Ciencia y Educación
(L-ISSN: 2790-8402 E-ISSN: 2707-3378)
Vol. 7 No. 9.1
Edición Especial IX 2026

BIOACELERACIÓN CON AZOLLA EN LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL VIVERO DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
AZOLLA BIOACCELERATION IN ORGANIC WASTE TRANSFORMATION AT THE UNIVERSITY OF GUAYAQUIL PLANT NURSERY

Autores: [1]Joe Ronald Vélez Ulloa, [2]Ginger Anabelle Suárez De La Cruz, [3]Ariel Naula Inguillay, [4]Tania Vanessa Vinueza Baque y [5]Stefanie Natalí Mendoza León.
[1]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-6095-887X
[2]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-8439-6427
[3]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-8682-4682
[4]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-3265-0662
[5]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-2038-1789
[1]E-mail de contacto: joe.velezu@ug.edu.ec
[2]E-mail de contacto: ginger.suarezd@ug.edu.ec
[3]E-mail de contacto: ariel.naulaing@ug.edu.ec
[4]E-mail de contacto: tania.vinuezab@ug.edu.ec
[5]E-mail de contacto: stefanie.mendozal@ug.edu.ec
Afiliación: [1*2*3*4*5*]Universidad de Guayaquil, (Ecuador).
Artículo recibido: 19 de Agosto del 2026.
Artículo revisado: 21 de Agosto del 2026.
Artículo aprobado: 21 de Agosto del 2026.
[1]Profesor de Segunda Enseñanza especialización Químico Biológicas, graduado de la Universidad de Guayaquil, (Ecuador). Máster en Pedagogía con mención en Docencia Universitaria, graduado de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Managua, (Nicaragua).
[2]Estudiante de la carrera en Pedagogía de la Química y Biología de la Universidad de Guayaquil, (Ecuador).
[3]Estudiante de la carrera en Pedagogía de la Química y Biología de la Universidad de Guayaquil, (Ecuador).
[4]Estudiante de la carrera en Pedagogía de la Química y Biología de la Universidad de Guayaquil, (Ecuador).
[5]Estudiante de la carrera en Pedagogía de la Química y Biología de la Universidad de Guayaquil, (Ecuador).

Resumen

La transformación de residuos orgánicos universitarios utilizando recursos biológicos propios se plantea como una alternativa para articular gestión ambiental, experimentación y formación científica; el objetivo del trabajo fue caracterizar la incorporación de Azolla en un sistema de compostaje aeróbico desarrollado en el vivero de la Universidad de Guayaquil. Se realizó un estudio cuantitativo, descriptivo y longitudinal de caso técnico, llevado a cabo por diez estudiantes del semillero SMI-013-2025, bajo el acompañamiento docente. La unidad de análisis fue una mezcla inicial de 256 libras, elaborada por 206 libras de residuos vegetales y alimentarios + 50 libras de Azolla fresca. El proceso contempló clasificación, estratificación, aireación por medio de volteos, control hídrico, seguimiento de temperatura y pH, tamizado, análisis externo de una muestra identificada como ECU.M.531. Se obtuvo como resultado un material estabilizado de 204,8 libras, como un rendimiento gravimétrico del 80%, disminuyendo la masa en 51,2 libras o un 20%. El análisis arrojó un 1,55% de nitrógeno total, 372,41 mg/kg de fósforo y 1,094 cmol+/kg de potasio. Los resultados mostraron que la mezcla permitió recuperar buena parte de la biomasa como material con nutrientes; sin embargo, al no haber un tratamiento sin Azolla no se puede atribuir en forma causal la reducción del tiempo ni la estabilización sólo a esta macrófita. Se concluye que el sistema constituye una experiencia técnica documentada y replicable para investigaciones futuras con controles, mediciones comparativas y mayor rigor metodológico.

Palabras clave: Azolla, Bioaceleración, Residuos orgánicos, Compostaje aeróbico, Vivero universitario.

Abstract

The conversion of organic waste generated at the university using local biological resources can be viewed to introduce environmental management, experimentation, and scientific education. The aim of this research was to study

the process of the utilization of the Azolla plant in an aerobic composting system implemented at Guayaquil university's plant nursery. Under the academic supervision of the faculty members of the SMI-013-2025 research group, ten students carried out quantitative, descriptive, longitudinal technical case study under their supervision. The subject of the investigation was an initial mixture weighing 256 pounds which comprised 206 pounds of both plant and food residues and 50 pounds of fresh Azolla. The aforesaid process covered classification, layering, aeration through the planned involvement of the composting process, humidity monitoring, temperature, and pH control. The final weight of the obtained compost made 204.8 pounds, thus, demonstrating 80% gravity yield and mass reduction of 51.2 pounds (20%). The data collected in the laboratory recorded 1.55% total nitrogen, 372.41 mg/kg phosphorus, and 1.094 cmol+/kg potassium. The obtained results state that a considerable portion of biomass has been obtained for use as nutrient material; however, since there was no process without the use of Azolla, it is impossible to say about the sharing of the responsibility for reduction in processing time. Thus, the results of the study provide information about a technical device which can later be used for future controlled studies of the same kind, including comparative treatments, experiments with replicated reactors, and all the necessary physic-chemical measurements.

Keywords: Azolla, Bioacceleration, Organic waste, Aerobic composting, University nursery.

Sumario

A conversão de resíduos orgânicos gerados nas universidades, por meio de recursos biológicos locais, é uma alternativa ao manejo ambiental, à experimentação e à formação em ciência. O objetivo foi caracterizar a inserção de Azolla em um sistema de compostagem aeróbica desenvolvido no viveiro da Universidade de Guayaquil. Um estudo quantitativo, descritivo e longitudinal de caso técnico, foi realizado por dez alunos membros do grupo de pesquisa SMI-013-2025 sob orientação docente. A unidade de análise foi representada por uma mistura inicial de 256 libras, composta por 206 libras de resíduos vegetais e alimentares e 50 libras de Azolla fresca. O processo incluiu: classificação, estratificação, aeração realizada por revolvimento programado, controle de umidade, monitoramento de temperatura e pH, peneiramento e análise externa da amostra da ECU.M.531. No final, obteve-se 204,8 libras de material estabilizado, resultando em um ganho gravimétrico de 80%, enquanto a redução de massa foi de 51,2 libras ou 20%. A análise registrada da amostra indicou 1,55% de nitrogênio total, 372,41 mg/kg de fósforo e 1,094 cmol+/kg de potássio. Os resultados apresentam uma recuperação considerável da biomassa como material com nutrientes. No entanto, sem tratamento sem Azolla, não se pode atribuir causalmente o tempo reduzido ou a estabilização ao efeito exclusivamente da macrófita. Conclui-se que o sistema configura uma experiência técnica documentada e a base para novos estudos controlados. Esta delimitação protege as evidências disponíveis, evita afirmações causais infundadas e identifica as medições necessárias para avaliar a bioaceleração com maior rigor metodológico.

Palavras-chave: Azolla, Bioaceleração, Resíduos orgânicos, Compostagem aeróbica, Viveiro universitário.

Introducción

La gestión de residuos orgánicos en las instituciones de educación superior constituye una oportunidad para articular sostenibilidad, investigación y formación científica. Los residuos provenientes de cafeterías, jardines, viveros, podas y actividades experimentales contienen materia orgánica y nutrientes que pueden ser reincorporados a nuevos ciclos de aprovechamiento mediante procesos de valorización. En este contexto, el compostaje aeróbico representa una alternativa para transformar estos materiales mediante la actividad de comunidades microbianas, cuya dinámica depende de la naturaleza del sustrato, la humedad, la aireación, la temperatura, el pH

y la relación carbono-nitrógeno (Gaspar et al., 2022; Noor et al., 2024; El Fels et al., 2024). De esta manera, la transformación de los residuos no solo contribuye a disminuir su disposición final, sino que permite generar materiales potencialmente aprovechables en viveros, jardines y espacios experimentales universitarios.

El compostaje constituye un proceso biológico complejo en el que bacterias, hongos y otros microorganismos degradan progresivamente la materia orgánica, generando modificaciones físicas y químicas en los residuos. Variables como la disponibilidad de oxígeno, la humedad, la temperatura, el pH, el tamaño de las partículas y la relación carbono-nitrógeno interactúan entre sí y condicionan la velocidad y estabilidad del proceso. Por ello, ningún indicador aislado permite determinar de manera suficiente la madurez o calidad del material obtenido, siendo necesario integrar diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos para realizar una interpretación adecuada (Gaspar et al., 2022; Noor et al., 2024; El Fels et al., 2024).

Dentro de las alternativas biológicas para el reciclaje de nutrientes destaca Azolla, una macrófita acuática asociada con microorganismos capaces de favorecer la fijación biológica del nitrógeno. Su rápida producción de biomasa y su potencial aporte nitrogenado han motivado su utilización como abono verde, componente del compost y recurso para la recuperación de nutrientes. No obstante, su composición y comportamiento dependen de la especie, las condiciones de cultivo, la disponibilidad de nutrientes y la forma en que se incorpora al sistema (Thepsilvisut et al., 2024; Yang et al., 2025). Estudios previos han mostrado resultados favorables relacionados con el crecimiento vegetal, la absorción de nutrientes y el aprovechamiento del nitrógeno cuando se emplea compost de Azolla o se combina esta biomasa con otros residuos orgánicos (Seleiman et al., 2022; Marzouk et al., 2024).

Sin embargo, la incorporación de Azolla a una mezcla de residuos no permite afirmar por sí misma que exista una bioaceleración del compostaje. Para demostrar un efecto de aceleración sería necesario comparar tratamientos equivalentes con y sin la macrófita, controlar variables como masa inicial, humedad, aireación, volteos y condiciones ambientales, así como disponer de réplicas e indicadores que permitan establecer diferencias en la velocidad de transformación. Gaspar et al. (2022), Mironov et al. (2024) y Noor et al. (2024) evidencian precisamente la importancia de utilizar tratamientos comparativos cuando se pretende determinar el efecto específico de inoculantes o aditivos sobre el proceso de compostaje. En ausencia de estas condiciones, la bioaceleración debe asumirse como una propuesta tecnológica o hipótesis de trabajo y no como un efecto causal demostrado.

Esta limitación adquiere especial importancia en experiencias desarrolladas en condiciones reales, donde el descenso de la masa, el enfriamiento o los cambios físicos del material pueden describir la evolución del proceso, pero no constituyen por sí solos evidencia suficiente de madurez, estabilidad o aceleración. En el caso analizado, la incorporación de Azolla permite documentar su participación dentro de la mezcla inicial, el balance gravimétrico y la composición nutricional final; sin embargo, no existe un tratamiento equivalente sin Azolla ni series completas que permitan comparar velocidades de degradación. En consecuencia, no resulta metodológicamente adecuado atribuir exclusivamente a esta macrófita una

reducción del tiempo de compostaje o una mejora de la calidad final del producto.

Paralelamente, el desarrollo de este proceso en un vivero universitario amplía su relevancia al convertirlo en un espacio para integrar gestión ambiental, experimentación y formación científica. El compostaje permite abordar contenidos relacionados con transformación de la materia, balances de masa, actividad microbiana, ciclos biogeoquímicos, mineralización y reciclaje de nutrientes. Además, el trabajo con problemas reales puede favorecer la aplicación contextualizada del conocimiento cuando existen objetivos, responsabilidades y evidencias claramente definidas (Leijon et al., 2022; Huesca et al., 2024). En la formación de futuros docentes de ciencias, este tipo de experiencias también permite vincular el conocimiento disciplinar con la reflexión pedagógica y el diseño de situaciones de aprendizaje basadas en fenómenos científicos reales (Dragnić y Anderson, 2025).

En este sentido, la experiencia desarrollada en el vivero del Complejo Norte de la Universidad de Guayaquil posee relevancia ambiental, científica y académica, debido a que permite sistematizar el aprovechamiento de residuos orgánicos generados en el entorno universitario y documentar la incorporación de Azolla como biomasa nitrogenada dentro de una mezcla sometida a transformación aeróbica. Su importancia radica no solamente en el aprovechamiento de los residuos, sino también en la generación de información verificable que pueda servir como base para investigaciones posteriores con tratamientos controlados, réplicas independientes y seguimiento fisicoquímico más amplio. Por lo expuesto, el objetivo del estudio es caracterizar la incorporación de Azolla en el proceso de transformación aeróbica de residuos orgánicos del vivero de la Universidad de Guayaquil, mediante la sistematización del procedimiento, el análisis del balance gravimétrico y la determinación de la composición nutricional de la muestra final. A partir de este propósito se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las características del proceso de transformación aeróbica de residuos orgánicos con incorporación de Azolla en el vivero de la Universidad de Guayaquil, considerando el procedimiento aplicado, el balance gravimétrico y la composición nutricional del material obtenido?

Materiales y Métodos

Se lleva a cabo una práctica de caracterización cuantitativa, prolongada y descriptiva; siendo la forma de estudio técnico del caso. La intervención se ha registrado durante la duración de la clasificación de la biomasa hasta el tamizado y la remisión de la muestra al laboratorio, durante 14 semanas. El diseño no fue experimental, ni cuasiexperimental porque no se tuvo un tratamiento control; no se concretaron réplicas independientes ni se asignaron unidades a contrastar condiciones diferentes.

La unidad de análisis fue el lote de biomasa procesada en los contenedores de poliestireno expandido revestidos con drenajes y aireación lateral. El equipo ejecutor del estudio estuvo conformado por diez estudiantes del semillero SMI-013-2025; estos estudiantes fueron organizados en cinco parejas independientes con la tutorización del docente que los guió en la práctica. Los estudiantes no fueron la muestra para medir aprendizaje, su función se limitó a realizar el protocolo y a ir registrando el proceso.

Tabla 1. *Diseño y alcance de la investigación.*

Componente	Definición aplicada	Alcance
Enfoque	Cuantitativo	Balance de masa y composición nutricional
Diseño	Descriptivo longitudinal	Seguimiento del mismo lote durante 14 semanas
Unidad de análisis	Lote de compostaje	Mezcla inicial de 256 lb
Participantes	10 estudiantes ejecutores	Cinco parejas con responsabilidades técnicas
Inferencia permitida	Descripción del caso	No permite atribuir causalidad exclusiva a Azolla

Fuente: Elaboración propia.

La mezcla inicial total según el documento inicial fue de 256 libras (116.12 kg, utilizando la equivalencia de 1 lb = 0.453592 kg). Para dar sentido a la incongruencia en el documento operativo, las 50 libras de Azolla se contabilizaron dentro de la masa inicial y no como un aumento posterior a la misma. Agravado por esto, los demás residuos se convierten en 206 libras. Esa única forma de interpretar lo acontecido nos lleva a estar de acuerdo con el balance apuntado: 256,0 lb iniciales – 51,2 lb de pérdida = 204,8 lb finales.

Tabla 2. *Composición gravimétrica de la mezcla inicial.*

Componente	Masa (lb)	Masa (kg)	Proporción
Residuos vegetales y alimentarios	206,0	93,44	80,47 %
Azolla fresca	50,0	22,68	19,53 %
Mezcla inicial total	256,0	116,12	100,00 %

Fuente: Elaboración propia.

Un estudio de la Biomasa Constitutiva estuvo clasificando y montando la biomasa en capas alternas de materiales secos y húmedos. La estopa de coco y la hojarasca como materiales estructurantes; la borra de café, la cáscara de plátano y la Azolla como contribución de fracciones húmedas y nitrogenadas; y la cáscara de huevo en polvo como material mineral. Los recipientes se mantuvieron con drenaje inferior y aireación lateral. Se programaron volteos manuales como medida de condiciones anaerobias y se utilizó un control de campo de la humedad con la prueba de puño. La temperatura y el pH se registraron en bitácoras, pero como la matriz que se presenta, como anexo al documento, no ofrece una serie numérica completa, se describieron a estas variables como parte del protocolo y no fueron presentadas como resultados cuantitativos. Una vez concluida la etapa de la estabilización inicial, el material se tamizó a través de una malla de 0,5 cm. Masas finales de 204,8 libras fueron registradas y una muestra homogeneizada se envió como ECU.M.531 al laboratorio ECUSCIENCE S. A. para determinar el nitrógeno total, el fósforo y el potasio.

Tabla 3. *Secuencia operativa documentada.*

Fase	Semanas	Actividad principal	Evidencia disponible
Diagnóstico e instalación	1–3	Clasificación, pesaje y montaje	Masa inicial y composición
Incorporación y seguimiento	4–10	Azolla, volteos, humedad, temperatura y pH	Bitácoras de ejecución
Estabilización inicial	11–14	Enfriamiento, tamizado y muestreo	Masa final y muestra ECU.M.531

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de nitrógeno total se determinó por el método Kjeldahl (ECU.MT.SL.50); el fósforo por espectrofotometría UV-VIS (ECU.MT.SL.52); y el potasio por extracción

con acetato de amonio y lectura por absorción atómica (ECU.MT.SL.51). Los valores se mantuvieron en las unidades utilizadas en el informe original y no se hicieron comparaciones directas entre ellos. El rendimiento gravimétrico se calculó como masa final dividida para masa inicial por 100. La cuantía de masa perdía se obtuvo mediante el resto entre ambas mediciones. La participación de Azolla se calculó respecto a la mezcla inicial. El análisis se realizó solamente de manera descriptiva y no se incluyeron pruebas de hipótesis. La actividad se desarrolló con la autorización institucional y la participación de los académicos fue voluntaria. Los nombres de los estudiantes ejecutores no fueron asociados con evaluaciones individuales. Los datos son de registros agrupados del semillero y del informe analítico de la muestra. La redacción distingue entre observaciones documentadas e interpretaciones que requieren validación experimental posterior.

Resultados y Discusión

De la mezcla inicial de 256,0 lb se obtuvieron 204,8 lb de material tamizado. La diferencia fue de 51,2 lb, que corresponde al 20,0 % de la masa inicial. El rendimiento gravimétrico fue del 80,0 %. El cálculo aritmético fue correcto, ya que, efectivamente, 204,8 / 256,0 × 100 = 80,0 %, mientras que 51,2 / 256,0 × 100 = 20,0 %.

Tabla 4. *Verificación del balance de masa*

Indicador	Masa (lb)	Masa (kg)	Porcentaje
Mezcla inicial total	256,0	116,12	100,0 %
Producto final tamizado	204,8	92,90	80,0 %
Reducción de masa	51,2	23,22	20,0 %
Nota. Las equivalencias en kilogramos fueron recalculadas; pueden diferir ligeramente de redondeos anteriores del documento de trabajo.			

Fuente: Elaboración propia.

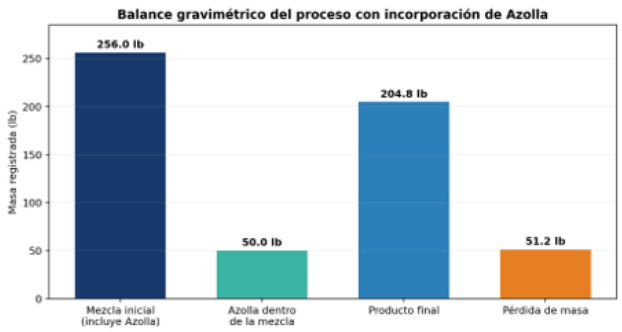


Figura 1. *Balance gravimétrico del proceso.*

La reducción de masa es compatible con la pérdida de agua y carbono por la respiración microbiana. Sin embargo, el trabajo no contiene medidas de humedad inicial y final y tampoco de carbono orgánico o de emisiones gaseosas, por lo que el 20 % no se puede atribuir exclusivamente a un mecanismo.

Tabla 5. *Resultados analíticos de la muestra ECU.M.531.*

Parámetro	Método	Unidad	Resultado
Nitrógeno total	Kjeldahl, ECU.MT.SL.50	%	1,55
Fósforo	UV-VIS, ECU.MT.SL.52	mg/kg	372,41
Potasio	Acetato de amonio y absorción atómica	cmol+/kg	1,094

Fuente: Elaboración propia.

Los análisis confirmaron la presencia de los tres nutrientes estudiados, pero no permiten calificar el producto como compost de alta calidad ni confirmar una total madurez. Para ello serían necesarias, entre otros, la relación carbono-nitrógeno final, la humedad, la materia

orgánica, la conductividad eléctrica, la estabilidad respiratoria, la inocuidad y la fitotoxicidad. La incorporación de Azolla es biológicamente correcta como fuente orgánica de nitrógeno en función de su relación simbiótica y de los trabajos recientes, pero en este caso la evidencia directa se limita a la cantidad de esta introducida, al balance final del lote y por la composición de la muestra. El término bioaceleración se emplea como orientación tecnológica del sistema no como efecto causal demostrado.

Tabla 6. *Alcance de las evidencias sobre la incorporación de Azolla.*

Aspecto	Evidencia del estudio	Interpretación válida
Proporción incorporada	50 lb; 19,53 % de la mezcla	Azolla formó parte relevante de la formulación
Transformación de biomasa	80 % de rendimiento final	El sistema recuperó la mayor parte de la masa como material tamizado
Nutrientes finales	N, P y K detectados	La muestra conservó nutrientes de interés
Bioaceleración causal	No existe lote sin Azolla	No puede demostrarse reducción del tiempo atribuible solo a Azolla
Respuesta agronómica	No hay datos de plantas	No puede afirmarse superioridad sobre un control

Fuente: Elaboración propia.

Una vez alcanzado el rendimiento de 80 % significa que una parte significativa de la mezcla grave fue recuperada como material tamizado; el descenso del 20 % se encuentra en rangos de un comportamiento esperado para estos sistemas aerobios, donde se da la mineralización del carbono y la evaporación de la masa. Gaspar et al. (2022) y Mironov et al. (2024) afirman que la evolución del compost depende del comportamiento de la mezcla de composición y la aireación, la humedad y la actividad microbiana.

El empleo de 50 libras de Azolla significó alrededor de la quinta parte de la masa. Su uso fue coherente en pos de encontrar una fuente orgánica nitrogenada en equilibrio con los materiales vegetales ricos en carbono. Yang et al. (2025) argumentan que la asociación Azolla-Anabaena es capaz de mantener la fijación del nitrógeno, que explica el uso de Azolla como biofertilizante. Por su parte, Thepsilvisut et al. (2024) reconocen el potencial de Azolla en el reciclaje de los nutrientes y en la fabricación de compost. Los resultados de la muestra final mostraron la presencia de nitrógeno, fósforo y potasio. Esta presencia es compatible con investigaciones que han usado compost de Azolla como enmienda orgánica: Seleiman et al. (2022) afirman que en el crecimiento se registraron mejoras en absorción de nutrientes cuando se aplicó compost de Azolla o incluso mezclado con fertilizantes; Marzouk et al. (2024) también vieron aportes al nitrógeno y a propiedades químicas del suelo al mezclar Azolla con residuos carbonados. Sin embargo, los autores citados realizaron tratamientos comparativos y réplicas, condiciones que no se dieron en el proyecto de la Universidad de Guayaquil. Por lo tanto, los datos no permiten sustentar que Azolla acortó el compostaje, que la temperatura aumentó o que el material obtenido fue mejor que el de la mezcla común. La única conclusión válida es que una mezcla con un porcentaje de 19,53 % de Azolla alcanzó el balance final y la composición descrita.

Tampoco se debe abusar del término maduración. El enfriamiento, la coloración oscura y la presencia de nutrientes no son suficientes para hablar de madurez agronómica. Fels et al. (2024) llegan a proposiciones como que se incluyan indicadores fisicoquímicos, microbiológicos o enzimáticos. El producto en el caso en cuestión fue descrito como material estabilizado y tamizado, de principio. Desde la formación docente, el proceso pudo articular actividades de clasificación, mediciones,

balances de masa, observaciones biológicas y lectura de informes analíticos. La organización coincide con el valor que tienen los problemas auténticos para activar conocimientos y responsabilidades (Leijon et al. 2022; Huesca et al. 2024). Sin embargo, el artículo no mide aprendizaje ni competencias individuales y ese efecto es preferible estudiar con instrumentos específicos.

La principal limitación ha sido no contar con reactores replicados con y sin Azolla. También faltaron registros numéricos completos de temperatura, pH, humedad y relación C: N, así como análisis de la mezcla en el estado inicial. Estas limitaciones no permiten calcular la velocidad de degradación, la comparación de trayectorias o la estimación de la aportación por parte de la macrófita. El valor del estudio trae consigo el valor correspondiente a organizar de forma transparente una experiencia técnica que puede transformarse en protocolo piloto; y la investigación dentro de este protocolo puede ser llevada a cabo por niños en el cole, pero si sirve el mismo diseño experimental en el que se alternan como mínimo dos tratamientos, mezcla con Azolla y mezcla sin Azolla, múltiples réplicas, igual masa inicial, control semanal complejo y los mismos análisis finales; el diseño experimental aquí expuesto puede servir entonces para comprobar con mayor rigor bioaceleración.

Conclusiones

La aplicación de un total de 50 lb de azolla en el total inicial de 256 lb permitió la constatar un sistema aerobio para hacer transformaciones de residuos orgánicos en el vivero de la Universidad de Guayaquil. A las catorce semanas, 204,8 lb de material tamizándose, un rendimiento gravimétrico del 80 %, una reducción en 20 %. La muestra ECU.M.531 tiene un total de 1,55 % de N total, 372,41 mg/kg de P y 1,094 cmol+/kg de K. Ello establece presencia de nutrientes, pero no establece por sí mismo la madurez, la inocuidad ni la calidad agronómica integral del material.

La azolla fue el 19,53 % de la formulación inicial y fue una fuente biológica adecuada para el sistema, pero la ausencia de un lote equivalente sin azolla no permite afirmar que la macrófita haya acelerado causalmente la degradación o que la calidad del producto sea adecuada respecto de otra formulación. La experiencia documenta un protocolo técnico aplicable al semillero y para formación en ciencias experimentales, porque integra la gestión de la biomasa, el seguimiento de las variables, el balance de masas y el análisis de laboratorio. Su principal legado es la de documentar una base para futuros ensayos controlados, con réplicas y series completas de medida.

La experiencia permitió establecer una limitación metodológica muy relevante para la continuidad de la experiencia. Los valores documentados permiten describir el comportamiento de un solo lote de residuos de preparación de suelo y avalan la incorporación de Azolla como componente biológico de la formulación, pero no demuestran un efecto causal de bioaceleración. La falta de un tratamiento análogo sin Azolla, de réplicas independientes, así como de un registro completo de temperatura, pH, humedad y relación carbono/nitrógeno impide atribuir a esta macrofitas la atribución caída de peso, de tiempo de transformación, de características nutricionales, etc. Para afrontar con más fortaleza futuras investigaciones, se aconseja aplicar un diseño experimental más acorde con determinación de tratamientos comparables, igual cantidad de residuos, diferentes proporciones de Azolla y un grupo control sin

la macrófita. También se debería incorporar un seguimiento periódico de las variables fisicoquímicas, los análisis iniciales y finales, los indicadores de la estabilidad de la mezcla, las pruebas de fitotoxicidad y los análisis agronómicos de las plantas. Este planteamiento permitirá llegar al corazón del rendimiento y, por tanto, de la calidad del material obtenido y someter el procedimiento a otras condiciones en otros viveros universitarios o educativos.

Referencias

Dragnić, D., & Anderson, J. (2025). Developing pre-service teachers' pedagogical content knowledge: Lessons from a science methods class. Education Sciences, 15(7), 860. https://doi.org/10.3390/educsci15070860

El Fels, L., Naylo, A., Jemo, M., Zrikam, N., Boularbah, A., Ouhdouch, Y., & Hafidi, M. (2024). Microbial enzymatic indices for predicting composting quality of recalcitrant lignocellulosic substrates. Frontiers in Microbiology, 15, 1423728. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1423728

Gaspar, S, Assis, L., Carvalho, C., Buttrós, Ferreira, G., Schwan, R., Pasqual, M., Rodrigues, F. A., Rigobelo, E. C., Castro, R. P., & Dória, J. (2022). Dynamics of microbiota and physicochemical characterization of food waste in a new type of composter. Frontiers in Sustainable Food Systems, 6, 960196. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.960196

Huesca, G., Rodríguez, A., Lara-, V., Ruiz, M. I., & Acevedo, J. (2024). Effectiveness of challenge-based learning in undergraduate engineering programs from competencies and gender perspectives. Education Sciences, 14(3), 255. https://doi.org/10.3390/educsci14030255

Leijon, M., Gudmundsson, P., Staaf, P., & Christersson, C. (2022). Challenge-based learning in higher education: A systematic literature review. Innovations in Education and Teaching International, 59(5), 609–618. https://doi.org/10.1080/14703297.2021.1892503

Marzouk, S., Semoka, J. M., Amuri, N., & Tindwa, H. (2024). Rice straw incorporation and Azolla application improves agronomic nitrogen-use-efficiency and rice grain yields in paddy fields. Frontiers in Soil Science, 4, 1378065. https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1378065

Mironov, V., Zhukov, V., Efremova, K., & Brinton, W. (2024). Enhancing aerobic composting of food waste by adding hydrolytically active microorganisms. Frontiers in Microbiology, 15, 1487165. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1487165

Noor., Shah, A, Tahir, M., Umair, M., Nawaz, M., Ali, A., Ercisli, S., Abdelsalam, N, Ali, H. M., Yang, S., Ullah, S., & Assiri, M. (2024). Recent trends and advances in additive-mediated composting technology for agricultural waste resources: A comprehensive review. ACS Omega, 9(8), 8632–8653. https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06516

Seleiman, M., Elshayb, O., Nada, A., El-Leithy, S. A., Baz, L., Alhammad, B. A., & Mahdi, A. H. A. (2022). Azolla compost as an approach for enhancing growth, productivity and nutrient uptake of Oryza sativa L. Agronomy, 12(2), 416. https://doi.org/10.3390/agronomy12020416

Thepsilvisut, O., Srikan, N., Chutimanukul, P., Marubodee, R., & Ehara, H. (2024). Developing guidelines for Azolla microphylla production as compost for sustainable agriculture. Resources, 13(11), 158. https://doi.org/10.3390/resources13110158

Yang, Y., Yang, Y., Deng, S., & Ying, Z. (2025). Role of Azolla in sustainable agriculture and climate resilience: A comprehensive review.

Frontiers in Plant Science, 16, 1661720. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1661720

Van, C., Caratozzolo, P., Zavala, G., & Membrillo, J. (2023). Taking the challenge: An exploratory study of the challenge-based learning context in higher education institutions across three different continents. Education Sciences, 13(3), 234. https://doi.org/10.3390/educsci13030234

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Joe Ronald Vélez Ulloa, Ginger Anabelle Suárez De La Cruz, Ariel Naula Inguillay, Tania Vanessa Vinueza Baque y Stefanie Natalí Mendoza León.

Declaraciones éticas y editoriales del artículo
Contribución de los autores (Taxonomía CRediT) Joe Ronald Vélez Ulloa: conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, curación de datos, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición. Ginger Anabelle Suárez De La Cruz: conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, curación de datos, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición. Tania Vanessa Vinueza Baque: conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, curación de datos, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición. Stefanie Natalí Mendoza León: conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, curación de datos, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.
Declaración de conflicto de intereses Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con la investigación presentada, la autoría del manuscrito ni la publicación del presente artículo.
Declaración de financiamiento La presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o de organizaciones sin fines de lucro. En caso de existir financiamiento institucional o externo, este deberá ser declarado explícitamente por los autores en esta sección.
Declaración del editor El editor responsable certifica que el proceso editorial del presente artículo se desarrolló conforme a los principios de integridad científica, transparencia y buenas prácticas editoriales. El manuscrito fue sometido a un proceso de evaluación mediante revisión por pares doble ciego, garantizando la confidencialidad de la identidad de los autores y revisores durante todo el proceso de dictamen académico. Asimismo, el editor declara que el artículo cumple con los criterios científicos, metodológicos y éticos establecidos por la revista.
Declaración de los revisores Los revisores externos que participaron en la evaluación del presente manuscrito declaran haber realizado el proceso de revisión de manera objetiva, independiente y confidencial. Asimismo, manifiestan que no mantienen conflictos de interés con los autores ni con la investigación evaluada, y que sus observaciones y recomendaciones se fundamentan exclusivamente en criterios científicos, metodológicos y académicos.
Declaración ética de la investigación Los autores declaran que la investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica, garantizando la confidencialidad de los datos y el respeto a los participantes del estudio. En los casos en que la investigación involucre seres humanos, los procedimientos deben ajustarse a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y a las normativas institucionales correspondientes.
Declaración sobre el uso de inteligencia artificial Los autores declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial, en caso de haberse utilizado durante el proceso de investigación o redacción del manuscrito, se realizó únicamente como apoyo técnico para mejorar la claridad del lenguaje o el análisis de información, manteniendo siempre la responsabilidad intelectual sobre el contenido del artículo. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron utilizadas como autoras del manuscrito ni sustituyen la responsabilidad académica de los investigadores.
Disponibilidad de datos Los datos que respaldan los resultados de esta investigación estarán disponibles previa solicitud razonable al autor de correspondencia, respetando las normas éticas y de confidencialidad establecidas por la investigación.