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

COMPOSTAJE ORGÁNICO COMO LABORATORIO VIVO PARA EL APRENDIZAJE BASADO EN RETOS DE QUÍMICA Y BIOLOGÍA

ORGANIC COMPOSTING AS A LIVING LABORATORY FOR CHALLENGE-BASED LEARNING IN CHEMISTRY AND BIOLOGY

Autores: [1]Joe Ronald Vélez Ulloa, [2]Nadea Sofía Martínez Almeida, [3]Daniela Roxana Delgado Rivera, [4]Christian Javier Acosta Soledispa y [5]Karla Susana Humanante Medrano.
[1]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-6095-887X
[2]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-0111-2692
[3]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-8981-1727
[4]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-2027-5866
[5]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-5190-1720
[1]E-mail de contacto: joe.velezu@ug.edu.ec
[2]E-mail de contacto: nadea.martineza@ug.edu.ec
[3]E-mail de contacto: daniela.delgador@ug.edu.ec
[4]E-mail de contacto: christian.acosta@ug.edu.ec
[5]E-mail de contacto: karla.humanantem@ug.edu.ec
Afiliación: [1*2*3*4*5*]Universidad de Guayaquil, (Ecuador).
Artículo recibido: 20 de Agosto del 2026.
Artículo revisado: 22 de Agosto del 2026.
Artículo aprobado: 24 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 Universidad de Guayaquil, (Ecuador).
[4]Licenciado en Enfermería, graduado de la Universidad de Guayaquil, (Ecuador).
[5]Estudiante de la Universidad de Guayaquil, (Ecuador).

Resumen

La enseñanza de la Química y la Biología encuentra limitaciones ante una presentación del contenido de forma abstracta y, fundamentalmente, despegada de las situaciones experimentales. El presente estudio que se expone a continuación pretende evaluar el compostaje orgánico en un vivero-laboratorio vivo como un medio de aprendizaje basado en retos en tanto que medio para desarrollar las competencias científicas en los estudiantes. Para ello se llevó a cabo una investigación cuantitativa de tipo descriptiva y preexperimental longitudinal con 70 estudiantes de segundo, sexto y noveno semestre de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales de la Química y Biología de la Universidad de Guayaquil, seleccionados de forma intencionada. La intervención en la que consistió el trabajo se centró en la prueba de sistemas de compostaje aeróbicos; control de temperatura y pH; bitácoras de campo; y grabado de balances de masa. A su vez, se aplicó una ficha comparativa de valoración antes y después de la intervención, organizada en cuatro indicadores de competencia científica y analizó la muestra de 1794,1 gramos en el laboratorio ECUSCIENCE S.A. mediante los métodos Kjeldahl, espectrofotometría UV-VIS y absorción atómica. El análisis del pretest y del postest hizo manifiesto incrementos de 56 puntos porcentuales en modelamiento, 76 en cuantificación, 73 en resolución de problemas y 67 en indagación. La muestra presentó 1,55 % de nitrógeno, 372,41 mg/kg de fósforo y 1,094 cmol+/kg de potasio. Se concluyó que el compostaje del mismo facilitó la comprensión de fenómenos fisiológicos, químicos y biológicos; que permitió relacionar la práctica de las competencias experimentales con la gestión sostenible de los residuos universitarios.
Palabras clave: Aprendizaje basado en retos, Compostaje orgánico, Competencias científicas, Ciencias experimentales, Vivero, Laboratorio vivo.

Abstract

Experiments in Chemistry and Biology present challenges when theoretical knowledge is used purely abstractly and not linked with real

experiments. This issue becomes particularly important in adult education when one needs to deal with limited curricula to find the integrated solutions involving some theoretical knowledge, experiments, and environmental issues solved at educational institutes through active student participation. The objective of this research was to investigate the potential use of organic composting in a living nursery-laboratory as a challenge-based learning method through the enhancement of student competencies in science. Quantitative, descriptive, longitudinal, and pre-experimental research was conducted with 70 second-year, sixth-year, and ninth-year students of the Pedagogy of Experimental Sciences in Chemistry and Biology program at the University of Guayaquil. The chosen group participates in the research intentionally. The study includes aerobic composting, temperature and pH monitoring, field logs collection, and mass balance problem resolution. During the research, a comparative assessment record was made before and after the intervention in order to build four indicators of scientific competence. The sample of compost weighed 1,794.1 grams and was analyzed with the help of the Kjeldahl method and atomic absorption. As a result of the pre-test and post-test analysis, the following improvements were achieved: 56 percentage points in the modeling, 76 points in quantification, 73 points in problem solving, and 67 in inquiry. It was also discovered that the sample contained 1.55% of nitrogen, 372.41 mg/kg of phosphorus, and 1.094 cmol+/kg of potassium. Therefore, it can be investigated that composting permits comprehensive understanding chemical and biological phenomena and improves experimental skills.

Keyword: Challenge-based learning; Organic composting; Scientific competencies; Experimental sciences; Living nursery-laboratory.

Sumario

O ensino de Química e Biologia apresenta dificuldades quando os conteúdos são abordados de forma abstrata e desconectados de situações experimentais. Estas dificuldades tornam-se mais evidentes na modalidade noturna, que necessita de recursos contextualizados e práticas adequadas ao tempo disponível. O objetivo deste trabalho foi avaliar a compostagem orgânica em um viveiro-laboratório vivo como estratégia de aprendizagem baseada em desafios para o fortalecimento das competências científicas das estudantes. Desenvolveu-se uma pesquisa quantitativa, descritiva e pré-experimental longitudinal com 70 discentes do segundo, sexto e nono semestres do curso de Pedagogia das Ciências Experimentais em Química e Biologia da Universidade de Guayaquil, selecionados intencionalmente. A intervenção contou com sistemas de compostagem aeróbica, monitoramento da temperatura e do pH, registros de campo e resolução de balanços de massa. Utilizou-se uma ficha comparativa de avaliação, aplicada antes e depois da intervenção e organizada em quatro indicadores de competência científica. Uma amostra de 1.794,1 gramas foi analisada no laboratório ECUSCIENCE S.A. pelos métodos Kjeldahl, espectrofotometria UV-VIS e absorção atômica. A análise dos dados do pré-teste e pós-teste evidenciou aumentos de 56 pontos percentuais em modelagem, 76 em quantificação, 73 em resolução de problemas e 67 em investigação. A amostra apresentou 1,55% de nitrogênio, 372,41 mg/kg de fósforo e 1,094 cmol+/kg de potássio. Conclui-se que a compostagem facilitou a compreensão de fenômenos químicos e biológicos, fortaleceu as competências experimentais e vinculou a aprendizagem à gestão sustentável dos resíduos. universitários.

Palavras-chave: Aprendizagem Baseada Em Desafios; Compostagem Orgânica; Competências Científicas; Ciências Experimentais; Viveiro-Laboratório Vivo.

Introducción

La enseñanza universitaria de la química y la biología se enfrenta al reto de lograr que los alumnos sean capaces de relacionar los modelos teóricos con fenómenos que puedan observar y problemas de su contexto. Cuando contenidos

como por ejemplo la cinética química, la termodinámica, la estequiometría y el metabolismo celular son tratados fundamentalmente mediante explicaciones expositivas y mediante ejercicios de ínfima contextualización, puede resultar difícil entender cómo se aplican las explicaciones allí presentes a los sistemas biológicos reales.

En formación inicial del profesorado, los procesos de construcción y seguimiento de un biorreactor de compostaje permiten articular los conocimientos científicos con las decisiones pedagógicas relacionadas mediante la planificación, la observación y la explicación de fenómenos experimentales (Dragnić y Anderson, 2025). El aprendizaje basado en retos es una metodología activa que orienta el proceso de educación en torno a problemas reales cuya solución requiere investigación, colaboración, toma de decisiones y la aplicación práctica del conocimiento. Las últimas revisiones sobre esta metodología nos hacen ver que está "caracterizada por el aprendizaje basado en problemas reales, la cooperación, la autonomía del alumnado y la producción de soluciones contextualizadas", aunque su implementación es variable en instituciones y disciplinas (Leijon et al., 2022; Galdames et al., 2024).

Su implementación ha de contemplar la definición del reto, la definición de resultados de aprendizaje medibles y el acompañamiento por parte del docente que guíe la investigación y la toma de decisiones de los estudiantes (Doulougeri et al., 2024; Van den Beemt et al., 2023). Su implementación en la educación superior permite integrar contenidos disciplinares y múltiples competencias vinculadas a la resolución de problemas o el desarrollo de situaciones; sin embargo, la efectividad depende del acompañamiento docente, de la definición del reto, del acceso a recursos y de la adecuada interrelación entre estos y los resultados de aprendizaje (Leijon et al., 2022). Las experiencias desarrolladas en las diferentes instituciones también evidencian que esta metodología puede implementarse en distintos contextos, siempre que el reto sea significativo y contemple la activa participación del alumnado (Van den Beemt et al., 2023).

En el ámbito de las ciencias experimentales el compostaje es uno de los procesos efectivos que permiten poner en marcha este tipo de aprendizaje, constituyendo un proceso biológico aerobio que permite que los residuos orgánicos sean transformados por los microorganismos en un material estabilizado y potenciado en nutrientes. La eficiencia del compostaje depende de la sinergia entre las comunidades de microorganismos, la naturaleza de los residuos y del control de diversas variables como temperatura, pH, humedad, aireación y relación carbono-nitrógeno entre otros (Gaspar et al., 2022; Noor et al., 2024).

En el desarrollo de este proceso se dan cambios físicos, químicos y biológicos que pueden ser analizados a partir de variables tales como temperatura, pH, humedad, aireación, la relación carbono-nitrógeno y la disponibilidad de nutrientes. El estudio de las variables indicadas posibilita entender la sucesión de las fases mesófila, termófila, de enfriamiento y maduración; así como los cambios que sufre la materia orgánica mediante la actividad de la biota microbiana (Gaspar et al., 2022). La madurez del compost no se debería determinar en función de un solo parámetro, sino que debe obtenerse valorando conjuntamente indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y enzimáticos (El Fels et al., 2024). Desde la Química, el compostaje ofrece la posibilidad de estudiar las

reacciones exotérmicas, la velocidad de reacción, los balances de masa, la relación entre reactivos y productos y los cambios en la composición de los materiales; desde la Biología, estudiar la actividad de microorganismos descomponedores, las rutas aerobias metabólicas, la mineralización de nutrientes y la interacción entre los factores bióticos y abióticos. De este modo, la compostera puede ser utilizada como un reactor orgánico y al mismo tiempo como un recurso didáctico para observar procesos que normalmente se explican de forma separada en distintas asignaturas. Resulta esencial controlar las condiciones fisicoquímicas para poder entender correctamente el proceso.

La temperatura se presenta como un parámetro que puede dar cuenta de la actividad microbiana y también de las etapas de la descomposición y el pH muestra las variaciones en función de la formación de ácidos orgánicos, de la degradación de proteínas o de la liberación de compuestos nitrogenados. La relación C/N, la aireación y la humedad también determinan la velocidad de degradación y la calidad del producto final; incluso, los estudios experimentales muestran que el control de estas variables favorece la transformación de residuos y la producción de compost estable en términos de su potencial de uso como biofertilizante (Gaspar et al., 2022). En Ecuador, el compostaje puede considerarse un proceso ambiental y productivamente importante.

Jara et al. (2017) evaluaron residuos de mercados y actividades de jardinería en la provincia de Chimborazo y demostraron que se podían obtener fertilizantes orgánicos a partir de estos, mediante procesos controlados. Los autores se ocuparon de registrar la evolución de la temperatura, la pérdida de materia orgánica y las características fisicoquímicas y agronómicas del producto transformado. Esos resultados muestran cómo el aprovechamiento de los residuos orgánicos puede servir de recurso para disminuir la disposición inadecuada de los mismos y recuperar nutrientes para su uso agrícola, particularmente en el caso de Ecuador (Jara et al., 2017). Y además del uso ambiental, el compostaje puede servir de experiencia para la formación de los futuros docentes de ciencias. Un reciente estudio con futuros docentes en formación empleó la construcción, el seguimiento, el análisis y la modificación de un biorreactor de compostaje como recurso para el fortalecimiento de conocimientos científicos y pedagógicos, mostrando que este recurso también permite integrar experimentación y preparaciones didácticas (Dragnić y Anderson, 2025).

De este modo, el vivero-laboratorio vivo deja de ser solo un espacio físico y se convierte en un ambiente educativo donde los estudiantes recogen datos, realizan bitácoras, interpretan cambios fisicoquímicos, contrastan resultados y dan explicaciones justificadas mediante evidencias. Sin embargo, aún no hay evidencia contextualizada del uso del compostaje como reto interdisciplinario en la formación de docentes de Química y Biología. Específicamente, se necesita saber si la articulación de estudiantes de cursos diferentes permite desenvolver los contenidos de Biología General, Química Orgánica y Bioquímica, además de potenciar competencias como el modelamiento, la cuantificación, la indagación y la resolución de problemas. Esta necesidad no es trivial en la modalidad nocturna, en el que el tiempo disponible exige el uso de recursos contextualizados que posibiliten el tránsito por los contenidos y la participación experimental. De este modo, la investigación se lleva a cabo en el vivero-laboratorio vivo del Complejo

Norte de la Universidad de Guayaquil, con estudiantes de segundo, sexto y noveno semestre de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales de la Química y Biología. El objetivo es evaluar el compostaje orgánico en un vivero-laboratorio vivo como estrategia de aprendizaje basado en retos para reforzar las competencias científicas de los estudiantes

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo a partir de un enfoque cuantitativo, siendo de alcance descriptivo y con un diseño preexperimental longitudinal y de un único grupo, con mediciones previas a la intervención y a posteriori. El componente cuantitativo correspondió a la aplicación de un pretest y un postest, a la recolección periódica de los datos correspondientes a las variables fisicoquímicas del proceso de compostado en función del tiempo y a la caracterización de la composición nutricional del producto obtenido. Las bitácoras de campo fueron empleadas como registros descriptivos complementarios de la experiencia en la que se documentaron los procedimientos, las observaciones, las transformaciones químicas y biológicas que se identificaron durante el desarrollo de la experiencia.

El diseño permitió comparativamente establecer el nivel de logro de las competencias científicas antes y después de la práctica del compostage como estrategia de aprendizaje basado en retos. Al considerarse un único grupo y no tratarse de un planteamiento que incluyese un grupo de control, por esa razón, las evidencias se interpretaron como cambios observados durante la experiencia de intervención, sin llegar a establecer relaciones de causa-efecto. El presente estudio se llevó a cabo en el vivero-laboratorio vivo del Complejo Norte de la Universidad de Guayaquil. Participaron en el estudio 70 estudiantes que pertenecían a la modalidad nocturna de la carrera Pedagogía de las Ciencias Experimentales de la Química y Biología. La selección de los participantes se llevó a cabo según un muestreo no probabilístico intencionado en función de la vinculación de los participantes con las asignaturas a partir de las que se realizó la intervención. Los estudiantes eran de segundo, sexto y noveno semestre y participaban en base a los contenidos de Biología General, Química Orgánica y Bioquímica, lo que permitió organizar diferentes niveles de formación, así como también interrelacionar los conocimientos biológicos, químicos y bioquímicos con las fases del compostaje.

La intervención tuvo lugar en el correr de seis semanas, siguiendo la implantación y el seguimiento de un sistema de compostaje aeróbico presentando el vivero-laboratorio vivo. Se proponía un reto cuya finalidad era la transformación de residuos orgánicos que se generan en el entorno universitario en un producto estabilizado, a partir del control y la interpretación de las variables que intervienen en el proceso. Las actividades se llevaron a cabo en función del nivel formativo de los participantes: los estudiantes de segundo semestre observaron las condiciones bióticas y ambientales con relación a la colonización y a la actividad de los microorganismos descomponedores; los estudiantes de sexto semestre trabajaron el balance de masa, la ratio de la materia orgánica y el control de las variables fisicoquímicas; los estudiantes de noveno semestre se enfocaron en las reacciones metabólicas, la actividad enzimática, la genética de los cambios energéticos, la mineralización de nutrientes. Durante la ejecución del proyecto se desarrollaron actividades orientadas tanto al seguimiento experimental del compostaje como

a la integración de los contenidos académicos. Inicialmente, se realizó la clasificación y preparación de los residuos orgánicos, seguida de la organización de la mezcla destinada al compostaje.

Posteriormente, se efectuó la supervisión periódica de la temperatura y el pH, así como la observación de los cambios físicos y biológicos producidos durante el proceso. Los estudiantes registraron la información obtenida en bitácoras de campo, interpretaron las distintas fases del compostaje, resolvieron ejercicios relacionados con balances de masa y representaron los cambios químicos y metabólicos involucrados en la transformación de la materia orgánica. Además, los resultados fueron analizados de manera colaborativa y, al finalizar el proceso, se recolectó una muestra representativa del producto obtenido para su evaluación externa en laboratorio.

Para la ejecución experimental se utilizaron sistemas de compostaje aeróbico, residuos orgánicos generados en el entorno universitario y residuos vegetales procedentes de actividades de poda. Asimismo, se emplearon recipientes destinados a la preparación y conservación de las muestras, termómetros, medidores de pH, instrumentos para el manejo y la aireación de la mezcla, fundas plásticas para el traslado de las muestras, equipos de protección personal y bitácoras de campo. Como recursos pedagógicos se incorporaron guías de actividades, matrices de seguimiento, ejercicios de balance de masa, representaciones de las transformaciones moleculares y formatos para el registro de las variables observadas. Estos recursos permitieron vincular los procedimientos experimentales desarrollados durante el compostaje con los contenidos abordados en las asignaturas de Biología General, Química Orgánica y Bioquímica. Para valorar los cambios derivados de la intervención se utilizó una ficha de seguimiento comparativa aplicada antes y después del desarrollo de la experiencia. Este instrumento se estructuró a partir de cuatro indicadores: modelización de cambios químicos y metabólicos, cuantificación y diferenciación de conceptos termodinámicos, resolución de balances de masa y reactivos limitantes, e interpretación de gráficas y velocidad de reacción.

Los resultados fueron expresados como porcentajes globales de logro alcanzados por el grupo en cada indicador. Debido a que la documentación disponible no contenía respuestas individuales ni un instrumento constituido por reactivos verificables, la ficha se utilizó exclusivamente con fines comparativos, razón por la cual no se reportaron propiedades psicométricas ni coeficientes de consistencia interna. El cambio se determinó mediante la diferencia entre el porcentaje obtenido al finalizar la intervención y el porcentaje inicial, expresándose en puntos porcentuales. De acuerdo con los registros consolidados de la experiencia, los resultados pasaron del 32 % al 88 % en modelización, del 18 % al 94 % en cuantificación, del 12 % al 85 % en resolución de problemas y del 24 % al 91 % en interpretación e indagación.

El seguimiento del proceso de compostaje se efectuó mediante mediciones periódicas de temperatura y pH durante las seis semanas de intervención. Estos parámetros permitieron interpretar las variaciones asociadas con la actividad microbiana y reconocer las diferentes fases de transformación del material orgánico. La temperatura se utilizó como indicador de la actividad metabólica y de la transición entre las fases mesófila, termófila, de enfriamiento y de estabilización inicial, mientras que el pH

permitió examinar la acidificación producida durante las etapas iniciales y la posterior estabilización del producto. Los valores obtenidos fueron organizados en matrices de seguimiento y relacionados con las evidencias químicas y biológicas observadas durante el proceso. De manera complementaria, las bitácoras de campo permitieron registrar cambios en el color, la textura, el olor, la humedad y la reducción del volumen del material, además de las interpretaciones realizadas por los participantes. No se dispuso de un registro correspondiente a la semana 5, debido a que esta medición no constaba en la documentación disponible; por tal motivo, no se realizaron interpolaciones ni estimaciones y la serie temporal se interpretó únicamente a partir de las mediciones efectivamente registradas durante las semanas 1, 2, 3, 4 y 6.

Al finalizar el proceso de compostaje se obtuvo una muestra final homogeneizada con un peso de 1794,1 g, identificada con el código ECU.M.531. La muestra fue colocada en una funda plástica y remitida al laboratorio de ensayos químicos ECUSCIENCE S. A. para determinar su composición nutricional. Al momento de su recepción se registró una temperatura ambiental de 22,6 °C y una humedad relativa de 47,1 %. Los análisis fueron realizados entre el 20 y el 27 de mayo de 2026. Para la determinación del nitrógeno total se aplicó el método Kjeldahl, correspondiente al procedimiento ECU.MT.SL.50; el contenido de fósforo fue determinado mediante espectrofotometría UV-VIS, utilizando el procedimiento ECU.MT.SL.52; mientras que el potasio se analizó mediante extracción con acetato de amonio y lectura por espectrofotometría de absorción atómica, conforme al procedimiento ECU.MT.SL.51. Los resultados obtenidos fueron tomados del Informe de Resultados núm. 531-2026, emitido por ECUSCIENCE S. A. el 27 de mayo de 2026. Para el procesamiento y análisis de los datos, la información se organizó de acuerdo con los cuatro indicadores establecidos en la ficha comparativa. El análisis cuantitativo se realizó a partir de los porcentajes consolidados obtenidos en la medición inicial y final, así como de la diferencia entre ambos valores expresada en puntos porcentuales. El tratamiento estadístico fue exclusivamente descriptivo.

Adicionalmente, se elaboraron cuadros para representar la evolución de la temperatura y el pH durante el compostaje, la composición nutricional del producto final y los porcentajes de logro alcanzados en modelización, cuantificación, resolución de problemas e interpretación e indagación. La información procedente de las bitácoras de campo se organizó como un registro descriptivo de los cambios fisicoquímicos observados, la interpretación de las distintas fases del compostaje, la resolución del reto experimental y la integración de los conocimientos adquiridos. Estos registros se utilizaron únicamente para contextualizar e interpretar los resultados cuantitativos y no fueron considerados como datos cualitativos independientes.

En relación con las consideraciones éticas, la participación de los estudiantes fue voluntaria y se contempló la obtención del consentimiento informado de las personas participantes, así como la autorización institucional correspondiente para el desarrollo del proyecto. La información recopilada fue procesada y presentada de forma agrupada, garantizando la confidencialidad y el anonimato de los participantes. Asimismo, los datos obtenidos fueron utilizados exclusivamente con fines académicos y científicos, respetando los

principios éticos aplicables a la investigación educativa.

Resultados y Discusión

Las observaciones realizadas durante seis semanas en el seguimiento de la temperatura y el pH derivados de las diferentes fases del compostaje mostraron que, de acuerdo con la Tabla 1, la temperatura inicial fue de 28,5 °C, alcanzando el máximo durante la segunda semana (58,2 °C), lo cual significó el paso de la fase mesófila a la fase termófila (gran actividad microbial que da como resultado la liberación de energía y degradación aerobias de los residuos). A partir de ese momento, la temperatura descendió hasta alcanzar 24,2 °C en la sexta semana, lo que evidenció la disminución de la actividad microbiológica y el asentamiento del material orgánico. El pH pasó de 5,8 a 7,5, permitiendo observar la transición de la acidificación inicial del compost hacia un entorno de pH próximo a la neutralidad y una fase término adecuada para el enfriamiento y el asentamiento inicial del material.

Tabla 1. *Evolución de la temperatura y el pH durante el compostaje.*

Periodo	Temperatura promedio	pH	Fase identificada	Evidencia observada
Semana 1	28,5 °C	5,8	Mesófila inicial	Acidificación y colonización microbiana
Semana 2	58,2 °C	6,2	Termófila	Reacciones exotérmicas y degradación acelerada
Semana 3	52,1 °C	7,4	Termófila	Proteólisis, desaminación y actividad metabólica
Semana 4	34,0 °C	7,6	Enfriamiento	Reducción de la actividad por agotamiento de sustratos
Semana 6	24,2 °C	7,5	Estabilización inicial	Enfriamiento y estabilización inicial del material

Fuente: Elaboración propia.

La evolución de la temperatura se representa en la Figura 1.

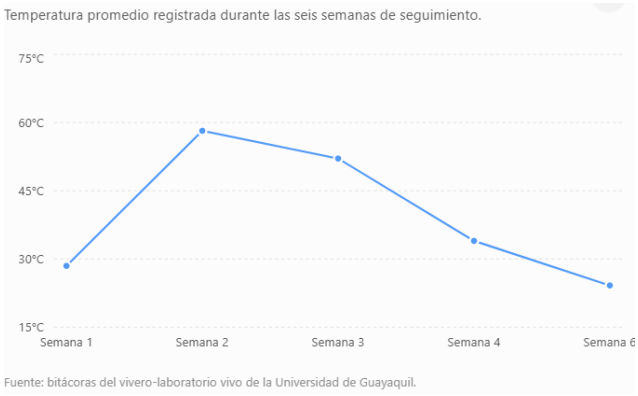


Figura 1. Evolución térmica del compostaje.

Fuente: Elaboración propia.

Un incremento extremo se presenta de la semana 1 a la semana 2, el cual desciende mucho más lentamente a partir de la sexta. Esta trayectoria permite a los estudiantes asociar a su vez los cambios térmicos con la intensidad de la actividad metabólica de los microorganismos. Los estudiantes de 2º sem. trabajaron con el análisis de las condiciones biológicas; los estudiantes de 6º sem. relacionaron los cambios térmicos con la degradación de los compuestos orgánicos; los estudiantes de 9º sem. interpretaron los cambios en términos de grado de transformación metabólica y energética. La muestra final fue la de 1794,1 gramos que fue analizada por el laboratorio ECUSCIENCE S.A. donde se analizó el contenido de nitrógeno,

fósforo y potasio. Los resultados certificados se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. *Composición nutricional de la muestra final ECU.M.531.*

Parámetro	Método de ensayo	Unidad	Resultado
Nitrógeno total	Kjeldahl, ECU.MT.SL.50	%	1,55
Fósforo	Espectrofotometría UV-VIS, ECU.MT.SL.52	mg/kg	372,41
Potasio	Extracción con acetato de amonio y absorción atómica, ECU.MT.SL.51	cmol+/kg	1,094

Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas realizadas refirmaron la existencia de los tres nutrientes analizados en el producto final: el nitrógeno total alcanzó el 1.55%, el fósforo se determinó en 372.41 mg/kg y el potasio ascendió a 1.094 cmol+/kg. De este modo, los resultados obtenidos permitieron comprobar los cálculos y las observaciones realizadas en el transcurso de la intervención con relación a los resultados analíticos que se obtuvieron mediante procedimientos analíticos en el laboratorio. Los resultados se entregaron con las unidades originales del informe químico. Dado que el nitrógeno, el fósforo y el potasio fueron expresados en unidades diferentes, no se procedió a equiparar directamente sus magnitudes. La comparación entre el pretest y el postest permitió identificar cambios en cuatro competencias: modelamiento, cuantificación, resolución de problemas e indagación.

Tabla 3. *Comparación del logro de competencias científicas.*

Competencia evaluada	Pre test	Postest	Incremento
Modelamiento de cambios químicos y metabólicos	32 %	88 %	56 puntos porcentuales
Cuantificación y diferenciación termodinámica	18 %	94 %	76 puntos porcentuales
Resolución de balances de masa y reactivos limitantes	12 %	85 %	73 puntos porcentuales
Interpretación de gráficas y velocidad de reacción	24 %	91 %	67 puntos porcentuales

Fuente: Elaboración propia.

La confirmación aritmética ratificó los resultados: (32 + 18 + 12 + 24) / 4 = 21,5 % en el pretest; (88 + 94 + 85 + 91) / 4 = 89,5 % en el postest; y 89,5 - 21,5 = 68 puntos porcentuales de media de incremento. Estos porcentajes son los que resultan de los valores añadidos consignados a la ficha comparativa para los cuatro indicadores evaluados. Los cuatro indicadores presentaron valores superiores en el postest. El Incremento mayor fue en cuantificación, con 76 puntos porcentuales; le siguieron resolución de problemas, con 73 puntos. La indagación pasó a incrementos de 67 puntos y el modelamiento se presentó con 56 puntos porcentuales de incremento.

En términos promediales, el promedio del logro pasó en el tiempo del pretest de 21,5 % al postest de 89,5 %, lo que representa un incremento medio de 68 puntos porcentuales. Los resultados presentados describen una mejora en el desempeño del grupo en la experiencia vivida. No obstante, dado que no se aplicó una prueba estadística inferencial, así como tampoco se contó con un grupo de control, no corresponde afirmar que las diferencias fueran estadísticamente significativas ni que el compostaje fuera la causa única del cambio observado.

Las bitácoras complementaron la información cuantitativa a partir de la evolución de la temperatura, el pH, y de las características visibles del mismo material. De los registros se relacionó la acidificación inicial con la formación de los compuestos orgánicos, el aumento de la temperatura con la actividad microbiana, y el bajón posterior de la temperatura con la disminución de los sustratos disponibles. La diferenciación de las actividades según los semestres también propició la interrelación de los contenidos.

Biología General observó los organismos descomponedores, las condiciones ambientales, Química Orgánica permitió la formulación de la transformación de los compuestos y todo el balance de masa; y Bioquímica permitió la formulación de las rutas metabólicas y de la mineralización de nutrientes.

Las evidencias de estos datos confirmaron la utilidad del vivero-laboratorio vivo como un espacio donde poner en relación observación, medición, interpretación y resolución de problemas. Las bitácoras fueron consideradas como registros descriptivos complementarias para contextualizar los datos cuantitativos sin darles representatividad estadística ni considerarlas como un instrumento cualitativo independiente. En conjunto resultaron unos resultados donde se podía observar una evolución fisicoquímica que era la esperada, y los resultados finales eran coherentes con las fases propuestas para el compost y con la presencia de los nutrientes nitrogenados, fosfatados y potásicos en el producto final, y la existencia de un aumento de los porcentajes de logro de los aprendizajes de las competencias científicas evaluadas.

El seguimiento continuo de los experimentos y de los análisis de los mismos junto con el seguimiento de las actividades de los alumnos de diferentes semestres permitió articular contenidos de Biología General, Química Orgánica y Bioquímica dentro de una experiencia común. Los resultados de este estudio muestran cambios favorables a partir de la intervención y apoyan la utilidad educativa del vivero-laboratorio vivo, aunque deben ser considerados en función del diseño preexperimental y la ausencia del grupo de control, así como del uso de análisis estadísticos descriptivos. Los resultados de la investigación apuntan que el proceso de compostaje orgánico puede funcionar a la vez como un proceso experimental y recurso didáctico para hacer realidad la integración de contenidos de Química y de Biología. La evolución de las variables fisicoquímicas, la composición nutricional del producto final y la mejoría observada en las competencias científicas permitirían contemplar el fenómeno de estudio desde diferentes niveles formativos. No obstante, debemos interpretar los resultados encontrados como cambios descriptivos porque, dada la naturaleza del diseño preexperimental, no existió ningún grupo de control ni se realizaron pruebas estadísticas inferenciales.

La evolución de la temperatura fue explicativa al inicio de las fases habituales del proceso de compostaje aeróbico. Los valores iniciales del primer muestreo, en 28,5 °C en la primera semana, hasta alcanzar los 58,2 °C en el segundo muestreo muestran la existencia de las fases termófilas vinculadas al incremento de la actividad microbiana y a la degradación de los compuestos orgánicos. A continuación, los valores que descendieron, alcanzando el 24,2 °C en la sexta semana, son indicativos de una disminución de la actividad metabólica, y una progresión hacia la estabilización del material correspondiente. Gaspar et al. (2022) también destacan una rápida llegada a la fase termófila en sistemas de compostaje controlando temperatura y aireación. Los autores explican que el seguimiento de estas condiciones garantiza la conservación de la actividad microbiana, y la mejora de la transformación de los residuos (Gaspar et al., 2022).

El comportamiento del pH sumó datos sobre las fases observadas. Un valor inicial de 5,8 puede ser asociado con la producción de ácidos orgánicos a partir de las primeras transformaciones de residuos. Su posterior

aumento, hasta 7,4 y 7,6, da cuenta del descenso de la acidez y, por lo tanto, la aproximación a valores estables. La bibliografía presenta la temperatura, pH, humedad, aireación y proporción carbono-nitrógeno como variables fundamentales para estudiar la evolución y la maduración del compost. Entonces, su seguimiento permitió transformar una serie de procesos químicos y biológicos que resultan más difíciles de observar de forma directa en datos que los estudiantes pudieron observar, abordar, representar e interpretar.

Estos resultados coinciden con estudios que consideran al pH, temperatura, humedad y proporción carbono-nitrógeno como parámetros complementarios en la interpretación de la evolución y la estabilización del compost (Noor et al., 2024; El Fels et al., 2024). La determinación de nitrógeno, fósforo y potasio confirmó que el material obtenido conservó nutrientes de interés para su posible uso. La muestra ofreció 1,55 % de nitrógeno, 372,41 mg/kg de fósforo y 1,094 cmol+/kg de potasio. Estos datos se corresponden de manera general con la información que hace referencia a que la transformación de residuos orgánicos puede producir materiales estabilizados con contenido nutricional aprovechable.

En el Ecuador, Jara et al. (2017) pudieron mostrar que los residuos provenientes de mercados, y de jardinería, podían ser procesados por compostaje y que estos producían productos con propiedades agronómicas adecuadas. El trabajo también hizo hincapié en el control de la temperatura, de las pérdidas de materia orgánica y de las características fisicoquímicas del producto final (Jara et al. 2017). Sin embargo, la existencia de nitrógeno, fósforo y potasio no es suficiente para considerar que el mismo es «excelente» u «óptimo». Para ello hay que oponerse a la norma técnica correspondiente y considerar otros parámetros de estabilidad, madurez, inocuidad, etcétera, como la relación C: N, la materia orgánica, la humedad, la conductividad eléctrica, la presencia de metales pesados, microorganismos patógenos y realizar pruebas fitotóxicas. Por ello, los análisis realizados corroboran la existencia de nutrientes en la muestra, pero no constituyen una caracterización adecuada de la calidad del compost.

En cuanto a la componente educativa se produjeron incrementos en las 4 competencias evaluadas que quedaron reflejadas en un aumento del componente cuantificación de 76 puntos porcentuales; de resolución de problemas de 73 puntos porcentuales; indagación de 67 puntos porcentuales y modelamiento de 56 puntos porcentuales. En cuanto a la puntuación del promedio general, del pretest pasó del 21,5 % al 89,5 % en el postest. Estos cambios sugieren que el contacto con un proceso real facilitó la aplicación de conceptos que podían ser percibidos inicialmente como abstractos. Los estudiantes no se limitaron a resolver ejercicios desde una perspectiva descontextualizada, sino que utilizaron datos procedentes del compostaje para interpretar variaciones térmicas, analizar los cambios del pH, resolver balances de masa o explicar las transformaciones metabólicas.

Están asociados a un aprendizaje activo en el aprendizaje basado en retos. Huesca et al. (2024) determinaron que esta práctica se dispone a favorecer el desarrollo de competencias cuando hay participación del estudiantado en la solución de problemas reales, evidencias y procedimientos aplicados. Sin embargo, que pueda ser positivo o no, depende estrictamente de cómo se organice la vivencia,

del tipo de evaluación que se utilice y de cómo acompañemos al respecto. La construcción y el seguimiento de sistemas de compostaje también han sido aplicaciones que se han utilizado en la formación inicial de docentes de ciencias. Dragnić y Anderson (2025) desarrollaron el diseño, la observación y la modificación de un biorreactor de compostaje que favorece la vinculación de los conocimientos científicos y el pedagógico. Esta coincidencia es pertinente, ya que los participantes de la Universidad de Guayaquil se desempeñan para enseñar Química y Biología. La experiencia permitió no solo ir por los contenidos propios de una disciplina, sino que también sirvió a los participantes para reconocer las posibilidades didácticas de un recurso experimental de bajo coste y vinculado con una problemática ambiental (Dragnić y Anderson 2025).

La organización del proceso mediante el reto constituye una forma de acercar estudiantes ubicados en diferentes semestres en torno a un objetivo en común. Revisa Leijon et al. (2022) que el aprendizaje basado en retos favorece el trabajo de problemas auténticos, de articulación de conocimientos, de trabajo colaborativo y toma de decisiones. Los resultados de esta estrategia dependen de precisa elaboración con la que se contraponga el reto, de la ayuda del docente, así como de la conexión entre las actividades y las competencias que se evalúan (Leijon et al., 2022). En este caso, transformar residuos universitarios en compost supone un objetivo concretar en la organización de las actividades de Biología General, Química Orgánica y Bioquímica.

La integración de los participantes ubicados en diferentes niveles da la razón a lo que se dice del aprendizaje basado en retos caracterizado por un carácter interdisciplinar, pero requiere establecer con precisión las responsabilidades, productos y criterios evaluativos (Galdames- et al., 2024; Doulougeri et al., 2024). La intervención se destacó por su particular participación en los diferentes niveles formativos. El grupo de alumnos de segundo semestre se fijó en estudiar las condiciones biológicas y ambientales, mientras que los alumnos de sexto semestre se centraron en estudiar los cambios en los compuestos y los balances de masa, por su parte, los alumnos de noveno semestre se fijaron en los procesos metabólicos y en los procesos energéticos.

Esta distribución favoreció conseguir una integración vertical de los contenidos curriculares. Sin embargo, también tuvo la dificultad de saber si todos los participantes se expusieron a las mismas actividades y si las diferencias iniciales entre unos semestres y otros tuvieron una influencia en los resultados globales. El presente estudio también tiene sus limitaciones que son convenientes tener en cuenta. Una limitación es que la selección intencional de los participantes limita la generalización de los resultados, aquí siempre se trata de porcentajes sobre registros globales, sin contar con puntuaciones individuales desde las que aplicar procedimientos de análisis estadísticos para muestras relacionadas, o que sí pudimos realizar para el mismo caso con respecto a la consistencia interna.

Además, no se realizaron desagregaciones de resultados particulares en función de los semestres. Las bitácoras también se utilizaron para recabar datos descriptivos, pero no fueron sometidas a un procedimiento sistemático de codificación de tipo cualitativa. A pesar de estas limitaciones, el estudio ofrece una experiencia contextualizada sobre la formación de futuros y futuras docentes de ciencias. El compostaje permitió articular observación, experimentación, análisis químicos,

interpretación biológica y gestión de residuos en un mismo ámbito educativo. En futuras investigaciones podría llevarse a cabo la incorporación de un grupo de comparación, realizar el desglose de resultados en función del semestre, aumentar el número de reactivos, aplicar tests estadísticos de datos relacionados, así como de evaluar la permanencia de los aprendizajes. Podría resultar adecuado completar la caracterización del compost por medio de indicadores de inocuidad, estabilidad y respuesta agronómica. Estas adecuaciones al diseño de la investigación permitirían un mayor acierto a la hora de encontrar la contribución educativa y ambiental del vivero-laboratorio vivo.

Conclusiones

El compostaje orgánico trabajado en el vivero-laboratorio vivo ha resultado una estrategia educativa adecuada para relacionar los contenidos de Biología General, Química Orgánica y Bioquímica en los estudiantes de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales de la Química y Biología de la Universidad de Guayaquil. La impregnación colectiva y el trabajo en el aula mediante el aprendizaje basado en retos nos ha permitido poder, mediante las diferentes actividades, resolver una problemática ambiental que existe en la zona universitaria para poder integrar y relacionar los procedimientos de las asignaturas de observación, medición, experimentación e interpretación científica.

A partir del control de la temperatura y del pH se puede observar los principales hitos conocidos que corresponden a las distintas fases del compostaje y las que se pueden relacionar con la actividad microbiana y la transformación de la materia orgánica. La evolución de la temperatura, que se había ido incrementando en la segunda semana y que luego disminuyó, así como la evolución del pH hacia valores próximos a la neutralidad demuestran que es abordada por las fechas para encontrar la estabilización del compuesto. Los análisis realizados por ECUSCIENCE S. A. confirmaron la presencia de nitrógeno, de fósforo y de potasio en la muestra final, si bien nos parece que estos resultados no son suficientes para una interpretación integral de la calidad agronómica del producto final.

La comparación entre el pretest y el postest mostró incrementos en modelamiento, cuantificación, resolución de problemas e indagación. El promedio del logro pasó de 21,5 % a 89,5 %, lo que implicó un aumento del rendimiento de 68 puntos porcentuales. Esto nos muestra una evolución positiva de las competencias evaluadas al finalizar la intervención y añade peso al valor educativo de trabajar con datos generados en un real proceso experimental. El hecho de integrar estudiantes de segundo, sexto y noveno semestres favoreció un análisis del compostaje con distinto nivel de complejidad. El trabajo grupal dio la oportunidad de ir vinculando aprendizajes sobre condiciones biológicas, sobre transformaciones químicas, sobre balances de masa o sobre procesos metabólicos.

De esta manera, el vivero-laboratorio vivo acabó consolidándose como un espacio de articulación curricular que va hacia una formación científica interdisciplinaria. Los hallazgos deben ser contextualizados en la selección intencionada de los participantes, en que no se han dispuesto de un grupo control, en la existencia de porcentaje agregado y en el empleo de análisis por estadística descriptiva. Las futuras investigaciones deberían incorporar grupos de comparación, instrumentos con reactivos verificables, puntuaciones individuales, pruebas inferenciales, resultados

diferenciados por semestre, evaluaciones posteriores para evidenciar la permanencia del aprendizaje e ir mejorando la caracterización del compost a partir de indicadores de madurez, estabilidad, inocuidad o respuesta agronómica.

Referencias

Doulougeri, K., Vermunt, J., Bombaerts, G., & Bots, M. (2024). Challenge-based learning implementation in engineering education: A systematic literature review. Journal of Engineering Education, 113(4), 1076–1106. https://doi.org/10.1002/jee.20588

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

Galdames, M., Stavnskær, A., & Rodríguez, D. (2024). Systematic review: Revisiting challenge-based learning teaching practices in higher education. Education Sciences, 14(9), 1008. https://doi.org/10.3390/educsci14091008

Gaspar, S., Assis, L., Carvalho, C, Buttrós, V. H., Ferreira, G., Dos R., 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., & 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

Mironov, V., Zhukov, V., Efremova, K., & Brinton, W. F. (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, R, Shah, A, Tahir, M, Umair, M., Nawaz, M., Ali, A., Ercisli, S., Abdelsalam, N. R., Ali, H. M., Yang, S. H., Ullah, S., & Assiri, M. A. (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

Van, A., Vázquez, P., Gómez, S., O'Riordan, F., Gormley, C., Chiang, F.-K., Leng, 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, Nadea Sofía Martínez Almeida, Daniela Roxana Delgado Rivera, Christian Javier Acosta Soledispa y Karla Susana Humanante Medrano.

Declaraciones éticas y editoriales del artículo

Contribución de los autores (Taxonomía CRediT).

Joe Ronald Vélez Ulloa: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Nadea Sofía Martínez Almeida: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Christian Javier Acosta Soledispa: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Karla Susana Humanante Medrano: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

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.