al.*, 2018).

Estudios similares como los de Castillo (2017), indican un pH de 7,5 lo que sugiere que estas aguas tienden a alcalinizarse levemente. Por otro lado, Chuquibala y Sánchez (2017) muestran que las aguas residuales urbanas presentan comúnmente un pH que varía entre 6,5 y 8,5, lo cual concuerda con Rodier (1986) quien menciona que el pH óptimo del agua debe estar entre neutro y ligeramente alcalino (6,5 a 8,5). Las aguas residuales con un pH inferior a 5 y superior a 9 son difíciles de tratar mediante procesos biológicos.

1.2.- Eficiencia de *Eichhornia crassipes* como agente fitorremediador en la remoción de contaminantes

En el cuadro 1, se muestran las concentraciones de contaminantes del afluente y el efluente en la planta de oxidación, en función de las propiedades químicas del agua después de haber realizado el tratamiento fitorremediador a base de *Eichhornia crassipes*. Los parámetros químicos analizados en el afluente fueron As, Cu, Nt, DBO₅, DQO, P, Pb y Zn, los cuales presentaron valores inferiores al límite máximo permisible según los criterios de calidad de agua del Ecuador. Según Tapia (2015), los valores establecidos en el Ecuador para esos parámetros son los siguientes: As (0,01 mg.L⁻¹); Cu (2,0 mg.L⁻¹); Nt (Nitritos 0,2 mg.L⁻¹ y Nitratos 50 mg.L⁻¹); DBO₅ (20 mg.L⁻¹); DQO (500 mg.L⁻¹); P (0,5 mg.L⁻¹); Pb (0,01 mg.L⁻¹) y Zn (5000 ppb).

Cuadro 1. Comparación de parámetros químicos en el sistema de fitorremediación de la laguna de oxidación del cantón El Pangui y de la biomasa total de la *Eichhornia crassipes* antes y después de ser implementada en dicha laguna (n=6).

Parámetros evaluados	Afluente (Entrada) mg.L ⁻¹	<i>Eichhornia crassipes</i> (Antes) mg.kg ⁻¹	Efluente (Salida) mg.L ⁻¹	<i>Eichhornia crassipes</i> (Después) mg.kg ⁻¹
As	< 0,002 a	<0,1 a	<0,002 b	<0,1 a
Cu	0,08 a	<8 b	<0,06 b	503 a
Nt	19 a	11 271 b	17 b	17 111 a
DBO ₅	31 a	-	20 b	-
DQO	67 a	-	44 b	-
P	1,98 a	99,8 b	1,35 b	105,8 a
Pb	<0,08 a	<17 b	<0,08 a	24 a
Zn	<0,2 a	18 b	<0,2 a	292 a

Nota. Arsénico (As), Cobre (Cu), Nitrógeno total (Nt), Demanda biológica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo (P), Plomo (Pb), Zinc (Zn). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05).

Posterior a la aplicación de *Eichhornia crassipes*, se observó una variación en la calidad química del agua, lo que se puede evidenciar gracias a los análisis de DBO₅, DQO y a la reducción de las concentraciones de Cu, Nt, P, Pb y Zn. Sin embargo, la concentración de As se mantuvo constante (cuadro 1).

En el caso de DBO del afluente y efluente, se observaron valores de 31 mg.L⁻¹ y 20 mg.L⁻¹ respectivamente, mostrando una eficiencia de remoción del 34%. Asimismo, se obtuvieron valores de DQO de 67 mg.L⁻¹ en el afluente y 44 mg.L⁻¹ en el efluente, lo cual representa una eficiencia de un 35%; esta disminución se dio gracias a la presencia de la macrófita en la laguna de oxidación. Por el contrario, Núñez Morales *et al.* (2019) al utilizar la misma especie en el proceso de fitorremediación obtuvo una eficiencia de 95% en cuanto a la DBO y un 92% de eficiencia para la DQO. Cabe señalar, que este autor obtuvo un mayor porcentaje de remoción debido al tiempo empleado en la biorremediación, además de utilizar material filtrante y grava en su estudio.

Palta y Morales (2013) indican que la disminución de los parámetros anteriormente mencionados se debe a que la materia orgánica, a través del oxígeno y reacciones químicas como el intercambio gaseoso de los tejidos arenquimáticos de la *Eichhornia crassipes*, sumado al trabajo bacteriano, actúan como catalizador aportando CO₂ a las plantas y este recíprocamente devuelve O₂ debido a la fotosíntesis por las raíces.

Con respecto a la concentración de Nt, ésta fue de 19 mg.L⁻¹ en el afluente y 17 mg.L⁻¹ en el efluente, por lo que la eficiencia de remoción de *Eichhornia crassipes* fue baja (10%). Este valor contrasta con la eficiencia del 70% obtenida por Carreño (2020), y esto puede deberse a que el proceso tuvo una duración superior (6 meses) en el cual, el parámetro era evaluado de manera constante en comparación con la presente investigación cuyo tiempo de monitoreo fue considerablemente menor, limitando la eficiencia de remoción del Nt por parte de la planta. Dentro de las características atribuibles a *Eichhornia crassipes* se encuentra la habilidad de incorporar este elemento en su biomasa, absorbiendo el amonio más rápidamente que el nitrato lo que favorece el saneamiento del agua.

En cuanto al Pt, los valores que se presentaron en las aguas residuales en la entrada y salida fueron de 1,98 mg.L⁻¹ y 1,35 mg.L⁻¹, respectivamente. Esto indica una tasa de remoción del 32%; sin embargo, Perdomo *et al.* (2018) reportan un valor de remoción del 91,7%. Estos resultados indican que aún se requiere profundizar la investigación relativa a esta especie, para estandarizar parámetros de trabajo, diseño del proceso y, sobre todo, los métodos de disposición final de la biomasa en procesos de fitorremediación, ya que en términos reales lo que se está realizando es la transferencia de metales de una fase acuosa (agua contaminada) a una fase sólida (biomasa contaminada) pero sin protocolos bien definidos.

Por su parte, la concentración de Cu en el afluente y efluente mostró valores de 0,08 mg.L⁻¹ y <0,06 mg.L⁻¹, presentando un porcentaje de remoción del 25%, mientras que para contaminantes como el Zn, Pb y As no hubo remoción, lo que puede estar relacionado con el estado del material vegetal y la afinidad de este por metales específicos involucrados en el proceso de fitorremediación. No obstante, Martelo y Barreto (2012) mencionaron que los metales antes mencionados alcanzaron una tasa máxima de remoción de 85-95% en aguas residuales.

Otros estudios, como el de Ayme y Ramos (2020) obtuvieron eficiencias de remoción de Cu, Pb y Zn de 99,86%; 99,89% y 29,45%, respectivamente. Dicho estudio demostró que las macrófitas flotantes son buenos adsorbentes de metales pesados y pueden ser utilizados como una alternativa para mejorar la calidad del agua debido a su bajo costo. Cabe señalar, que la baja eficiencia de remoción observada en este trabajo puede deberse al exceso de precipitación lo cual, aumenta la velocidad de circulación del agua y esto dificulta una determinación más exacta.

En el caso de la caracterización química de la biomasa total de la macrófita flotante con respecto a los contaminantes, se puede observar que el As no presenta diferencias detectables antes y después del proceso de fitorremediación; sin embargo, para elementos como Cu, Nt, P, Pb, Zn, se observan diferencias importantes en términos de concentración antes y después del tratamiento de la laguna de oxidación (Cuadro 1).

Autores como Carreño (2020) han demostrado que las raíces, hojas y tallos de *E. crassipes* adsorben los diferentes metales en un 75%. No obstante, en este trabajo se plantea la sustitución periódica de las plantas para que el proceso de biorremediación sea más eficaz, ya que se empleó una especie perenne y de fácil proliferación, y la densa acumulación de biomasa interrumpe el proceso de eliminación. Esta macrófita realiza un tratamiento eficiente si este se efectúa bajo un esquema controlado debido a su forma de funcionamiento, lo cual es fundamental para su potenciación como especie vegetal de tratamiento de efluentes (Carrión *et al.*, 2012).

1.3.- Compostaje de *Eichhornia crassipes* luego de ser utilizada en el proceso de fitorremediación

En el cuadro 2 se presentan las características químicas de cada sustrato utilizado en el proceso de compostaje, evaluando la concentración de C, N, P, K, Mg, L y la relación de L/N y C/N, los cuales son parámetros importantes para obtener un bioproducto de calidad.

Al analizar cada sustrato, se pudo determinar que el bagazo de caña tiene un mayor contenido de carbono y altas relaciones L/N en comparación con los demás sustratos. Esto indica que los tiempos de descomposición para este material posiblemente puedan ser más elevados por su mayor lignificación (Hernández-Mendoza *et al.*, 2007). Al contrario, para *E. crassipes*, la relación L/N es muy pequeña, lo cual podría asociarse con menores tiempos de descomposición, por lo que podría ser un buen sustrato para la elaboración de compost.

La caracterización de los sustratos utilizados para la elaboración del compost y las relaciones L/N, establecen indicadores cuantitativos para conocer y predecir el tiempo de descomposición y obtención del biofertilizante estabilizado (Komilis y Ham, 2003), a fin de favorecer una mayor tasa de descomposición de la materia orgánica y tiempos de compostaje más cortos.

Cuadro 2. Caracterización química de los sustratos locales utilizados en la elaboración del compost con *Eichhornia crassipes*.

Residuos orgánicos	Porcentajes (%)						Relación L/N	Relación C/N
	C	N	L	P	K	Ca	Mg	
Bagazo de caña	44,06±1,04	0,49±0,006	30,58±0,55	0,86±0,02	0,097±0,002	0,08±0,014	0,02±0,001	61,57±0,90
Estiércol de vaca	14,23±0,02	1,05±0,05	-	1,72±0,02	3,43±0,29	3,19±0,04	0,07±0,04	0,07±0,58
<i>Eichhornia crassipes</i>	28,80±2,76	3,99±0,02	2,39±0,38	0,41±0,04	4,09±0,11	1,70±0,48	0,07±0,008	0,59±0,09
Estiércol de Cuy	29,03±4,51	1,84±0,04	-	1,00±0,03	46,32±0,04	1,66±0,005	0,05±0,002	32,01±1,06

Nota. Resultados presentados como media y su $\pm$ SD (n=3). Carbono (C), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Lignina (L) relación Lignina/Nitrógeno (L/N), relación Carbono/Nitrógeno (C/N).

Diversos parámetros químicos de importancia se determinaron en los sustratos utilizados a fin de obtener un mejor compostaje, entre los cuales se puede destacar la relación C/N. Al respecto, se puede señalar que la menor relación C/N se encontró en las excretas de bovino, seguida por *E. crassipes*. Los análisis en esta planta muestran una baja relación C/N (7,21), si se tiene en cuenta que tanto Dalzell *et al.* (1987) como Eweis *et al.* (1999) reportan que una relación C/N óptima en un proceso de compostaje varía de 20 a 35. Este hecho sugiere la necesidad de aumentar un poco el contenido de carbono para evitar que el relativo exceso de nitrógeno se pierda en forma de amoníaco (Alomía *et al.*, 2011), lo cual podría lograrse al usar mayor cantidad de material vegetal seco, o un acelerador como agua azucarada o panela, como fuente de glucosa.

La relación C/N es uno de los parámetros a determinar más importantes, ya que influye en la velocidad del proceso de descomposición y la pérdida de amonio durante el compostaje (Bueno *et al.*, 2008), ya que si este almacena demasiada cantidad de elementos con contenido de carbono, se producirá una liberación en forma de dióxido de carbono a la atmósfera, por lo cual es necesario conocer los aportes de los diferentes materiales empleados en la elaboración del compost antes del proceso de compostaje, lo que podría mejorar los tiempos de descomposición de la MO y la acción microbiana sobre la misma.

En relación a los valores de los macronutrientes en cada sustrato, las mayores concentraciones de K se encontraron en el estiércol de cuy y en *Eichhornia crassipes*; en el caso del Ca los mayores valores se observaron en el estiércol de vaca y *E. crassipes*, con un valor muy cercano a esta especie, para las excretas de cuy. Asimismo, se encontró que todos los sustratos utilizados exhibieron valores entre 0,02 y 0,07 de Mg, donde los más altos fueron para el estiércol de vaca y *E. crassipes*; y para el P los mayores valores obtenidos son para el estiércol de vaca y el de cuy (Cuadro 2).

Por otro lado, es importante destacar que durante el compostaje se produjo un cambio de temperatura, alcanzando un máximo de 55,3°C en los primeros 15 días, por lo que hay una acción directa de organismos termófilos dirigida a la descomposición de la MO lábil. Al respecto, Moreno Casco y Mormeneo Bernat (2008) indican que los rangos de temperatura alcanzados posterior a los primeros días del compostaje, intervienen en la sucesión de microorganismos y en el efecto descomponedor sobre los componentes más recalcitrantes de la MO.

A los 60 días de iniciado el proceso de compostaje, se obtuvo un bioproducto estable que alcanzó la temperatura ambiente (26,7°C), la cual se mantuvo inalterada durante el resto del proceso. Resultados similares fueron obtenidos por Jiménez *et al.* (2008), quienes señalan que la temperatura durante el período de estabilización del compost tiende a mantenerse constante, siendo un indicador de la madurez del bioabono obtenido. Asimismo, estos autores indican que la temperatura ideal para una mejor descomposición oscila entre 45 y 59°C, lo que facilita el crecimiento microbiano; sin embargo, si la temperatura es superior a 75°C o inferior de 40°C, los procesos de descomposición disminuyen, ya que dichos rangos de temperaturas inhiben el crecimiento microbiano. Por otro lado, un compost maduro también debe poseer un olor característico a tierra húmeda, no presentar material descompuesto, y tener una textura suelta y granulosa; de color oscuro y donde no se reconocen los componentes originales (Zapata-Hernández, 2009).

1.4.- Caracterización química del biofertilizante obtenido a base de *Eichhornia crassipes*

De acuerdo con la composición química del biofertilizante obtenido (Cuadro 3), se evidenció que a los 60 días presentó valores altos para las concentraciones de N, K, Ca y Mg en comparación con los niveles obtenidos por Reyes-Pérez *et al.* (2017), al emplear un compost comercial a base de jacinto de agua, que es un abono 100% orgánico producido en Ecuador y lo expende la empresa Dunger®, el cual, por su alto contenido de materia orgánica y fitohormonas, actúa como fertilizante natural. Se pudiera decir que esta variación quizás podría deberse a que se utilizan diferentes sustratos en la elaboración de dicho compost.

Cuadro 3. Caracterización química del biofertilizante estabilizado obtenido a los 60 días de compostaje.

Parámetros	%
MO	39,35±5,22
N	3,71±1,11
C/N	6,48±1,84
K	11,95±0,37
Ca	7,93±0,09
Mg	2,05±0,02

Nota. Materia orgánica (MO), Nitrógeno (N), Relación Carbono/ Nitrógeno (C/N), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg). Valores presentados como media junto a su SD ($\pm$) (n=9).

Del Pino *et al.* (2007) señalan que existen diferencias importantes en los patrones de mineralización dependiendo del origen de estiércol en el compost, donde en esa investigación, el estiércol de ave aportó una mayor cantidad de nitrógeno disponible después de ser agregado, aumentando los valores de nitrógeno mineral en el suelo, con una mineralización posterior restringida; mientras que el estiércol de vaca, que inicialmente no hizo un aporte inicial significativo a la disponibilidad de nitrógeno, promovió la actividad microbiana en el suelo a mediano plazo.

Por otro lado, el contenido de MO en el compost elaborado fue del 39,35% lo que significa que este bioproducto podría ser un tratamiento idóneo para mejorar las condiciones del suelo y de los cultivos. Sin embargo, Ordóñez Andrade (2014) aborda el hecho de que en el proceso de compostaje, el contenido de materia orgánica total debe reducirse, en mayor o menor medida, dependiendo del curso del proceso, el tipo de materia orgánica y su degradabilidad. El compost para ser aplicado al suelo, debe presentar contenidos importantes de materia orgánica; pero al mismo tiempo un elevado porcentaje de ésta debe ser resistente a la descomposición biológica.

La relación C/N en el compost elaborado presentó un valor de 6,48, mientras que Rivas-Nichorzon y Silva Acuña (2020) obtuvieron un valor de 8,79 en dicha relación. Sin embargo, la bibliografía recomienda una relación C/N < 20 como un índice de madurez adecuado (Laos *et al.*, 2000), por lo que la relación C/N del compost obtenido en este trabajo está dentro del rango requerido para obtener un índice de madurez apto para ser utilizado.

En este trabajo la relación C/N del compost obtenido podría indicar que el proceso de maduración no ha concluido, pudiendo alcanzar valores óptimos al transcurrir un periodo de tiempo mayor. Diversas investigaciones señalan que una relación C/N óptima en un compost está ubicada entre 12 y 20 (Stofella y Kahn, 2001; Pierre *et al.*, 2009).

Al realizar las valoraciones microbiológicas de la composta durante su periodo de maduración, se encontró una mayor presencia de bacterias que de hongos (Figura 3). Asimismo, se observó una mayor cantidad de bacterias amonificantes en comparación con bacterias celulolíticas en este biofertilizante (Figura 4).

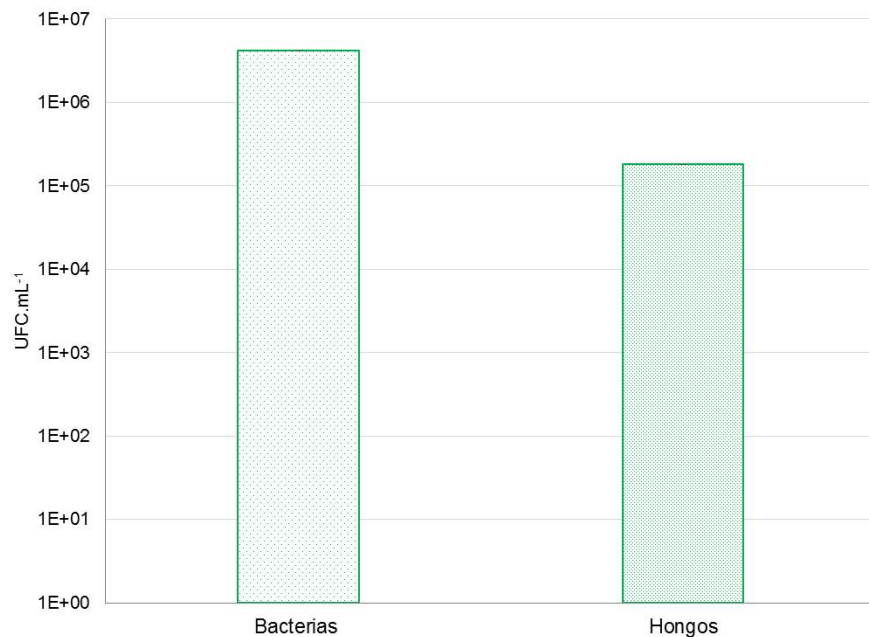


Figura 3. Proporción de hongos y bacterias en el biofertilizante a base de *Eichhornia crassipes* a los 60 días de iniciado el compostaje.

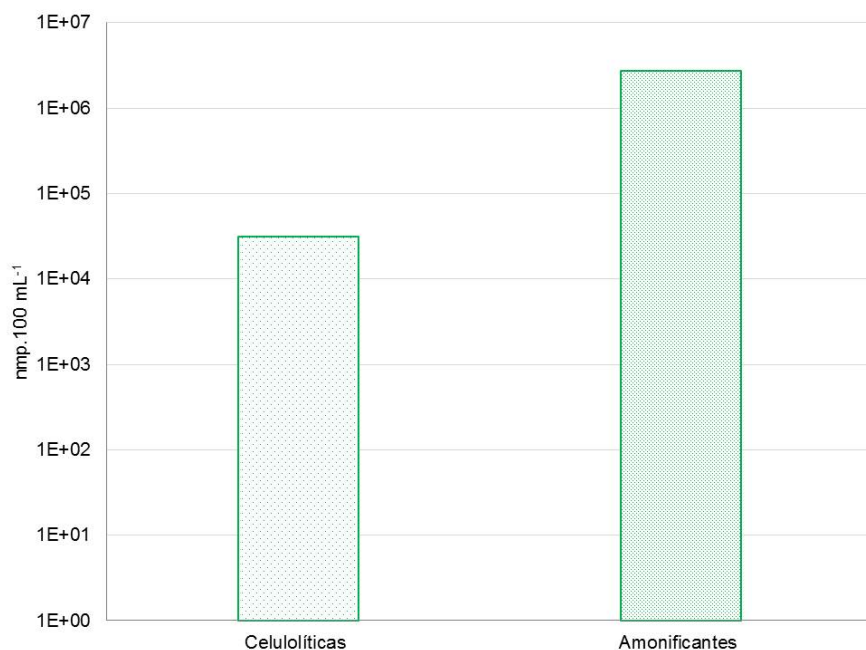


Figura 4. Proporción de bacterias amonificantes y celulolíticas presentes en el biofertilizante a base de *Eichhornia crassipes* a los 60 días de iniciado el compostaje.

En muchos casos, las bacterias son las más numerosas en el proceso de compostaje, constituyendo más del 80% de los microorganismos existentes en el compost, las cuales tienen una gran diversidad metabólica, lo que implica que emplean un amplio rango de enzimas que degradan químicamente una gran variedad de

compuestos orgánicos. Los resultados mostrados en la figura 4 indican que el proceso de descomposición continúa, ya que hay una proporción mayor de bacterias amonificantes acompañado, además, de un olor a amoníaco característico.

Los análisis microbiológicos deben ser de carácter obligatorio en los productos obtenidos como biofertilizantes, ya que generan indicadores que pueden sugerir si el proceso de descomposición continúa o ya terminó. Dichos exámenes indican: 1) la estabilización del abono, es decir, que no existe más sustrato que potencialmente pueda servir a los macroorganismos, haciendo que sus poblaciones fluctúen significativamente; 2) nos garantiza que al utilizar el biofertilizante no se está colocando en el suelo un consorcio microbiano que pueda ir en detrimento del ambiente en el suelo; 3) la presencia de hongos y bacterias totales facilitan la activación natural de la fertilidad del suelo, el cual es uno de los aportes más significativos al utilizar fertilizantes orgánicos (Ramírez-Iglesias *et al.*, 2017).

Al respecto, Álvarez-López *et al.* (2014) señalan las posibilidades e importancia de desarrollar procesos de investigación empleando análisis microbiológicos, ya que la evaluación está dirigida a los procesos de formulación, empleando diversos microorganismos bajo condiciones controladas de campo con potencial para su utilización como biofertilizantes o agentes de control biológico.

Establecer la cantidad y el tipo de microorganismos que actúan en un proceso de compostaje es complicado, ya que las poblaciones y comunidades de estos se modifican continuamente en función de diversos factores como temperatura, nutrientes, oxígeno, contenido de agua, pH, entre otros. Sin embargo, se puede afirmar que uno de los microorganismos que participan de forma determinante en el proceso son hongos y actinomicetos por su capacidad para degradar residuos de plantas y animales como celulosa, quitina y pectina a altas temperaturas (Farrel y Jones, 2009). Los resultados de los análisis microbiológicos nos pueden indicar como acelerar y mejorar el proceso de compostaje si sabemos que tipo de microorganismo esta en deficiencia.

Si el compostaje no resulta ser un proceso eficiente en condiciones específicas, una posible alternativa para mejorarlo es incorporar de forma artificial algunos microorganismos con capacidad de síntesis de enzimas hidrolíticas bajo diferentes condiciones de pH y temperatura que permitan acelerar el proceso, aumentando o sustituyendo la población nativa microbiana, lo que ha sido denominado bioaumentación (Zeng *et al.*, 2009).

Uno de los beneficios de los biofertilizantes es la incorporación de microorganismos al suelo, lo que potencia su fertilidad, ya que de forma natural se mejoran las condiciones del suelo, activando la biomasa microbiana presente en el mismo.

CONCLUSIONES

Eichhornia crassipes se puede presentar como una alternativa en la región de la Amazonía para el tratamiento de aguas residuales, ya que, de acuerdo con lo observado, su presencia reduce cuantitativamente los sólidos suspendidos totales en este tipo de efluentes. Adicionalmente, es una planta que se encuentra establecida en la zona de estudio, por lo cual resulta en un bajo costo, y contribuye además a la remoción de metales pesados gracias a su capacidad de adsorber y adherir a su biomasa diversos contaminantes que afectan la calidad de agua.

Por otro lado, *Eichhornia crassipes* luego del proceso de fitorremediación de aguas residuales, puede ser compostada para obtener un biofertilizante de excelente calidad química y microbiológica, que contribuye a potenciar la fertilidad natural del suelo, especialmente en estas zonas de actividad agropecuaria.

La investigación realizada demuestra que el compostaje permite llevar a cabo un manejo estratégico de los residuos entrando en el contexto de la agricultura regenerativa, que plantea la transformación de los sistemas de producción agropecuaria a modelos con un mayor compromiso ambiental en el contexto del cambio climático.

LITERATURA CITADA

- Ahila, K. G., Ravindran, B., Muthunarayanan, V., Nguyen, D. D., Nguyen, X. C., Chang, S. W., Nguyen, V. K., Thamaraiselvi, C. (2021). Phytoremediation Potential of Freshwater Macrophytes for Treating Dye-Containing Wastewater. *Sustainability*, 13, 329. <https://doi.org/10.3390/su13010329>
- Alomía, Y., Peña, E., Bolaños, A., y Pedraza, G. (2011). Efecto de la actividad del hongo *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. en la calidad de compost elaborado a partir de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach y estiércol bovino. *Livestock Research for Rural Development*, 23, 134. <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd23/6/alom23134.htm>
- Alvarado, F. (2018). *El tratamiento de residuos industriales líquidos, una revisión de literatura*. [Trabajo de Investigación, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24190>
- Álvarez-López, C., Osorio-Vega, W., Díez-Gómez, M. C., y Marín-Montoya, M. (2014). Caracterización bioquímica de microorganismos rizosféricos de plantas de vainilla con potencial como biofertilizantes. *Agronomía Mesoamericana*, 25 (2), 226-241. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212014000200002&lng=en&tlng=es
- Anderson, J. M. y Ingram, J. S. (1993). *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods* (2° ed.). CAB International.
- Ayme, M., y Ramos, M. (2020). *Eichhornia crassipes, Lemna minor y Pistia stratiotes como sorbentes de plomo, cobre y zinc en el tratamiento de aguas residuales*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62605>
- Baird, R; Eaton, A.D; Rice, E.W.(Eds) (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23° ed). American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environment Federation. Dokumen Pub, <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.002>
- Beltrán-Pineda, M. E; Gómez-Rodríguez, A. M. (2016). Biorremediación de metales pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Militar Nueva Granada*.12 (2), 172-197. <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Bernai, M. P., Peredes, C; Sánchez-Monedero, M. A., y Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* 3, 91-99. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852497000849>
- Bueno, P., Díaz, M., y Cabrera, F. (2008). Factores que afectan al proceso de compostaje. En J.Moreno y R.Moral, R. (eds.) *Compostaje*. (pp. 95 – 109). Mundi-Prensa.
- Bremner, J. M., y Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-Total. En A. L. Page, R. H. Miller y D. R. Keeney (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America*, 595-624. [https://www.scrip.org/\(S\(351jmbntvnst1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=181829](https://www.scrip.org/(S(351jmbntvnst1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=181829)
- Buta, E.; Borşan, I.L.; Omotă, M.; Trif, E.B.; Bunea, C.I.; Mocan, A.; Bora, F.D.; Rózsa, S.; Nicolescu, A. (2023). Comparative phytoremediation potential of *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, and *Pistia stratiotes* in two treatment facilities in Cluj County, Romania. *Horticulturae*, 9(4), 503, 1-15. <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae9040503>
- Brix, H., y Arias, C. A. (2005). The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. *Ecological Engineering*, 25(5), 491-500. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.07.009>
- Cabrera, H., Garcés, M., y Paredes, P. (2012). *Proyecto de desarrollo de capacidades para el uso seguro de aguas servidas en agricultura. Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en el Ecuador*. https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/127/ECUADOR_producici%C3%B3n_de_aguas_servidas_tratamiento_y_uso.pdf
- Carreño, U. (2020). *Buchon de agua (Eichhornia crassipes): Impulsor de la fitorremediacion*. (1ª Ed). Editorial Fundación Universitaria Los Libertadores.

- Carrión, C., Ponce-de León, C., Cram, S., Sommer, I., Hernández, M., y Vanegas, C. (2012). Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*, 46 (6), 609-620. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000600007&lng=es&tlng=es
- Castillo, E. (2017). *Eficiencia de Lemna sp y Eichhornia crassipes, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://www.semanticscholar.org/paper/Eficiencia-de-Lemna-sp-y-Eichhornia-crassipes%2C-en-Rojas-Will/7356ef6c48b0108abeb9c35fd6d86ff9f7c17218>
- Coronel, E. (2016). *Eficiencia del Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes) y Lenteja de Agua (Lemma minor) en el Tratamiento de las Aguas Residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Chachapoyas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chungopast, S., Yodying, P., y Nomura, M. (2021). Effects of Cellulolytic Bacteria on Nitrogen-Fixing Bacteria, 16S rRNA, nifH Gene Abundance, and Chemical Properties of Water Hyacinth Compost. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 768-779. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-020-00399-4>
- Chuquibala, M., y Sánchez, H. (2017). *Determinación de la eficiencia de remoción de contaminantes del afluente doméstico mediante la aplicación de Eichhornia crassipes y Lemma minor en el anexo El Molino, distrito de Chachapoyas, provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1426>
- Dalzell, H. W., Biddlestone, A. J., Gray, K. R., y Thurairajan, K. (1987). *Soil management: com. post production and use tropical and subtropical environments*. [Soils Bulletin 56]. United Nations Food and Agriculture Organization-FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/c7640d45-938a-5884-912c-b79d44602311/>
- Del Pino, A; Repetto, C; Mori, C; y Perdomo, C. (2007). Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 26 (1), 43-52. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v26n1/v26n1a6.pdf>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., González L., Tablada M., y Robledo C. W. (2020). *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Duncan, N A. (1974). *Quality Control and Industrial Statistcs*. (4° ed.). Irwin Homewoods III
- Eweis, J., Ergas, S, Chang, D., y Schroeder, E. (1999). *Principios de Biorecuperación (Bioremediation) Tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos* (1ª ed.). McGraw-Hill.
- Farrel, M., y D. L. Jones. (2009). Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. *Bioresource Technology*. 100, 4301-4310. https://www.researchgate.net/publication/24428289_Critical_Evaluation_of_Municipal_Solid_Waste_Composting_and_Potential_Compost_Markets
- Garavito, G., Ospina, L. y Ospina, D. (2020). Evaluación de un sistema a escala laboratorio, de un filtro de macrófitas en flotación como tratamiento de aguas residuales de un autolavado. *Revista Logos, Ciencia y Tecnología*, 12(1), 10-20.
- Garay, J. A., Pinilla, C. A., y Díaz, J. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros físicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos)*. <http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/13536>
- Garrido, M. y Villamarín, M. (2016). *Evaluación de la calidad de compost a base de jacinto de agua (Eichhornia crassipes) mediante la inoculación de Trichoderma sp*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13mien223>
- Gavilánez, F. (2015). Influencia de Eichhornia crassipes y Microorganismos Eficientes Sobre Contaminantes Químicos y Orgánicos de las Aguas Residuales de Naranjito, Ecuador. *Manglar, Revista de Investigación Científica*, 12(2), 21-29. <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/52/164>

- Guio, D., y Toscano, J. (2018). *Fitorremediación en humedal artificial con Eichhornia crassipes para remoción de materia orgánica en muestras de agua del Canal Albina en Bogotá*. [Tesis de Maestría, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. <http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/3417>
- Hannibal, B., Rafaela, V., y Guevara, L. (2016). Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del Cantón Riobamba. *European Scientific Journal*, 12, 76-94. <https://ejournal.org/index.php/esj/article/view/8200>
- Haruta, S., Nakayama T., Nakamura, K., Hemmi, H., Ishii, M., Igarashi, Y., y Nishino, T. (2005). Microbial diversity in biodegradation and reutilization processes of garbage. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 99(1), 1-11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389172305003221?via%3Dihub>
- Hernández, N., y Luna, J. (2016). *Prueba piloto para la evaluación de la eficiencia de las plantas fitorremediadoras del humedal Las Tinguas, en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/347
- Hernández-Mendoza, T., Salcedo-Pérez, E., Arévalo-Galarza, G., y Galvis-Spinola, A. (2007). Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 13(1), 5-13. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40182007000100005&script=sci_arttext
- Hu, H., Li, X., Wu, S., y Yang, C. (2020). Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives. *Bioresource Technology*, 315, 123809. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420310816?via%3Dihub>
- Ilo, O. P., Simatele, M. D., Mkhize, N. M., y Prabhu, N. G. (2020). The benefits of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for Southern Africa: A review. *Sustainability*, 12(21), 9222.
- Islam, M. N., Rahman, F., Papri, S. A., Faruk, M. O., Das, A. K., Adhikary, N., Adolphe O. Debrot, A.O. y Ahsan, M. N. (2021). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.) as an alternative raw material for the production of bio-compost and handmade paper. *Journal of Environmental Management*, 294, 113036. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113036>
- Jiménez, E., Silva, M., y Egea, F. (2008). 11. Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. En J. Moreno y R. Moral, *Compostaje* (pp. 243-283). Mundi-Prensa.
- Komilis, D. P., y Ham, R. K. (2003). The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes. *Waste management*, 23 (5), 419-423.
- Laos, F., Mazzarino, M., Satti, P., Roselli, L., Moyano, S., Ruival, M. y Moller, L. (2000). Planta de compostaje de biosólidos: investigación y desarrollo en Bariloche, Argentina. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 50, 86-89.
- Lara, L. (2017). *Fitorremediación para la extracción del colorante "Azul de Metileno" mediante el uso de Eichhornia crassipes*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/67471>
- León Suarez, R. J. (2017). *Inventario de plantas recomendadas para fitorremediación de coliformes fecales en aguas negras*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17560>
- Lima, H. D. P., y Asencios, Y. J. (2021). *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (natural or carbonized) as biosorbent to remove pollutants in water. *SN Applied Sciences*, 3(8), 1-18. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-021-04736-9>
- Lozada, E. (2019). *Eficiencia de Cuatro Biomazas de Eichhornia crassipes en la remoción de Cadmio en aguas residuales del tragadero Yacuchingana - Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35906>
- Martelo, J., y Borrero, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y ciencia*, 8(15), 221-243.
- Mashavira, M., Chitata, T., Mhindu, R., Muzemu, S., Kapenzi, A., y Manjeru, P. (2015). The effect of water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) compost on tomato (*Lycopersicon esculentum*) growth attributes, yield potential and heavy metal levels. *American Journal of Plant Sciences*, 6 (4), 545–553. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=54496>

- Mckean, S. J. (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías*. CIAT.
- Mendoza, Y., Pérez, J., y Galindo, A. (2018). Evaluación del aporte de las plantas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Información Tecnológica*, 29(2), 205–14. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v29n2/0718-0764-infotec-29-02-00205.pdf>
- Metcalf y Eddy INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. McGraw-Hill/interamericana de España S. A.
- Miner, G. (2006). Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Water Works Association Journal*, 98(1), 130. <https://search.proquest.com/openview/1a6171b214320d5d593638d7843fe35f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=25142>
- Moakher, G. V., Soltani, M., Shamsae-Mehrjan, M., y Kamali, A. (2021). Effect of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) density on water quality, growth performance and survival of koi carp (*Cyprinus carpio carpio*) in an aquaponic system. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 20(5), 1442-1453. <https://researchportal.murdoch.edu.au/esploro/outputs/journalArticle/Effect-of-water-hyacinth-Eichhornia-crassipes/991005541709807891>
- Montero-Vega, F., Molina-Cedeño, C., Pillco-Herrera, B., Sarduy-Pereira, L., y Diéguez-Santana, K. (2020). Evaluación del Impacto Ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso Río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 3(1), 23–39. [HTTPS://WWW.MLSJOURNALS.COM/PROJECT-DESIGN-MANAGEMENT/ARTICLE/VIEW/612](https://WWW.MLSJOURNALS.COM/PROJECT-DESIGN-MANAGEMENT/ARTICLE/VIEW/612)
- Moreno Casco, J., y Mormeneo Bernat, S. (2008). Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. En J. Moreno Casco y R. Moral Herrero (Eds.) *Compostaje* (pp. 112-139). Editorial Mundi-Prensa. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=298016>
- Murphy, J., y Riley, H.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta* 27, 31-36. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)
- Nazir, M. I., Idrees, I., Idrees, P., Ahmad, S., Ali, Q., y Malik, A. (2020). Potential of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* L.) for phytoremediation of heavy metals from waste water. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, 2020(1). <http://bcsrj.com/ojs/index.php/bcsrj/article/view/6>
- Neumann, R. B., Paredes Fernández, S., Andrews, L., Alarcón, J. A., & InterACTION Labs Working Group. (2023). Influence of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) on concentration and distribution of *Escherichia coli* in water surrounding an informal floating community in Iquitos, Peru. *GeoHealth*, 7, 1-16. <https://doi.org/10.1029/2022GH000768>
- Núñez, F. (2021). *Jacinto de Agua y tiempo de permanencia en el proceso de fitorremediación de las Lagunas PTAR- EL INDIO*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2705/IASIN-NUN-ALB-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Núñez Morales, E., Saboya Ríos, N., y Cruz Huaranga, M. (2019). Fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 5(2). https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1362
- Orellana T, S. A. y Hernández, A. A. (2021). Efecto del compost de *Eichhornia crassipes* en la calidad de plantas en vivero de *Theobroma cacao*. *Project Design and Management*, 3(1), 73-88. <https://www.mlsjournals.com/Project-Design-Management/article/view/612>
- Ordóñez Andrade, G. M. (2014). *Transformación de los lodos generados en el Camal Municipal en compost para uso en el cultivo de vacía (Vicia sativa)*. [Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7877>
- Palta, G. H., y Morales, S. (2013). Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 57-65. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/298>

- Perdomo, C., Salazar, A., Velásquez, M., y Patiño, A. (2018). Estado del arte; del uso de la *Eichhornia crassipes* en la fitorremediación de aguas residuales industriales. *Ingenio Magno*, 9(2), 105-130. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7021685>
- Pierre, Francis, Rosell, María, Quiroz, Ana, y Granda, Yasmil. (2009). Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en Caspito Municipio Andrés Bello, estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 21(2), 105-110. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612009000200004&lng=es&tlng=es
- Rajendran, P; Muthukrishnan, J; Gunasekaran, P. (2003). Microbes in heavy metal remediation. *Indian Journal of Experimental Biology*, 41: 935-944. https://www.researchgate.net/publication/230641722_Rajendran_P_Muthukrishnan_JM_Gunasekaran_P_2003_Microbes_in_heavy_metal_remediation_Indian_Journal_of_Experimental_Biology_Vol41_935-944/link/583d85fe08aeda696806daac/download
- Ramírez-Iglesias, E., Hernández-Hernández, R. M., Castro, I., y González, I. (2017). Manejo de recursos orgánicos locales, como estrategia agroecológica para la elaboración de abonos en bosques nublados de la Cordillera de la Costa en Venezuela. *Agro Sur*, 45(1), 19–30. <http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v45n1/art04.pdf>
- Reyes-Pérez, J., Luna-Murillo, R., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Hernández-Montiel, L., Rueda-Puente, E., y Preciado-Rangel, P. (2017). Uso de Vermicompost y Compost de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) en el crecimiento de Col Morada (*Brassica oleracea*). *Interciencia* 42(9), 610–15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33952909010>
- Rivas-Nichorzon, M., y Silva-Acuña, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia crassipes*). *Ciencia UNEMI*, 13(32), 87-100. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1007>
- Robalino, D. (2020). *Fitorremediación usando Eichhornia crassipes (Jacinto de agua), en la planta de tratamiento de aguas residuales del Recinto Pita, Caluma - Bolívar*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. https://rraa.e.cedia.edu.ec/Record/UG_3622fd9d816f80b038d1f32c29858a61
- Rodier, J. (1986). *Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales y agua de mar*. Editorial Omega.
- Sanz Elorza, M; Dana Sánchez, E.D; Sobrino Vesperinas, E. (Eds.). (2004). *Atlas de las Plantas Alóctonas Invasoras en España*. Dirección General para la Biodiversidad. Madrid.
- SENAGUA. (2016). *Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento. Ecuador*. <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/REVISTA-SE-NAGUA.compressed.pdf>
- Stofella, P. y B. Kahn (eds.). (2001). *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*. CRC Press.
- Sweeney, R. A., y Rexroad, P. R. (1987). Comparison of LECO FP-228” nitrogen determinator” with AOAC copper catalyst Kjeldahl method for crude protein. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 70(6), 1028-1030. <https://academic.oup.com/jaoac/article/70/6/1028/5699456>
- Tapia, L. (2015). Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Edición Especial. Acuerdos 097-A. (387). Ministerio del Ambiente. <https://vlex.ec/vid/reformese-texto-unificado-legislacion-645825397>
- Tejada-Tovar, C; Paz-Astudillo, I; Villabona-Ortíz, A; Espinosa-Fortich, M; y López-Badel, C. (2018). Aprovechamiento del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para la síntesis de carboximetilcelulosa. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 211-221. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S222454212018000200003&lng=es&tlng=es
- Tobar, S. A. O., y Hernández, A. A. (2021). Efecto del compost de *Eichhornia crassipes* en la calidad de plantas en vivero de *Theobroma cacao*. *Project Design and Management*, 3(1). <https://doi.org/10.35992/pdm.v3i1.612>
- Universidad Central de Venezuela. (1993). *Métodos de análisis de suelos y plantas utilizados en el laboratorio general del Instituto de Edafología*. Cuadernos Agronomía. Facultad de Agronomía.
- Uzinger, N., Takács, T., Szili-Kovács, T., Radimsky, L., Füzy, A., Draskovits, E., Szűcs-Vásárhelyi, N; Molnár, M; Farkas, E; Kutasi, J y Rékási, M. (2020). Fertility impact of separate and combined treatments with Biochar, Sewage Sludge Compost and Bacterial Inocula on Acidic Sandy Soil. *Agronomy*, 10(10), 1612. <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/10/1612>
- Van Soest, P.J. (1982). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. O and B Books Inc., Corvallis, Vol. 112, pp. 126- 127.

- Velasco, G., Moncayo, J., y Chuquer, D. (2019). Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de Manta." *InfoANALÍTICA*, 7(1), 27–39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7113302>
- Villafuerte, S. (2020). *Fitorremediación del agua del estero la Matanza 2 del Cantón Durán con la implementación de dos especies vegetativas*. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad Agraria del Ecuador. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VILLAFUERTE%20VELASCO%20SANDY%20MABEL.pdf>
- Vizcaíno, L. y Fuentes, N. (2016). Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 19(1), 189-198. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262016000100022
- Watanabe, F.S., y Olsen S. R. (1965). Test acid ascorbic methods for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soil. *Soil Science Society Proceedings*, 29, 677-678. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1965.03615995002900060025x>
- Wei, Z., Van Le, Q., Peng, W., Yang, Y., Yang, H., Gu, H., y Sonne, C. (2021). A review on phytoremediation of contaminants in air, water and soil. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123658. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123658>
- Zapata-Hernández, R. D. (2009). *El compostaje y los índices para evaluar su estabilidad*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos y Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero*. Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0003_2
- Zeng, G. M., Huang, H. L; Huang, D. H; Yuan, X. Z; Jiang, R. Q; Yu, H. Y ; Zhang, J. C; Wang, R. Y. y Liu, X. L . (2009). Effect of inoculating white-rot fungus during different phases on the compost maturity of agricultural wastes. *Process Biochemistry*. 44, 396-400. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135951130800367X>

ENLACE ALTERNATIVO

<https://petroglifosrevistacritica.org.ve/revista/alternativa-biorremediadora-en-el-tratamiento-de-aguas-residuales-del-canton-el-pangui-ecuador-con-eichhornia-crassipes/> (html)