FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	4.8/5	Mejorable, podría ser más creativo
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumple
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	13/15	Es coherente con el tema, sin embargo la redacción no es científica. Muestra conceptos sin conexión.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	24/25	La estructuración no es amigable con el lector. Presenta todos los resultados, sin embargo, la manera en que se organiza resulta confusa.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Si cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Si cumple
VALORACIÓN TOTAL	96.8	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	96.8

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ANABEL DE LOS ANGELES CUEVA AGILA

Anabel de los Ángeles Cueva Agila
Par Ciego

Dado en la ciudad de Puyo, a los 25 días del mes de Febrero de 2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	4/5	Cumple, sin embargo, resulta muy extenso.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	14/15	Cumple
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	13/15	La "Guía metodológica de los trabajos de IC" menciona textualmente: La metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y el procedimiento de la información y obtención de datos que se utilizaron en el trabajo de integración curricular, además de las herramientas y/o servicios. En este trabajo no se menciona el tipo de investigación.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	24/25	Cumple
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	8/10	Algún otro resultado hallado debería mostrarse en las conclusiones. El trabajo da para ello.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	3/5	Las referencias de un trabajo deben ir en una misma sección. Aquí están por separado.
VALORACIÓN TOTAL	100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	91

Atentamente,

MARIO ANDRES AVILA ANDRADE

Firmado digitalmente por MARIO ANDRES AVILA ANDRADE
Fecha: 2022.02.26 15:26:02 -05'00'

PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 25 días del mes de febrero de 2022.

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE BIOLOGÍA

Puyo, 06 de febrero del 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: GONZÁLEZ GONZÁLEZ JOHANNA SILVANA_, con C.I. 1900638451, con el Tema: "La *Eichhornia crassipes* como alternativa biorremediadora en el tratamiento de aguas residuales del Cantón El Pangui – Ecuador", de la carrera de Biología. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, La *Eichhornia crassipes* como alternativa biorremediadora en el tratamiento de aguas residuales del Cantón El Pangui – Ecuador, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 10%, Informe generado con fecha 2022-01-23 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH DEL CARMEN RAMIREZ IGLESIAS

Ramírez-Iglesias E., PhD

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	ARTÍCULO DE LA EICHHORNIA CRASSIPES 2021.docx (D125878103)
Submitted	2022-01-23T21:32:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	pblg2017012@uea.edu.ec
Similarity	10%
Analysis address	ec.ramirezi.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000200205 Fetched: 2021 11-26T21:54:32.5270000	1
W	URL: https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2930441 Fetched: 2022 01-23T21:31:46.0130000	1
SA	**ATALAYA_C_GUILLEN_O_ EXAMEN FINAL.pdf** Document ATALAYA_C_GUILLEN_O_ EXAMEN FINAL.pdf (D110506713)	4
SA	**EF_Taller de Tesis 1_Salazar Bidios Jennifer and Suarez Trujillo Greeys.docx** Document EF_Taller de Tesis 1_Salazar Bidios Jennifer and Suarez Trujillo Greeys.docx (D120725789)	1
SA	**2016-178030_Limachi_G.docx** Document 2016-178030_Limachi_G.docx (D61049599)	4
SA	**ParvinaM_Y_TenorioA_RS.docx** Document ParvinaM_Y_TenorioA_RS.docx (D119814293)	2
W	URL: http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/3417 Fetched: 2022 01-23T21:32:00.0000000	1
SA	**monografia pasada por el urkun.docx** Document monografia pasada por el urkun.docx (D38980240)	1
W	URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9222/htm Fetched: 2021 05-16T11:53:56.4130000	2
W	URL: https://research.wur.nl/en/publications/water-hyacinth-eichhornia-crassipes-mart-solms-as-an-alternative- Fetched: 2022-01-23T21:31:43.5870000	1
W	URL: https://file.scirp.org/pdf/AJPS_2015031014332905.pdf Fetched: 2022 01-23T21:31:45.2530000	2
W	URL: https://search.proquest.com/openview/1a6171b214320d5d593638d7843fe35f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=25142Moakher, Fetched: 2022-01-23T21:32:00.0000000	1

W	URL: http://doi.org/10.17162/rictd.v5i2.886 Fetched: 2022-01-23T21:32:00.0000000	1
SA	**12132-Edgar David Cupe Flores - Carlos Jesús Porto.pdf** Document 12132-Edgar David Cupe Flores - Carlos Jesús Porto.pdf (D40678354)	1
W	URL: http://bcsrj.com/ojs/index.php/bcsrj/article/view/6 Fetched: 2022 01-23T21:31:59.1700000	1
W	URL: http://repositorio.ug.edu.ec/browse?type=tutor&value=Pozo+Guerrero%2C+Wilson Fetched: 2022-01-23T21:31:46.6130000	1
SA	**2° BORRADOR DENISSE DE LA ESSE.docx** Document 2° BORRADOR DENISSE DE LA ESSE.docx (D14997465)	1
W	URL: http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a22.pdf Fetched: 2021 02-20T00:20:27.4800000	1
SA	**EF_Taller de Tesis 1_Introduccion_Abarca Chavez Gregorio Alfredo.docx** Document EF_Taller de Tesis 1_Introduccion_Abarca Chavez Gregorio Alfredo.docx (D120731429)	1

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE BIOLOGÍA

Puyo, 06 de febrero del 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: GONZÁLES QUIROLA CARLOS AUGUSTO, con C.I. 1900847649, con el Tema: "La *Eichhornia crassipes* como alternativa biorremediadora en el tratamiento de aguas residuales del Cantón El Pangui – Ecuador", de la carrera de Biología. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, La *Eichhornia crassipes* como alternativa biorremediadora en el tratamiento de aguas residuales del Cantón El Pangui – Ecuador, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 10%, Informe generado con fecha 2022-01-23 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH DEL CARMEN RAMIREZ IGLESIAS

Ramírez-Iglesias E., PhD

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	ARTÍCULO DE LA EICHHORNIA CRASSIPES 2021.docx (D125878103)
Submitted	2022-01-23T21:32:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	pblg2017012@uea.edu.ec
Similarity	10%
Analysis address	ec.ramirezi.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000200205 Fetched: 2021 11-26T21:54:32.5270000	1
W	URL: https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2930441 Fetched: 2022 01-23T21:31:46.0130000	1
SA	**ATALAYA_C_GUILLEN_O_ EXAMEN FINAL.pdf** Document ATALAYA_C_GUILLEN_O_ EXAMEN FINAL.pdf (D110506713)	4
SA	**EF_Taller de Tesis 1_Salazar Bidios Jennifer and Suarez Trujillo Greeys.docx** Document EF_Taller de Tesis 1_Salazar Bidios Jennifer and Suarez Trujillo Greeys.docx (D120725789)	1
SA	**2016-178030_Limachi_G.docx** Document 2016-178030_Limachi_G.docx (D61049599)	4
SA	**ParvinaM_Y_TenorioA_RS.docx** Document ParvinaM_Y_TenorioA_RS.docx (D119814293)	2
W	URL: http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/3417 Fetched: 2022 01-23T21:32:00.0000000	1
SA	**monografia pasada por el urkun.docx** Document monografia pasada por el urkun.docx (D38980240)	1
W	URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9222/htm Fetched: 2021 05-16T11:53:56.4130000	2
W	URL: https://research.wur.nl/en/publications/water-hyacinth-eichhornia-crassipes-mart-solms-as-an-alternative- Fetched: 2022-01-23T21:31:43.5870000	1
W	URL: https://file.scirp.org/pdf/AJPS_2015031014332905.pdf Fetched: 2022 01-23T21:31:45.2530000	2
W	URL: https://search.proquest.com/openview/1a6171b214320d5d593638d7843fe35f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=25142Moakher, Fetched: 2022-01-23T21:32:00.0000000	1

W	URL: http://doi.org/10.17162/rictd.v5i2.886 Fetched: 2022-01-23T21:32:00.0000000	1
SA	**12132-Edgar David Cupe Flores - Carlos Jesús Porto.pdf** Document 12132-Edgar David Cupe Flores - Carlos Jesús Porto.pdf (D40678354)	1
W	URL: http://bcsrj.com/ojs/index.php/bcsrj/article/view/6 Fetched: 2022 01-23T21:31:59.1700000	1
W	URL: http://repositorio.ug.edu.ec/browse?type=tutor&value=Pozo+Guerrero%2C+Wilson Fetched: 2022-01-23T21:31:46.6130000	1
SA	**2° BORRADOR DENISSE DE LA ESSE.docx** Document 2° BORRADOR DENISSE DE LA ESSE.docx (D14997465)	1
W	URL: http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a22.pdf Fetched: 2021 02-20T00:20:27.4800000	1
SA	**EF_Taller de Tesis 1_Introduccion_Abarca Chavez Gregorio Alfredo.docx** Document EF_Taller de Tesis 1_Introduccion_Abarca Chavez Gregorio Alfredo.docx (D120731429)	1

"La *Eichhornia crassipes* como alternativa biorremediadora en el tratamiento de aguas residuales del cantón El Pangui – Ecuador"

Johanna Silvana González González[1]
pblg2017012@uea.edu.ec

Carlos Augusto Gonzáles Quirola[1]
pblg2017014@uea.edu.ec

Elizabeth Ramírez-Iglesias, PhD[2]
ec.ramirezi@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología (1)

Resumen

La *Eichhornia crassipes* se utiliza como alternativa tecnológica para el saneamiento y descontaminación de los cuerpos de agua, por su capacidad fitorremediadora, y puede ser utilizada como materia prima en elaboración de compost. El objetivo de este estudio fue i) evaluar la capacidad fitorremediadora de la *Eichhornia crassipes* en la remoción de sólidos suspendidos totales y otros contaminantes de las aguas residuales en el cantón El Pangui, así como ii), proponer una alternativa de biotransformación, para la obtención de un biofertilizante. El diseño experimental fue realizado en dos fases: selección y establecimiento de la especie vegetal y posteriormente la propuesta de compostación. Se evaluó la biorremediación por 120 días, n=48. Se analizaron muestras del afluente y efluente, mediante gravimetría y análisis químicos. Se analizó químicamente la biomasa total antes y después de la biorremediación, para utilizarla en la compostación. Tanto a los sustratos como al biofertilizante, se realizó análisis químicos y microbiológicos. Se aplicó ANOVA con Duncan $p<0.05$. La *Eichhornia crassipes* en la laguna de oxidación fue eficiente en la remoción de SST, ya que, en el afluente presentó valores de 26,75 mg/L, mientras que, en el efluente mostró un valor de 2,56 mg/L ($p<0.05$). Además, esta macrófita intervino en la remoción de TDS, DBO_5, DQO y otros contaminantes (As, Cu, Nt, P, Pb, Zn).El biofertilizante obtenido a partir de la compostación de la macrófita mostró un contenido de MO 39,35%, N 3, 71 %, K 11,95%, Ca 7,93%, Mg 2,05% y C/N de 6,48 haciéndolo apto para mejorar las condiciones del suelo, además de un componente microbiológico adecuado para su utilización en suelos agrícolas. En conclusión, la *Eichhornia crassipes* podría ser una alternativa en el tratamiento de aguas residuales y utilizarla en la compostación para potenciar la fertilidad del suelo.

Palabras Clave: sólidos suspendidos totales, metales pesados, fitorremediación, compostación.

Abstract

Eichhornia crassipes is used as a technological alternative for sanitation and decontamination of water bodies, due to its phytoremediation capacity, and can be used as raw material in composting. The objective of this study was i) to evaluate the phytoremediation capacity of *Eichhornia crassipes* in the removal of total suspended

solids and other pollutants from wastewater in the canton of El Pangui, as well as ii) to propose a biotransformation alternative for obtaining a biofertilizer. The experimental design was carried out in two phases: selection and establishment of the plant species and then the composting proposal. Sixty plant species were selected to be established in the oxidation plant. Bioremediation was evaluated for 120 days, n=48. Total biomass before and after bioremediation was chemically analyzed for use in composting. Both substrates and biofertilizer were subjected to chemical and microbiological analysis. ANOVA with Duncan $p<0.05$ was applied. *Eichhornia crassipes* in the oxidation lagoon was efficient in the removal of TSS, since, in the influent it presented values of 26.75 mg/L, while, in the effluent it showed a value of 2.56 mg/L ($p<0.05$). In addition, this macrophyte intervened in the removal of TDS, BOD5, COD and other pollutants (As, Cu, Nt, P, Pb, Zn).the biofertilizer obtained from the composting of the macrophyte showed a MO content of 39.35%, N 3, 71 %, K 11.95%, Ca 7.93%, Mg 2.05% and C/N of 6.48 making it suitable for improving soil conditions, in addition to a microbiological component suitable for use in agricultural soils. In conclusion, *Eichhornia crassipes* could be an alternative in wastewater treatment and used in composting to enhance soil fertility.

***Keywords**:* total suspended solids, heavy metals, phytoremediation, composting

1. 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 225.000 toneladas de residuos sólidos; sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado en las ciudades reciben tratamiento, por lo tanto, 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 (Villafuerte, 2020; Alvarado, 2018).

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 aguas dulces, sin ningún tipo de tratamiento previo (Gavilánez, 2015; Montero et al., 2020), esta realidad, aunado a la falta de infraestructura física y un plan de tratamiento de aguas residuales ineficiente, 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, donde si bien existen sistemas de oxidación de aguas servidas y se transporta grandes cantidades de residuos sólidos y materia orgánica, este sistema se torna ineficiente 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).

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

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

Dentro de las características que le otorga 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 & Asencios, 2021). Tanto el proceso de transformación del nitrógeno (N), como la absorción de metales por las raíces, así como sus características eurioicas (Moakher et al., 2021), hacen de esta planta una de las más utilizadas en términos de saneamiento de aguas.

Autores como Tobar & Hernández (2021) reportan, que, si bien la fitorremediación utilizando la *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 la compostación 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 Uzinger et al., (2020), señalan que una vez que la *E. crassipes*, ha sido utilizada en el proceso de biorremediación, y ha sido sometida a procesos de descomposición cuidando las relaciones carbono/nitrógeno (C/N) durante su descomposición y los niveles de bacterias totales, celulolìticas, amonificantes y hongos en el material estabilizado, puede ser utilizado como biofertilizante en áreas verdes y cultivos.

La compostación de la *Eichhornia crassipes* luego de ser utilizada como biorremediadora, puede ser empleada como alternativa para la obtención de un biofertilizante estabilizado físico-química y microbiológicamente (Tobar & Hernández, 2021).

Al establecer la compostación 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 (Islam et al., 2021; Nazir et al., 2017). De igual forma, algunos autores recomiendan realizar análisis microbiológicos al abono final, a fin de verificar los contenidos microbiológicos presentes en el producto que posteriormente pueda ser utilizado como biofertilizante (Ramírez-iglesias et al.,

2017; Tobar & Hernández, 2021; Chungopast et al., 2021).

Los objetivos de la presente investigación son evaluar la capacidad fitorremediadora de la *Eichhornia crassipes* en el saneamiento de las aguas residuales en el cantón El Pangui, mediante la caracterización de parámetros fisicoquímicos durante la implementación de esta planta acuática, así como, proponer una alternativa de biotransformación de este material vegetal, para la obtención de un bioproducto que pueda ser utilizado localmente como biofertilizante.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1 Características de la zona de estudio

La zona de estudio considerada 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, geográficamente se localiza en una zona rural a una altitud 864.07 msnm, latitud 9598374.22 m S y longitud 769705.06 m E, 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 (Peñaherrera, 2016).

2.2 Diseño experimental y muestreo

El diseño experimental fue realizado en dos fases: 1) la primera fase consistió en la identificación, selección y establecimiento de la especie vegetal fitorremediadora en la planta de tratamiento, y 2) la segunda fase consistió en caracterizar los sustratos orgánicos de mayor presencia en la zona. Posteriormente se procedió a la compostación de la *Eichhornia crassipes* luego de que ésta cumpliera su función biorremediadora.

2.2.1 Fitorremediación a base de la *Eichhornia crassipes*

El diseño experimental fue completamente aleatorizado tomando 60 especies vegetales de la zona del Remolino Cantón El Pangui, para su respectiva identificación botánica (Lara, 2017), las mismas tenían un tamaño de aproximadamente de 15 cm. Posterior a la identificación de la *Eichhornia crassipes*, se la introdujo en la planta de tratamiento, considerando las experiencias previas de Hernández & Luna (2016), así como las experiencias de los trabajadores de la planta de tratamiento, quienes ya han utilizado este vegetal como fitorremediador.

La implementación de la *Eichhornia crassipes*, se realizó colocando 60 plantas ya identificadas en la parte inferior de la laguna de oxidación. Transcurridos 15 días de su introducción, se realizó los análisis gravimétricos (Coronel, 2016) del agua residual, por un lapso de 120 días, ya que, de acuerdo a Lozada (2019) 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 las muestras del agua en dos sitios diferentes dentro de la planta de oxidación, a una profundidad de 40 cm. En cada punto de muestreo se tomaron 3 muestras a fin de disminuir el sesgo al momento de los análisis. El total muestras de agua tomadas durante los 120 días de monitoreo fue de n=48.

2.2.2 Análisis físicos y químicos de las muestras de agua residual

Se recolectaron muestras en dos puntos importantes de la laguna de oxidación, siguiendo el protocolo de monitoreo de aguas residuales (Núñez, 2021), la toma fue en el afluente (ingreso de aguas residuales) y efluente (salida de aguas residuales hacia el río Pachicutza).

Posteriormente fueron colocadas en envases plásticos de 100 mL, se filtró el agua residual mediante un filtro de fibra de vidrio, durante 5 minutos; luego se secó 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) (Ecuación 1) (Garay et al., 2003; Coronel, 2016; Hernández & Luna, 2016).

$$SST\ mg/L = (A-B) * 1000 / V\ ml \quad \textbf{(Ecuación 1)}$$

A= Peso filtro + residuo (g)
B = Peso filtro (g)
V= Volumen de la muestra filtrada (mL) (Garay et al., 2003).

Asimismo, se recolectó 300 mL de agua para realizar determinaciones de pH (Hernández & Luna, 2016) utilizando un pH metro digital de campo, con una precisión de ± 0,01. Asimismo, se evaluó el total de sólidos disueltos mediante (TDS) digital (ppm), con una precisión de ± 2%. Finalmente, para conocer el porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales en aguas residuales de acuerdo a Mendoza et al. (2018) (Ecuación 2).

$$Eficiencia\ de\ remoción\ (\%) = Ca – Ce * 100 / Ca \quad \textbf{(Ecuación 2)}$$

Ca = concentraciones en el afluente
Ce = concentraciones en el efluente

Luego de trascurridos 120 días de haber implementado la *Eichhornia crassipes*, se recolectó 3 muestras de agua en la entrada y la salida de la planta de tratamiento, así como de la biomasa vegetal (luego de haber sido implementada en la laguna), para la realización de los análisis químicos correspondientes.

Para ello se evaluó el contenido de nitrógeno total (Nt) utilizando el método 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), fósforo (P) fueron sometidas a un pretratamiento por absorción atómica, todos los métodos fueron aplicados de acuerdo a Miner (2006) y Baird (2017).

Con lo que respecta a la demanda biológica de oxígeno (DBO_5) se utilizó el método respirométrico; mientras que, para la demanda química de oxígeno fue analizado por el método colorimétrico, flujo cerrado, esto de acuerdo a Baird (2017).

En el caso de la biomasa total de la *Eichhornia crassipes* se realizaron análisis de Nt por el método Kjeldahl (Sweeney & Rexroad, 1987), As por el método de espectrofotometría de absorción atómica de llama, generación de hidruros. En cuanto al Cu, Zn, Pb analizaron por espectrofotometría de absorción atómica de llama, Aire-Acetileno (USEPA, 1986) y P por digestión con ácido o después de la calcinación de la muestra, en el caso de esta muestra se trabaja por oxidación, en forma de fosfato, y se lee por colorimetría (Mckean, 1993).

2.2.3 Compostación de la *Eichhornia crassipes* luego de ser utilizada en el proceso de fitorremediación

El proceso de compostación para la obtención de un biofertilizante comprendió cuatro fases: i) identificación de los residuos orgánicos locales que servirán de sustrato para la compostación; ii) caracterización fisicoquímica de los sustratos, haciendo énfasis en las relaciones carbono/nitrógeno, así como en los tiempos de descomposición; iii) monitoreo de la descomposición considerando temperatura (T) y humedad hasta finalmente iv) caracterización del biofertilizante obtenido.

2.2.4 Caracterización de los residuos orgánicos generados localmente

Se realizó el diagnóstico de los residuos producidos localmente para ser utilizados en la elaboración del biofertilizante. En general, las principales materias primas de la región son estiércol de cuy (*Cavia porcellus*), estiércol de bovino, aserrín, bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y *Eichhornia crassipes*. Los criterios de evaluación contemplados inicialmente fueron las relaciones C/N y concentraciones de lignina (L), ya que mediante estos parámetros se pueden inferir tanto los tiempos de descomposición como las proporciones que se pueden realizar de los materiales al conformar las pilas de compostación (Ramírez-Iglesias et al., 2017). Asimismo, se realizó mediciones de temperatura y pH, éste fue medido utilizando una relación sustrato: agua 1:2 (Anderson & Ingram, 1993).

El diseño experimental en el caso de la elaboración de los bioabonos a partir de la *Eichhornia crassipes*, fue completamente aleatorizado, con tres pilas de compost como réplicas, a partir de la materia orgánica generada de forma local. La conformación de las pilas de compostación, obedeció a un diagnóstico con las unidades familiares de producción de lo que se genera en mayor proporción localmente y segundo a la caracterización de la materia prima que conformo las pilas de compostación, de acuerdo a lo sugerido por Ramírez-Iglesias et al. (2017).

Posterior y basados en esta caracterización se conformaron las tres pilas de compostación, las cuales fueron consideradas como réplicas, a fin de evaluar los tiempos de descomposición, así como la disponibilidad de nutrientes.

Cada una de las pilas midieron 1.60 metros de ancho con una altura de 1.30 metros. 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).

Es importante mencionar que se realizó el primer volteo y medición de la T a los 3 días y luego a los 5 días con la finalidad de monitorear que se alcanzara la T sugerida por la literatura para garantizar el saneamiento de la pila. Posterior a estas dos mediciones, tanto el volteo como las mediciones de temperatura y el humedecimiento se espaciaron cada 8 días, por el tiempo que duró la descomposición del material, hasta que cada una de las pilas cumplió 60 días y se consideró: coloración, degradación del material y temperatura. Cabe destacar que las 3 pilas fueron protegidas con un polietileno negro a fin de protegerlas de la lluvia, sol y tratar de que las tres guardaran características similares de descomposición.

Una vez que las pilas presentaron estabilidad en cuanto a la T a los 60 días, se tomó tres muestras por pila, con la finalidad de realizar la caracterización química y microbiológica del abono ya estabilizado.

2.2.5 Análisis químicos de los sustratos

El C el carbono (%C) se midió a través de una oxidación húmeda sin calentamiento (UCV, 1993); mientras que para la determinación del nitrógeno total (Nt) se empleó una digestión húmeda con H_2SO_4 y destilación con Microkjeldahl (Bremner, 1965).

El fósforo total (P) con digestión húmeda y se determinó el método colorimétrico molibdato-ácido ascórbico (Murphy & Riley, 1962), leído por un Spectronic 20 Thermo Scientific, Genesys 22.

El potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) se utilizó como extractante Mehlich III (Murphy & Riley, 1962), utilizando para ello un espectrofotómetro de absorción atómica IC-3300.

2.2.6 Elaboración de las pilas de compostación

Considerando la caracterización de los sustratos se realizó la combinación y las proporciones para la conformación de las pilas de compostación, quedando las 3 pilas constituidas de la misma manera y siendo tratadas de la misma forma. 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 y 15 kg de material verde variado y 23 kg de material seco.

La elaboración de las pilas inició con una capa seca o colchón seco de verde, una de estiércol de bovino, material verde (*Eichhornia crassipes*), material seco (bagazo de caña de azúcar), se humedeció la pila, material verde, material seco (Bagazo), estiércol, se humedeció la pila, material verde (*Eichhornia crassipes)*, aserrín, se humedeció la pila y así sucesivamente hasta alcanzar la altura de 1.30 m y se terminó la pila con material verde. Por último, se tapó cada pila con el polietileno negro, de aproximadamente 3 metros, con el fin de evitar la pérdida de calor.

Asimismo, se midió la T de cada pila a los 3 primeros días con la ayuda de un termómetro ambiental, el cual fue colocado en el centro de la pila de compostación. Nuevamente a los 5 días, y se realizó su volteo tratando siempre en alcanzar la mayor altura y así garantizar la temperatura por mayores períodos de tiempo. Asegurar el aireado, así como la T garantiza que los microorganismos descomponedores en el compostaje trabajen eficientemente y se garantice un abono de calidad, sin olores, moscas, ni mal olor.

2.2.7 Recolección de muestras para la evaluación del bioproducto con *Eichhornia crassipes*

De cada una de las 3 pilas se tomó 3 muestras, generando un total de 9 muestras las cuales fueron tomadas luego de que el abono mostró estabilización y una degradación visible del material vegetal y las excretas.

Los análisis realizados a los abonos estabilizados, fueron iguales a los realizados con los sustratos, con la diferencia que se realizó el P disponible y se utilizó como extractante el bicarbonato de sodio (Watable & Olsen,1965), el cual se determinó por el método colorimétrico molibdato-ácido ascórbico (Murphy & Riley, 1962); mientras que, en el caso de las evaluaciones microbiológicas se realizó el conteo de bacterias totales, así como celulolíticos y amonificantes por el método del número más probable (Haruta et al., 2005).

2.2.8 Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos en las diferentes determinaciones se sometieron a un análisis exploratorio descriptivo, comprobación de los supuestos estadísticos y la detección y eliminación de valores anómalos. Se realizó el ANOVA y 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, para ello se utilizó la prueba de Duncan (Duncan, 1974) a un nivel de significancia $p<0,05$. Para los análisis se usó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2011).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Remoción de sólidos suspendidos totales a base de *Eichhornia crassipes*

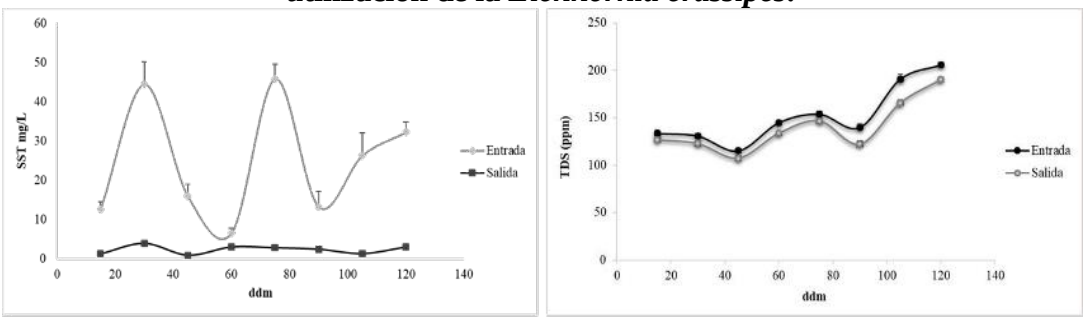
Al comparar el afluente con el efluente en cuanto a los SST, los valores cambiaron notablemente de 26,75 mg/L a 2,56 mg/L respectivamente (Figura 1a); cabe destacar que dichos sólidos son considerados como material de desecho luego de evaporar el agua a 100 °C (Metcalf & Eddy, 1995). Gracias a la fitorremediación de la *Eichhornia crassipes* que ha alcanzado una alta densidad, generando así una mayor capacidad de retención de sólidos suspendidos totales para apoyar la descomposición bacteriana.

Mediante la fitoextracción y rizofiltración se logró absorber y filtrar una alta proporción de materia en suspensión de la laguna de oxidación utilizando la especie vegetal antes mencionada; comprobando así que hubo una reducción significativa de los contaminantes, por lo tanto, se puede determinar que esta especie vegetal contribuyó positivamente a la remoción de SST. Por ello, pueden 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, para Vizcaíno & Fuentes (2016) en su estudio obtuvieron una eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales de 100%, estos autores mencionan que la eficiencia obtenida se debió a la baja velocidad de circulación que tenía el agua residual debido a la presencia de las raíces de dicho vegetal, lo que favorece a la sedimentación y filtración de los contaminantes mencionados anteriormente.

De igual forma, esta justificación es corroborada por Brix & 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 olores (Coronel, 2016).

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



a b

Las barras indican desviación estándar en base a los días de muestreo (n=48). ddm: días de muestreo. ppm: partes por millón

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 1b) lo que significa que este vegetal es eficiente en la remoción de sólidos disueltos en el efluente. Al respecto León (2017) obtuvo un nivel menor de TDS de 62 ppm. Sin embargo, Guio & Toscano (2018) señalan que, en su investigación, 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.

Con respecto al pH, el agua residual presentó rangos de 6,56 a 6,97 haciendo referencia a que en este medio presenta las condiciones ideales para que la planta pueda desarrollarse y a su vez cumplir con el proceso fitorremediador.

Estudios similares como los de Castillo (2017) indican un pH de 7,5 lo que sugiere que estas aguas tienden a acidificarse levemente. Por otro lado, Chuquibala & Sánchez (2017) muestran que las aguas residuales urbanas se encuentran comúnmente con un pH que varía entre 6,5 y 8,5 información corroborada por Rodier (1986) pues para este autor el pH óptimo debe ser de 6,5 a 8,5 es decir, entre neutras y ligeramente alcalinas, las

aguas residuales con un pH inferior a 5 y superior a 9 son difíciles de tratar mediante procesos biológicos.

3.2 Eficiencia de la *Eichhornia crassipes* como agente fitorremediador en la remoción de contaminantes

En la Tabla 1, se observan las concentraciones de contaminantes del afluente con 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 son: As, Cu, Nt, DBO_5, DQO, P, Pb, Zn presentaron valores inferiores (Tabla 1) al límite máximo permisible según los criterios de calidad de agua del Ecuador (Tapia, 2015).

Tabla 1. Comparación de parámetros químicos en el afluente, efluente y remoción en el agua 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)	*Eichhornia crassipes* (Antes)	Efluente (Salida)	*Eichhornia crassipes* (Después)
	mg/L	mg/kg	mg/L	mg/kg
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

Arsénico (As), Cobre (Cu), Nitrógeno total (Nt), Demanda biológica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo (P), Plomo (Pb), Zinc (Zn). Letras diferentes en las columnas del afluente y efluente, indican diferencias estadísticamente significativas entre sí ($p<0.05$) al igual que en la biomasa antes y después de la remediación ($p<0.05$)

Posterior a la aplicación de la *Eichhornia crassipes*, se observa una variación en la calidad química del agua esto se puede evidenciar gracias a los análisis de DBO_5, DQO y sobre los contaminantes como Cu, Nt, P, Pb, Zn hubo una reducción en sus valores; sin embargo, para el As su valor se mantuvo constante (Tabla 1).

En el caso de DBO del afluente y efluente se presentaron valores de 31 mg/L y 20 mg/L respectivamente, mostrando una eficiencia de remoción del 34 %, mientras que la DQO mostró valores de 67 mg/L y 44 mg/L respectivamente, dando una eficiencia de un 35%; esta disminución se dio gracias a la presencia de la macrófita en la laguna de oxidación. Por el contrario, Morales et al. (2019) en su estudio utilizando 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 biorremediación, además de utilizar material filtrante y grava en su estudio.

La disminución de los parámetros anteriormente mencionados, según Palta & Morales (2013), 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 el trabajo bacteriano, actúan como catalizador aportando CO_2 a las plantas y este recíprocamente devuelve O_2 debido a la fotosíntesis por las raíces.

Las concentraciones de Nt en el afluente y efluente en este estudio fueron de 19 mg/L y 17 mg/L, respectivamente, mostrando una eficiencia del 10%, por lo que se puede decir que la eficiencia de la *Eichhornia crassipes* fue baja. Por su parte, Carreño (2020) en su investigación obtuvo una eficiencia de remoción de Nt del 70%. Los resultados obtenidos se deben posiblemente a que este estudio tuvo una duración de 6 meses en el cual el parámetro era evaluado de manera constante, lo que discrepa de 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 la *Eichhornia crassipes* se encuentra la habilidad de incorporar este elemento en su biomasa, absorbiendo el amonio más rápidamente que el nitrato, favoreciendo de esta manera el saneamiento del agua.

En cuanto al P, los valores que se presentaron en las aguas residuales en la entrada y salida fueron de 1,98 mg/L y 1,35 mg/L respectivamente, lo que indica una tasa de remoción del 32%, sin embargo, Perdomo et al. (2018) en su estudio lograron un valor máximo de remoción del 91,7 %.

Por su parte, la concentración de Cu en el afluente y efluente mostró valores de 0,08 mg/L y < 0,06 mg/L presentando un porcentaje de remoción del 25%, mientras que, para contaminantes como el Zn, Pb, As no hubo remoción. En cambio, Martelo (2012) en su investigación demostró que los metales antes mencionados alcanzaron una tasa máxima de remoción de 85% a 95% en aguas residuales.

De igual forma, Ayme & Ramos (2020) en su estudio obtuvieron eficiencias de remoción de Cu, Pb y Zn de 99,86 %; 99,89 % y 29,45% respectivamente, éste 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 en el presente estudio no se mostró una mayor eficiencia de remoción, debido a que el exceso de precipitación aumenta la velocidad de circulación del agua y su composición.

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 de los metales pesados antes y después del tratamiento de la laguna de oxidación (Tabla 1).

Autores como Carreño (2020) han demostrado en su estudio que las raíces, hojas y tallos de la *E. crassipes* adsorben los diferentes metales en un 75 %; cabe señalar que este autor menciona que para obtener un buen funcionamiento de la macrófita acuática en la remoción de contaminantes y que esta a su vez sea eficaz, es necesaria la remoción y alteración periódica de las plantas, debido a que las plantas son perennes y de fácil proliferación, la densa acumulación de biomasa interrumpe el proceso de eliminación. Esta macrófita realiza un tratamiento eficiente si se sabe controlar y comprender su funcionamiento, lo cual es fundamental para para su potenciación como especie vegetal de tratamiento de efluentes.

3.3 Compostación de la *Eichhornia crassipes* luego de ser utilizada en el proceso de fitorremediación

En la Tabla 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, C/N, parámetros importantes para obtener un bioproducto de calidad.

Al analizar cada sustrato se puede encontrar que el bagazo de caña tiene un mayor contenido de carbono y altas relaciones L/N, en comparación con los demás sustratos, indicando que los tiempos de descomposición para este material posiblemente pueda ser más elevados por su mayor lignificación (Hernández-Mendoza et al., 2007). Las relaciones C/N es uno del parámetro más importante, ya que, influyen en la velocidad del proceso de descomposición y la pérdida de amonio durante el compostaje (Bueno et al., 2008), por lo tanto, considerar estas relaciones antes del proceso de compostación podría mejorar los tiempos de descomposición de la MO y la acción microbiana sobre la misma.

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

	%								
Residuos orgánicos	**C**	**N**	**Lignina**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Relación L/N**	**Relación C/N**
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	88,73 ±3,15
Estiércol de vaca	14,23 ±0,02	1,05 ±0,05	-	1,72 ±0,03	3,43 ±0,29	3,19 ±0,04	0,07 ±0,04	-	0,07 ±0,58
Eichhornia crassipes	28,8 ±2,76	3,99 ±0,02	2,39 ±0,38	0,41 ±0,04	4,09 ±0,11	1,70 ±0,48	0,072 ±0,008	0,59 ±0,09	7,21 ±0,71
Estiércol de cuy	29,03 ±4,51	1,84 ±0,04		1 ±0,03	46,32 ±0,04	1,66 ±0,005	0,05 ±0,002		32,008 ±1,06

Resultados presentados como media y su ±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).

En el caso de las excretas evaluadas, la menor relación C/N, así como la mayor concentración de K se encontró en las excretas de bovino y en la *Eichhornia crassipes*, a diferencia de los otros sustratos utilizados; mientras que las excretas de cuy presentan una mayor concentración de Ca (Tabla 2).

En cuanto a la *Eichhornia crassipes* los resultados de los análisis en la Tabla 2 indican que este vegetal presenta una relación C/N baja (C/N= 7,21) si se tiene en cuenta que Eweis et al. (1999) y Dalzell et al. (1987) reportan que una relación C/N óptima para 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).

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

Asimismo, durante el compostaje se produjo un cambio de temperatura, alcanzando un máximo de 55,3° C a los primeros 15 días, por lo que hay una acción directa de organismos termófilos, cuya acción está dirigida a la descomposición de la MO lábil. Autores como Casco & Bernat (2008), indican que los rangos de T posteriores a los primeros días intervienen en la sucesión de microorganismos y su efecto descomponedor sobre los componentes más recalcitrantes de la MO.

A los 60 días se obtuvo un bioproducto estable y se observó una disminución de la temperatura hasta alcanzar y mantenerse a temperatura ambiente (26,7°C), tal como lo indican los autores como Jiménez et al. (2008), quienes señalan que la T durante el período de estabilización del compost tiende a mantenerse constante, siendo un indicador de la madurez del bioabono obtenido. Asimismo, indican que la temperatura ideal para una mejor descomposición oscila entre 45 y 59 °C, ya que esto 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 inhiben el crecimiento microbiano.

3.4 Caracterización química del biofertilizante obtenido a base de *Eichhornia crassipes*

De acuerdo a la composición química (Tabla 3) del biofertilizante obtenido, se evidenció que a los 60 días presentó una relación alta para las concentraciones de N, K, Ca y Mg, mientras que Reyes-Pérez et al. (2017) demostraron que en su estudio obtuvieron bajos niveles de los macronutrientes antes mencionados, cabe señalar que esta variación podría deberse a que se utilizan diferentes sustratos en la elaboración de dicho compost.

Por otro lado, el contenido de MO en el compost elaborado es 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 (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 la capacidad de su degradabilidad. El compost para ser aplicado al suelo debe presentar contenidos destacables de materia orgánica, pero al mismo tiempo un elevado porcentaje de ésta debe ser resistente a la descomposición biológica.

La relación C/N según los análisis químicos mostraron que el compost elaborado presentó una relación de C/N de 6,48 esto evidencia que dicho compost está dentro del rango requerido para obtener un índice de madurez lo que lo hace apto para ser utilizado; mientras que Rivas-Nichorzon & Silva-Acuña (2020) en su estudio obtuvieron una relación de C/N 8,79, presentando un nivel levemente mayor que el presente estudio. Por otro lado, se recomienda una relación C/N < 20, como índice de madurez (Laos et al., 2000).

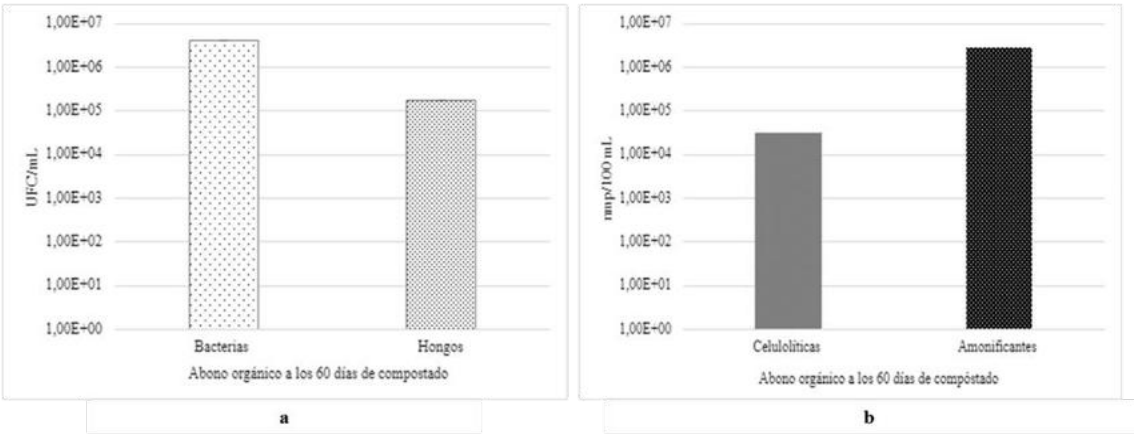
Tabla 3. Caracterización química del biofertilizante estabilizado obtenido 60 días de compostación

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

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

Al realizar las valoraciones microbiológicas de la composta durante su periodo de maduración, esta mostró menor presencia de hongos que de bacterias; además, está claro que en este biofertilizante hay una mayor cantidad de amonificantes y menos celulolíticas (Figura 4).

Figura 4. Evaluaciones microbiológicas del biofertilizante a base de *Eichhornia crassipes*



Los análisis microbiológicos deben ser de carácter obligatorio en los productos obtenidos como biofertilizantes ya que nos indican: 1) la estabilización del abono, es decir no hay más sustrato que potencialmente puedan servir a los macroorganismos y hagan 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; presencia de hongos y bacterias totales facilita 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).

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

4. CONCLUSIONES

La *Eichhornia crassipes* se presenta como una alternativa en la región de la Amazonía en términos de biorremediación de aguas residuales ya que mostró una eficiencia del 90% en la concentración de solidos suspendidos totales en este tipo de efluente.

Adicionalmente, es una planta que se encuentra establecida en esta zona y es de bajo costo, además, contribuye 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, la *Eichhornia crassipes* luego del proceso de fitorremediación de aguas residuales, pudo ser compostada utilizando recursos locales, para obtener un biofertilizante de excelente calidad química y microbiológica que contribuya a potenciar la fertilidad natural del suelo, especialmente en estas zonas de actividad agropecuaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahila, K. G., Ravindran, B., Muthunarayanan, V., Nguyen, D. D., Nguyen, X. C., Chang, S. W., ... & Thamaraiselvi, C. (2021). Phytoremediation potential of freshwater macrophytes for treating dye-containing wastewater. *Sustainability*, *13*(1), 329. doi.org/10.3390/su13010329

Alomía, Y., Peña, E., Bolaños, A., & 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*. (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

Anderson, J. M. & Ingram, J. S. (1993). *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. 2a ed. Wallingford, UK: CAB International.

Ayme, M., & Ramos, M. (2020). *Eichhornia crassipes, Lemna minor y Pistia stratiotes como sorbentes de plomo, cobre y zinc en el tratamiento de aguas residuales, 2020*. (Tesis de grado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

Baird, R. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd*. doi.org/10.2105/SMWW.2882.002

Bueno, P., Díaz, M., & Cabrera, F. (2008). Factores que afectan al proceso de compostaje. En Moreno, J. & Moral, R., *Compostaje* (pp. 95 - 109). Madrid, España: Mundi-Prensa.

Bremner, J. M. (1982). Total nitrogen. *Methods of soil analysis. Am. Soc. Agron. Mongrn 10*, 2, 594-624. doi:10.2134/agronmonogr9.2.c32

Brix, H., & 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., & 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* (pp.45-49). Recuperado de https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/127/ECUADOR_producci%C3%B3n_de_aguas_servidas_tratamiento_y_uso.pdf

Carreño, U. (2020). *Buchon de agua(Eichhornia Crassipes): impulsor de la fitorremediacion*. Bogotá, D.C., Colombia: Los Libertadores.

Casco, J. & Bernat, S. (2008). Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. En Moreno, J. & Moral, R., *Compostaje* (pp. 112-39.). Madrid, España: Mundi-Prensa.

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, Cajamarca, Perú.

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 2015*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

Chungopast, S., Yodying, P., & 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. doi.org/10.1007/s42729-020-00399-4

Chuquibala, M. & 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 2016. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

Dalzell, H. W., Biddlestone, A. J., Gray, K. R., & Thurairajan, K. (1987). *Soil management: compost production and use tropical and subtropical environments.* Roma, Italia. FAO Soils Bulletin 56. United Nations Food and Agriculture Organization.

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada M. & Robledo C.W. InfoStat versión 2020. *Centro de Transferencia InfoStat, FCA*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de http://www.infostat.com.ar

Duncan,N A. 1974. *Quality Control and Industrial Statiscs*. 4ª ed. Filadelfia: Irwin Homewoods III.

Eweis, J., Ergas, S, Chang, D. & 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. Madrid:McGraw-Hill.

Garavito, G., Ospina, L., & 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 & Tecnología 12*(1):10–20.

Garay, J. A., Pinilla, C. A., & Díaz, J. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas,sedimentos y organismos)*. Recuperado de http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/13536.

Garrido, M. & 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, Quito, Ecuador.

Gavilánez, F. (2015). Influencia de Eichhornia Crassipes y Microorganismos Eficientes Sobre Contaminantes Químicos y Orgánicos de Las Aguas Residuales de Naranjito, Ecuador. *Ekp 13*(2):21–29. doi.org/10.17268/manglar.2015.014

Guio, D. & Toscano, J. (2018). *Fitorremediación en humedal artificial con Eichhornia Crassipes para remoción de materia orgánica en muestras de agua del Canal Albina en Bogotá*. Recuperado de http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/3417

Hanníbal, B., Rafaela, V., & 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. doi.org/10.19044/esj.2016.v12n29p76

Haruta, S., Nakayama T., Nakamura, K., Hemmi, H., Ishii, M., Igarashi, Y. & Nishino, T. (2005). Microbial diversity in biodegradation and reutilization processes of garbage. *Journal of Bioscience and Bioengineering 99*(1), 1-11. doi.org/10.1263/jbb.99.1

Hernández, N. & Luna, J. (2016). P*rueba 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, Bogotá D.C., Colombia.

Hernández-Mendoza, T., Salcedo-Pérez, E., Arévalo-Galarza, G., & 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.

Hu, H., Li, X., Wu, S., & Yang, C. (2020). Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives. *Bioresource Technology, 315*, 123809. doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123809

Ilo, O. P., Simatele, M. D., Mkhize, N. M., & Prabhu, N. G. (2020). The benefits of water hyacinth (Eichhornia crassipes) for Southern Africa: A review. *Sustainability, 12*(21), 9222. doi.org/10.3390/su12219222

Islam, M. N., Rahman, F., Papri, S. A., Faruk, M. O., Das, A. K., Adhikary, N., ... & 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. doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113036

Jiménez, E., Silva, M., & Egea, F. (2008). 11. Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. En Moreno, J. & Moral, R., *Compostaje* (pp. 243). Madrid, España: Mundi-Prensa.

Komilis, D. & Ham, R. (2003). The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes. *Waste Management 23*(5), 419-423. doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00062-X

Laos, F., Mazzarino, M., Satti, P., Roselli, L., Moyano, S., Ruival, M. & 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, Toluca de Lerdo, Estado de México.

León Suarez, R. J. (2017). *Inventario de plantas recomendadas para fitorremediación de coliformes fecales en aguas negras*. (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Lima, H. D. P., & 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. doi.org/10.1007/s42452-021-04736-9

Lozada, E. (2019). Eficiencia de Cuatro Biomasas *de Eichhornia Crassipes En La Remociòn de Cadmio En Aguas Residuales Del Tragadero Yacuchingana - Cajamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.

Martelo, J., & 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. doi:10.4236/ajps.2015.64059

Mendoza, Y., Pérez, J., & 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. doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205

Metcalf & Eddy INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid, España: 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. Recuperado de https://search.proquest.com/openview/1a6171b214320d5d593638d7843fe35f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=25142

Moakher, G. V., Soltani, M., Shamsaee-Mehrjan, M., & 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. doi.org/10.22092/ijfs.2021.349365.0

Montero-Vega, F., Molina-Cedeño, C., Pillco-Herrera, B., Sarduy-Pereira, L., & 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. doi.org/10.22206/CAC. 2020.V3I1.PP23-39

Morales, E. , Rios, N., & 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). doi.org/10.17162/rictd.v5i2.886

Murphy, J. & Riley, H.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta 27*, 31-36. doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5.

Mckean, S. J. (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías*. Cali: Ciat.

Nazir, M. I., Idrees, I., Idrees, P., Ahmad, S., Ali, Q., & 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). doi.org/10.54112/bcsrj.v2020i1.6

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, Piura, Perú.

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 Tecnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

Palta, G. H. & Morales, S. (2015). Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: brachiaria mutica, pennisetum purpureum y panicum maximun en el municipio de Popayán, Cauca. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, *11*(2), 57-65.

Peñaherrera-Cabezas, J. (2016). La planificación nacional en Ecuador: planes de desarrollo y ordenamiento territorial, y el sistema de seguimiento y evaluación SIGAD. *Revista Ciencia UNEMI*, *9*(21), 168-179

Perdomo, C., Salazar, A., Velasquez, M., & 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.

Ramírez-Iglesias, E., Hernández-Hernández, R. M., Castro, I., & 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. doi.org/10.4206/agrosur.2017.v45n1-04

Reyes-Pérez, J., Luna-Murillo, R., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Hernández-Montiel, L., Rueda-Puente, E., & 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.

Rivas-Nichorzon, M., & Silva-Acuña, R. (2020). Calidad 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. doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss32.2020pp87-100p

Rodier, J. (1986). *Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales y agua de mar*. España: Omega.

Sweeney, R. A., & 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*. doi.org/10.1093/jaoac/70.6.1028

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*, (387).

Tobar, S. A. O., & 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). doi.org/10.35992/pdm.v3i1.612

United States. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste, & Emergency Response. (1986). *Test methods for evaluating solid waste: physical/chemical methods* (Vol 1). US Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste and Emergency Response. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=NsKh8TVbRP4C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Test+methods+for+evaluating+solid+waste:+physical/chemical+methods+&ots=TEYVYVMD4_&sig=YRefq62AjdDGmjVYYU1dnF5Mb8E

Uzinger, N., Takács, T., Szili-Kovács, T., Radimszky, L., Füzy, A., Draskovits, E., ... & 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. doi.org/10.3390/agronomy10101612

Velasco, G., Moncayo, J. & Chuquer, D. (2019). "Diagnóstico Del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Manta." *InfoANALÍTICA* 7(1):27–39. Recuoerado de 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, Guayaquil, Ecuador.

Vizcaíno, L. & 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 & Divulgación Cientifica*, *19*(1), 189-198. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262016000100022

Watable, F.S. & Olsen S. R. (1965). Test acid ascorbic methods for determining phosphorus in water and NaHCO3 extracts from soil. *Soil Science Society Proceedings 29, 677-678.* doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900060025x

Wei, Z., Van Le, Q., Peng, W., Yang, Y., Yang, H., Gu, H., ... & Sonne, C. (2021). A review on phytoremediation of contaminants in air, water and soil. *Journal of hazardous materials, 403,* 123658. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123658

ANEXOS

Marco teórico

El agua se considera contaminada cuando se altera su composición, resultando menos apta para una o todas las funciones y propósitos para los que sería apropiada en su estado natural (Villafuerte, 2020).

La población genera residuos sólidos y líquidos; la fracción líquida de los mismos se denomina aguas residuales, estas aguas son de composición variada porque provienen de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos y eventualmente aguas subterráneas, superficiales y fluviales; que en su mayoría son vertidos a las aguas continentales o marinas sin un tratamiento previo (Mejía & Perez 2016; Mendoza et al., 2016; Peña et al., 2018).

Según el INEC (2016) el Ecuador cuenta con 421 plantas de tratamiento de aguas residuales, 133 en GAD Municipales; de las cuales el 49,88% se encuentran en la Región Sierra, en la Región Costa el 30,64%, el 19% está en la Región Amazónica y el 0,48% restante se localiza en la Región Insular.

En la actualidad la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales, utilizan procesos químicos, físicos, y bioquímicos, cuya función es eliminar los diferentes tipos de contaminantes que se encuentran presentes en el agua residual (Peña et al., 2018). Por otro lado, también existen tratamientos biológicos que se han convertido en una posible alternativa viable que provocan un menor impacto en los diferentes ecosistemas, entre ellas el uso de plantas acuáticas proceso conocido como fitorremediación.

1. Fitorremediación

La fitorremediación se puede definir como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir *in situ* la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y sus microorganismos asociados a sus raíces (Robles, 2013; Priyanka et al., 2017). Este tratamiento biológico se puede lograr a través de diferentes procesos como la fitoextracción, rizofiltración, fitoestabilización, y fitodegradación (Elias et al., 2014).

Por otro lado, esta tecnología se caracteriza por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovecha la capacidad de las plantas macrófitas y la energía solar para el tratamiento de una variedad de contaminantes del ambiente (Baldeón et al., 2017), su éxito depende principalmente de la actividad fotosintética y la tasa de crecimiento de las plantas (Mendoza et al., 2018).

Otro proceso relacionado con la fitorremediación es la biodegradabilidad, la misma que permite que las aguas residuales puedan ser depuradas por medio de microorganismos, ya que estos organismos utilizan estos compuestos como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción; es precisamente la depuración de

las aguas residuales, lo que va regenerando la disponibilidad del recurso agua y a la vez evita su contaminación (Torres & Lozano, 2017).

Asimismo, la alta productividad de algunas plantas flotantes y su elevada demanda nutricional en cuanto a los compuestos orgánicos e inorgánicos (Nitrógeno y Fósforo) las convierte en especies adecuadas para disminuir sus niveles en los efluentes, esta técnica es desarrollada como un tratamiento secundario o terciario alternativo en lagunas de oxidación (Valero, 2006; Mendoza et al., 2018).

2. Sistema de tratamiento con macrófitas flotantes

Los sistemas de tratamiento con macrófitas flotantes consisten en el desarrollo de monocultivos o policultivos, donde la profundidad de la laguna debe ser diseñada para asegurar el contacto entre las raíces de las plantas y el agua. Algunas de las ventajas de estos sistemas son su bajo costo de producción, su abundancia en ecosistemas acuáticos y su facilidad de manejo. Cabe señalar que, estos sistemas se convierten en una tecnología rentable si se diseñan, construyen, operan y se mantienen adecuadamente (Olguín & Sánchez-Galván, 2011).

Por otro lado, la función principal de las macrófitas en estos sistemas es la asimilación, concentración y almacenamiento de contaminantes en un corto tiempo, la cosecha de la biomasa vegetal resulta en la remoción permanente de los contaminantes del agua (Pescod, 1992)

Las primeras investigaciones que abordan el uso de plantas acuáticas flotantes para eliminar contaminantes de aguas residuales, se llevaron a cabo desde de la década de los 70′s del siglo XX (Hall & Okali, 1974). La especie más estudiada en estos sistemas es el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) debido a su capacidad de remoción de nutrientes (Valipour et al., 2010; Robles, 2013).

3. *Eichhornia crassipes*

Es una planta acuática vascular de flotación libre con raíces sumergibles y fibrosas es la octava planta con crecimiento más rápido en todo el mundo, permitiéndole extenderse y sobrevivir en muchos ambientes; asimismo, esta planta en sus raíces tiene bacterias que actúan en los procesos de nitrificación, desnitrificación y amonificación (Herrera et al., 2019).

Además, es originaria de la cuenca del Amazonas, en América del Sur habita en cuerpos de agua dulce; se cultiva a una temperatura de 20 – 30°C y una profundidad al menos 20 cm; necesita aguas estancadas o con poca corriente e intensa iluminación y se puede reproducir asexual o sexualmente (Baldeón et al., 2017).

La mayoría de las investigaciones que involucran el tratamiento de aguas residuales a base de *Eichhornia crassipes* muestran que esta especie es efectiva en la remoción de contaminantes, tal es el caso de Colombia, donde han surgido estudios que buscaban dar solución a la falta de tratamiento de las aguas residuales domésticas, donde sus residuos líquidos no son tratadas antes de ser vertidas al mar, por lo que utilizaron *Eichhornia*

crassipes como medida de biorremediación debido a su elevada capacidad de remoción, logrando que se cumpliera con la normatividad colombiana y se recomienda su uso como tratamiento de desinfección (Mendoza et al., 2016).

Por otro lado, Coronel (2016) afirma que en su estudio de la "Eficiencia del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Chachapoyas,2015", determinó su eficiencia en la remoción de contaminantes, analizando la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual que ingresó a los tratamientos y después de los diez días de estancado; en el cual obtuvo como resultado que la planta *Eichhornia crassipes* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales con un porcentaje promedio de remoción del 88,24% de los parámetros.

En otra investigación desarrollada por Romero et al. (2009) en su artículo científico detalla que las concentraciones de los nutrientes, de la carga orgánica y los parámetros en el afluente y el efluente son afectadas por cambios en el volumen del agua en el tratamiento, debido a los efectos de la precipitación pluvial, de la evaporación y de la evapotranspiración.

4. Sólidos

El término "sólidos" se refiere a la materia sólida suspendida o disuelta en el agua o en sus desechos, estos pueden afectar adversamente la calidad de las aguas; cuando el agua tiene alto contenido de sólidos pueden inducir a una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor, mientras que las aguas altamente mineralizadas son inútiles para muchas aplicaciones industriales, y las que poseen altos contenidos de sólidos disueltos pueden ser estéticamente insatisfactorias para propósitos como el baño (Garay et al., 2003).

4.1 Sólidos totales en suspensión (seco a 103 – 105 °C)

Son aquellos materiales retenidos sobre un filtro estándar después de la filtración de una muestra bien mezclada de agua, estos sólidos son secados a temperaturas oscilan entre 100 y 105 °C (Torres & Lozano, 2017).

5. Gravimetría

Es un método analítico cuantitativo que permite conocer la concentración del analítico mediante la separación del contaminante y su posterior pesaje la separación de la sustancia hacer determinada debe estar en su máxima pureza y estabilizada para obtener resultados confiables (Caiza, 2018).

6. Compostación

La palabra compost proviene del latín "componer" que significa mezclar, es un abono orgánico pre-humificado (Magalys & Ramón, 2020), que es el resultado de la biodegradación oxidativa de la materia orgánica. Asimismo, los aspectos más

importantes a tener en cuenta para llevar a cabo una buena compostación son: el sustrato, la aireación, la temperatura, la humedad, el pH y la relación carbono/nitrógeno (C/N) (Ruiz, 2003).

El Carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el Nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica, una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción; por lo tanto, una relación C/N óptima a compostar es de 25 unidades de Carbono por una unidad de Nitrógeno, es decir C(25)/N (1) = 25 (Sztern & Pravia, 1999). Durante todo el proceso es importante considerar la aireación de la pila, ya que el proceso es aeróbico y la sucesión de los diferentes microorganismos se dan durante este proceso (Ramírez et al., 2020).

6.1 Etapas del compostaje

6.1.1 Etapa de latencia

Es la etapa inicial, considerada desde la conformación de la pila hasta que se constatan incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial; su duración es variable. Si el balance C/N, el pH y la concentración parcial de Oxígeno son correctos, entonces la temperatura ambiente y la carga de biomasa microbiana que contiene el material, son los factores que definen la duración de esta etapa. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12 ºC, en pilas adecuadamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 hs (Sztern & Pravia, 1999).

6.1.2 Etapa mesotérmica 1 (10-40ºC)

Se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, en relación con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica), en esta etapa actúan los Euactinomicetos; además, se dan procesos de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de Azufre, Fósforo, etc. Por otro lado, la falta de disipación del calor y su sensibilidad a la humedad-aireación, produce un incremento en la temperatura favoreciendo el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos (Sztern & Pravia, 1999).

6.1.3 Etapa termogénica (40-75ºC)

La microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintróficas; normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables; esta etapa es de gran interés para la higienización del material (Sztern & Pravia, 1999).

6.1.4 Etapa mesotérmica 2

Comienza el descenso de la temperatura con el agotamiento de los nutrientes y la desaparición de los termófilos; cuando la temperatura se sitúa en valores iguales o inferiores a los 40ºC se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizan como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación (celulosa y lignina) restante en las pilas. También conocida como etapa de maduración, la

temperatura descenderá hasta presentar valores muy cercanos a la temperatura ambiente, en esos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso (Sztern & Pravia, 1999).

Por todo lo anteriormente descrito, se considera importante tomar en cuenta las diferentes fases de la compostación, ya que garantizará el completo saneamiento de la pila, por lo que es importante que se alcance durante el proceso las temperaturas recomendadas por la literatura (Ramírez et al., 2017).

7. Compostación con *Eichhornia crassipes*

La *Eichhornia crassipes* es utilizada como sustrato para la elaboración de compost por su gran aporte de nutrientes y sus propiedades físicas como son la humedad (4,9%), carbono fijo (13,8%), ceniza (20,1%), valor calorífico bruto (3455 kcal/kg), y material volátil (61,2%, además, presenta propiedades químicas como carbono (C), oxígeno (O), sodio (Na), magnesio (Mg), aluminio (Al), circonio (Zr), cloro (Cl), potasio (K), calcio (Ca), silicio (Si), titanio (Ti), y hierro (Fe) predominando en la planta el oxígeno y carbono; ésta composición la hace ideal para utilizarla como materia prima en procesos de compostaje (Mashavira et al., 2015; Sukarni et al., 2019).

Por otro lado, en un estudio realizado por Fan et al. (2015) demostró que los desechos de jacinto de agua compostados podrían utilizarse como sustituto de la turba en sustratos para el vivero de plántulas de tomate y el crecimiento de la col china; asimismo, podría considerarse como un ingrediente apreciable y renovable para sustratos hortícolas (Ramírez et al., 2017).

Según Mashavira et al. (2015) el uso de compost de jacinto de agua mejora positivamente la tasa de crecimiento y el rendimiento de los tomates sin comprometer la salud de los consumidores por la acumulación de toxicidad por metales pesados; sin embargo, debe tenerse en cuenta que la tasa de compostaje de jacinto de agua no influye en el número de frutos por planta.

Por tanto, representa una alternativa económica en la agricultura y en el tratamiento de la biomasa de esta planta acuática invasora cuyas poblaciones deben controlarse periódicamente, de lo contrario cubrirá rápidamente estanques y reservorios de agua. De igual forma, en Ecuador se produce compost elaborado a partir de *Eichhornia crassipes* y lo comercializa la empresa Dunger® S.A (Reyes-Pérez et al., 2017).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baldeón, L., Chavez, J., Martinez, C., & Huaranga, M. (2017). Eficiencia de la Especie Macrófita Eichhornia Crassipes (Jacinto de Agua) para la Remoción de Parámetros Fisicoquímicos, Metal Pesado (Pb) y la Evaluación de su Crecimiento en Función al Tiempo y Adopción al Medio en una Laguna Experimental. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo* 3(1).

Caiza, M. (2018). *Validación del Método Gravimétrico para la Determinación de Sólidos Suspendidos Totales en Aguas de Ríos y de Industrias del Distrito Metropolitano de*

Quito. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

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 2015*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

Elias, S. H., Mohamed, M. A. K. E. T. A. B., Ankur, A. N., Muda, K., Hassan, M. A. H. M., Othman, M. N., & Chelliapan, S. (2014). Water hyacinth bioremediation for ceramic industry wastewater treatment-application of rhizofiltration system. *Sains Malaysiana, 43*(9), 1397-1403.

Fan, R., Luo, J., Yan, S., Wang, T., Liu, L., Gao, Y., & Zhang, Z. (2015). Use of water hyacinth (eichhornia crassipes) compost as a peat substitute in soilless growth media. *Compost Science and Utilization, 23*(4), 237–247. doi:10.1080/1065657X.2015.1046614

Garay Tinoco, J. A., Pinilla González, C. A., & Díaz, J. M. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos)*. Recuperado de http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/13536.

Hall, J. B. & Okali, D.U.U. (1974). Phenology and productivity of Pistia stratiotes L. on the Volka Lake, Ghana. *Journal of Applied Ecology 11* (2):709-725. doi.org/10.2307/2402221

Herrera, D., Blanco, M., Germy, C., & Orozco, J. (2019). "Biorremediación de Aguas Residuales Mediante Eicchornia Crassipes y Lemma Minor." *Microciencia 8*:56–63.

INEC, I. N. (2016). *Estadística De Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados*. Informativo, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito. Recuperado de www.ecuadorencifras.gob.ec

Mashavira, M., Chitata, T., Mhindu, R., Muzemu, S., Kapenzi, A., & 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. doi:10.4236/ajps.2015.64059

Mejía, F., & Perez, H. (2016). *Eficiencia Del Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Mediante Un Biodigestor Prefrabricado En La Subestación Eléctrica Cotaruse - Apurímac*. (Tesis de pregardo). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Mendoza, Y., Castro, F., Marín, J., & Behling, E. (2016). Fitorremediación Como Alternativa de Tratamiento Para Aguas Residuales Domésticas de La Ciudad de Riohacha (Colombia). *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia 39*(2):71–79.

Mendoza, Y., Pérez, J., & 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.

Olguín, E. J. & Sánchez-Galván, G. (2011). Phytofiltration of Heavy Metals: Assessment of the Key Factors Involved in the Desing of a Sustainable Process. *In Comprehensive Biotechnology 6*: 207-213. Amsterdam: Elsevier

Peña, S., Mayorga, J., & Montoya, R. (2018). Propuesta de Tratamiento de Las Aguas Residuales de La Ciudad de Yaguachi (Ecuador). *Ciencia e Ingeniería 39*(2):161–68.

Pescod, M.B. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture. FAO irrigation and*

drainage paper 47. Roma: FAO

Priyanka, S., Omkar, S. & Supriya, S. (2017). Phytoremediation of industrial mines wastewater using water hyacinth. *Journal of phytoremediation 19*(1), 87-96. doi: 10.1080/15226514.2016.1216078

Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *25*(3), 157-167.

Robles, M. (2013). *Evaluación de Sistemas de Fitorremediación de Aguas Residuales dentro de una Biorrefinería*. (Tesis de Maestría). Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México.

Ruiz, A. (2003). *Compostación de los residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad de Piura*. Universidad de Piura, Piura.

Ramírez-Iglesias, E., Hernández-Hernández, R. M., Castro, I., & 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.

Ramírez-Iglesias, E., Cuenca, K., & Quizhpe, W. (2020). Manejo integrado de Agroecosistemas en América Latina: Una opción para maximizar la producción resguardando la Biodiversidad. *Tekhné, 23*(1).

Reyes-Pérez, J., Luna-Murillo, R., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Hernández-Montiel, L., Rueda-Puente, E., & 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.

Sukarni, S., Zakaria, Y., Sumarli, S., Wulandari, R., Permanasari, A. A., & Suhermanto, M. (2019). Physical and Chemical Properties of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) as a Sustainable Biofuel Feedstock. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 515. doi:10.1088/1757-899X/515/1/012070

Sztern, D., & Pravia, M. A. (1999). *Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos* (p. 69). Uruguay, Montevideo: UY. OPS

Torres, G., & Lozano, E. (2017). Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. *Ra Ximhai 13*(3):393–404.

Valero, M. (2006). *Aplicación tecnologica de las macrofitas a la depuracion de aguas residuales con la ayuda de microorganismos*. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial Santander, Bucaramanga.

Valipour, A., Raman, V. K., & Motallebi, P. (2010). Application of shallow pond system using water hyacinth for domestic wastewater treatment in the presence of high total dissolved solids (TDS) and heavy metal salts. *Environmental Engineering and Management Journal*, *9*(6), 853-860.

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, Guayaquil, Ecuador.