

Formación de un Semillero de Investigación en INFOTEP: Innovación Agroindustrial y Empoderamiento Comunitario a través de la Cría de Tenebrio molitor en la Bioeconomía Circular.

Formation of a Research Seedbed at INFOTEP: Agroindustrial Innovation and Community Empowerment through Tenebrio molitor Breeding in the Circular Bioeconomy

<https://doi.org/10.47606/ACVEN/PH0411>

Milagros Yínez Oñate-Maury^{1*}

<https://orcid.org/0009-0001-8764-5535>

m.onate@infotep.edu.co

Marlon Jesús Sánchez Manzano²

<https://orcid.org/0009-0004-3914-4367>

majsanchez@sena.edu.co

Luis Alfonso Pérez-Guerra¹

<https://orcid.org/0009-0004-2214-3333>

lperez@infotep.edu.co

Mónica Nova Delgado³

<https://orcid.org/0000-0002-8853-0211>

Marta Laura González Ávila¹

<https://orcid.org/0009-0004-2214-3333>

mgonzalez@infotep.edu.co

Recibido: 11/08/2025

Aceptado: 20/09/2025

RESUMEN

El Tenebrio molitor (TM) es un insecto con alto valor nutricional y propiedades bioactivas. Su cría es más sostenible que la ganadería tradicional, genera menos emisiones de gases de efecto invernadero y consumen menos agua, tierra y energía. Asimismo, se alinea con los principios de economía circular al utilizar residuos orgánicos para convertirlos en proteínas y sus excretas (frass) en biofertilizante. Este proyecto tiene como objetivo establecer un semillero de investigación en el INFOTEP de San Juan del Cesar (La Guajira), enfocado en la cría de TM y la aplicación de sus subproductos. El semillero investiga el uso del frass en cultivos de ahuyama y la caracterización de sustratos orgánicos como fuentes de alimentación para el insecto. La metodología emplea un enfoque experimental con la cría controlada del TM y un enfoque participativo, mediante la implementación de talleres prácticos que promuevan la entomocultura. Los resultados esperados incluyen el aprendizaje activo y el desarrollo de competencias académicas y sociales de los estudiantes, a través de procesos que integran el conocimiento técnico y científico. Además, se espera una mejora directa en la productividad agrícola de las comunidades locales, al utilizar frass como biofertilizante. La consolidación de este semillero fortalece la formación de profesionales innovadores y generará nuevas líneas de investigación sobre el TM, con el objetivo de aplicar sus resultados a largo plazo en la agroindustria local, y así contribuir a la creación de modelos sostenibles para la producción de alimentos y el uso eficiente de los recursos en la agricultura.

Palabras Clave: Tenebrio molitor, economía circular, biofertilizante, semillero de investigación, sostenibilidad.

1. INFOTEP- Colombia

2. SENA- Colombia

3. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia

* Autor de correspondencia: m.onate@infotep.edu.co

ABSTRACT

Tenebrio molitor is an insect with high nutritional value and bioactive properties. Its farming is more sustainable than traditional livestock farming, producing fewer greenhouse gas emissions and requiring less water, land, and energy. Additionally, it aligns with circular economy principles by converting organic waste into high-quality protein and its excrement (frass) into a potent biofertilizer. This project aims to establish a research incubator at INFOTEP in San Juan del Cesar (La Guajira), focused on *T. molitor* farming and the application of its byproducts. The incubator will investigate the use of frass as a biofertilizer for pumpkin crops and the characterization of organic substrates as feed sources for the insects. The methodology combines an experimental approach with controlled *T. molitor* rearing and a participatory approach through hands-on workshops promoting entomoculture as a sustainable alternative for animal and plant nutrition. Expected outcomes include active learning and the development of academic and social skills among students through the integration of technical and scientific knowledge. Additionally, direct improvements in local agricultural productivity are anticipated through the use of frass as fertilizer. The consolidation of this incubator will foster the training of innovative professionals and generate new research lines on *T. molitor*, with the long-term goal of applying findings to the local agroindustry. This will contribute to sustainable food production models and efficient resource use in agriculture.

Keywords: *Tenebrio molitor*, circular economy, biofertilizer, research seedbed, sustainability.

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria mundial enfrenta un reto creciente debido al aumento poblacional y a las limitaciones de los sistemas agroalimentarios tradicionales, que demandan grandes extensiones de tierra, agua y energía, al tiempo que generan altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (van Huis, 2013; FAO, 2021). En este contexto, los insectos comestibles han ganado atención como fuente alternativa de proteínas de alta calidad, destacándose por su menor impacto ambiental y su potencial para integrarse en esquemas de economía circular (van Huis, 2013).

Entre las especies más promisorias, el *Tenebrio molitor* ha adquirido relevancia tras ser aprobado como “nuevo alimento” por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), lo que ha permitido validar su idoneidad para consumo humano y animal (EFSA, 2021). Su perfil nutricional es competitivo: contiene entre 45–65 % de proteína en base seca con un balance adecuado de aminoácidos esenciales, 25–43 % de lípidos ricos en ácidos grasos insaturados, además de fibra dietética (quitina), vitaminas del grupo B y minerales esenciales como hierro, zinc, calcio y fósforo (Rumpold & Schlüter, 2013; Errico et al., 2022). Diversas investigaciones han identificado compuestos bioactivos con propiedades

antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias, ampliando su potencial hacia las industrias nutracéutica y farmacéutica (Browne et al., 2020; Wu et al., 2018).

Desde la perspectiva ambiental, TM se perfila como una alternativa más sostenible que la ganadería convencional. Su capacidad para valorizar subproductos agrícolas y residuos orgánicos, transformándolos en biomasa comestible, contribuye a la reducción de desperdicios y al cierre de ciclos productivos (Oonincx, 2012). Estos atributos nutricionales, funcionales y ecológicos sustentan su potencial económico en derivados de alto valor agregado como harinas proteicas, aceites, quitina, quitosano y biofertilizantes (Poveda et al., 2021; Zunzunegui et al., 2024).

Los semilleros de investigación se han consolidado como una estrategia pedagógica en la educación superior al articular estudiantes y profesores en actividades investigativas que trascienden el currículo formal. Se entienden como comunidades de aprendizaje extracurricular de participación voluntaria, donde los estudiantes, bajo la tutoría de investigadores, desarrollan competencias científicas mediante talleres, proyectos y dinámicas colaborativas (Avolio et al., 2023).

Estos espacios fomentan el espíritu científico, la curiosidad intelectual y la generación de conocimiento mediante el aprendizaje experiencial y la mentoría (Copete Cossio, 2017). Cumplen así una doble función: formar en competencias investigativas, pensamiento crítico, interdisciplinariedad y habilidades blandas como comunicación y liderazgo (Vargas-Cuentas et al., 2023), e incrementar la pertinencia social al vincular a los jóvenes investigadores con problemáticas de sus contextos. También actúan como mecanismos de relevo generacional, potenciando talentos que se integran a grupos de investigación consolidados (López Ávila et al., 2025).

En términos estructurales, los semilleros suelen conformarse por un tutor docente, un coordinador estudiantil y un grupo de estudiantes de distintos niveles formativos y disciplinas, quienes se incorporan progresivamente al quehacer investigativo. Sus actividades abarcan la revisión crítica de literatura, talleres teórico-prácticos, diseño metodológico, redacción académica y participación en eventos científicos (Gómez et al., 2019). La experiencia latinoamericana demuestra que combinan el rigor académico con la sensibilidad social, constituyéndose en plataformas de innovación y producción de conocimiento (Avolio et al., 2023; Vargas-Cuentas et al., 2023).

En este marco, surge el semillero INFOTEBRIO en el Instituto Nacional de Formación Técnica Profesional (INFOTEP) de San Juan del Cesar, concebido como estrategia pedagógica y agroindustrial que integra ciencia, sostenibilidad y empoderamiento comunitario. A través de la cría de *T. molitor*, la caracterización de sustratos locales y la evaluación del frass como biofertilizante en cultivos de ahuyama, busca generar conocimiento técnico y formar estudiantes con competencias científicas y sociales. Se plantea que el uso de alimentos locales y del frass de *T. molitor* contribuirá a la sostenibilidad agroindustrial de la región, asimismo, fortalecerá la formación investigativa de los estudiantes y promoverá prácticas agrícolas más resilientes.

METODOLOGÍA

El semillero INFOTEBRIO se estructuró bajo un enfoque de investigación formativa y aplicada, en el que los estudiantes participan activamente en el diseño, ejecución y análisis de experimentos, a la vez que se promueven procesos de transferencia de conocimiento hacia la comunidad local.

La primera línea de trabajo consistió en establecer un sistema de cría controlada de *Tenebrio molitor* bajo condiciones ambientales estables: temperatura de 28–29 °C y humedad relativa del 55–60 %. A partir de una cohorte inicial de 10,000 larvas se realizó un monitoreo semanal durante 17 semanas, abarcando las fases larvaria y pupal. Cada semana se aplicó un protocolo de conteo manual para registrar mortalidad y supervivencia, se pesó una muestra representativa de larvas para calcular el número de larvas vivas y se estimaron las tasas semanales y acumuladas. Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva y curvas de supervivencia construidas con el método de Kaplan-Meier, con el fin de identificar tendencias y periodos críticos.

La segunda línea de trabajo se enfocó en la caracterización de sustratos vegetales como alimento húmedo, utilizando zanahoria (*Daucus carota*) y ahuyama (*Cucurbita maxima*) como materias primas de comparación. El diseño experimental incluyó tres réplicas con una densidad poblacional de 3,000 larvas por unidad. Las variables evaluadas son: la tasa de supervivencia larval y el peso promedio de larvas. Los registros se realizan cada diez días mediante conteos manuales y registro del peso larval.

La tercera línea de investigación evaluó el potencial del frass de *T. molitor* como biofertilizante. El material que se recolecta de las cajas de cría y se somete a caracterización fisicoquímica, cuantificando macronutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) mediante métodos estandarizados (p. ej., AOAC, 2016). Posteriormente, el estudio se implementará bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) para evaluar el efecto de diferentes fuentes fertilizantes (frass de *Tenebrio molitor* producido con dietas de zanahoria, ahuyama y mixta, fertilizante químico 15-15-15, lombricompost y un control sin fertilización) aplicadas en dosis crecientes sobre el crecimiento y rendimiento de un cultivo hortícola. Cada tratamiento contará con 4 réplicas, totalizando 64 parcelas experimentales (16 tratamientos × 4 bloques), cada una con 5 plantas útiles para medición. Las variables de respuesta incluirán parámetros de crecimiento vegetativo, rendimiento productivo, estado nutricional foliar y propiedades edáficas, medidos periódicamente durante el ciclo del cultivo. La aplicación de los fertilizantes se realizará de forma fraccionada (40%-30%-30%) en los días 0, 30 y 60 posteriores a la siembra, manteniendo idénticas condiciones de manejo agronómico para todos los tratamientos excepto la fertilización. Los datos se analizarán mediante pruebas de normalidad, ANOVA y comparaciones post hoc con Tukey ($p < 0,05$).

De manera transversal, la metodología integró a 10 estudiantes organizados en equipos responsables de la cría de *T. molitor*, el registro de datos y el seguimiento de los cultivos en huertas caseras, además de la divulgación de resultados. Asimismo, participaron en talleres teórico-prácticos de entomocultura

orientados a formarlos como multiplicadores y capacitadores de pequeños productores locales. En estos espacios se compartieron protocolos básicos de cría y se realizaron demostraciones prácticas del uso del frass en cultivos. El objetivo de esta estrategia transversal es promover prácticas agrícolas sostenibles y fortalecer el empoderamiento comunitario en el marco de la bioeconomía circular.

RESULTADOS

La fase larvaria mostró una mortalidad progresiva pero baja, sin picos abruptos. Las tasas de mortalidad semanal se mantuvieron siempre por debajo del 0.35%. Las semanas 3, 10 y 14 registraron las mayores mortalidades (31, 25 y 22 larvas, respectivamente) (Fig1). A pesar de esto, la supervivencia acumulada nunca descendió del 97.7% (Tabla 1).

Figura 1.

Evolución temporal del número de larvas muertas por semana durante la fase larvaria.

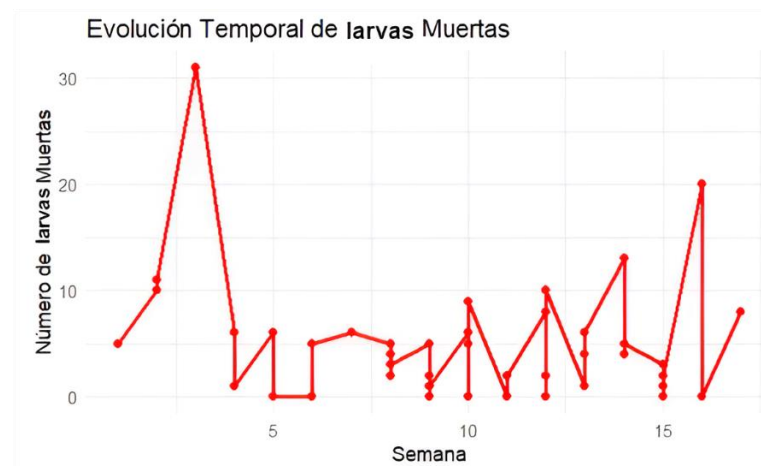


Tabla 1.

Monitoreo semanal de mortalidad y supervivencia en fase larvaria

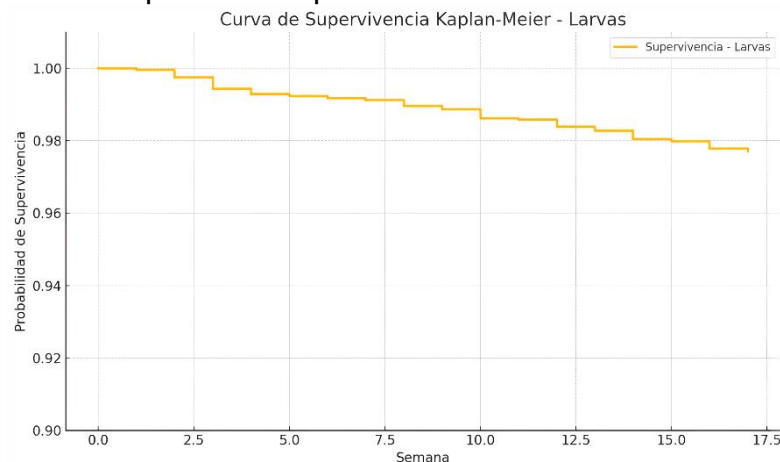
Semana	Larvas Muertas (Semana)	Larvas Vivas (Final)	Tasa Mortalidad Semanal (%)	Tasa Supervivencia Semanal (%)	Mortalidad Acumulada (%)	Supervivencia Acumulada (%)
1	5	9,995	0.05	99.95	0.05	99.95
2	21	9,974	0.21	99.79	0.26	99.74
3	31	9,943	0.31	99.69	0.57	99.43
4	14	9,929	0.14	99.86	0.71	99.29
5	6	9,923	0.06	99.94	0.77	99.23
6	5	9,918	0.05	99.95	0.82	99.18
7	6	9,912	0.06	99.94	0.88	99.12
8	17	9,895	0.17	99.83	1.05	98.95
9	8	9,887	0.08	99.92	1.13	98.87
10	25	9,862	0.25	99.75	1.38	98.62

11	4	9,858	0.04	99.96	1.42	98.58
12	20	9,838	0.20	99.80	1.62	98.38
13	11	9,827	0.11	99.89	1.73	98.27
14	22	9,805	0.22	99.78	1.95	98.05
15	7	9,798	0.07	99.93	2.02	97.98
16	20	9,778	0.20	99.80	2.22	97.78
17	8	9770	0.08	99.92	2.30	97.70

El promedio de mortalidad semanal fue de 4.4 larvas, resultando en una mortalidad acumulada total del 2.3% respecto a la población inicial de 10,000 individuos. La curva de supervivencia (Kaplan-Meier) confirmó un descenso estable y gradual, indicando un sistema de cría robusto durante esta etapa (Fig. 2).

Figura 2.

Curva de supervivencia Kaplan–Meier para larvas de *Tenebrio molitor*



La fase pupal presentó una mayor variabilidad y sensibilidad. Tras unas primeras semanas con baja mortalidad, se identificó un período crítico entre las semanas 4 y 6, donde se acumuló más del 60% de las muertes totales (Tabla 2; Fig 3).

Tabla 2.

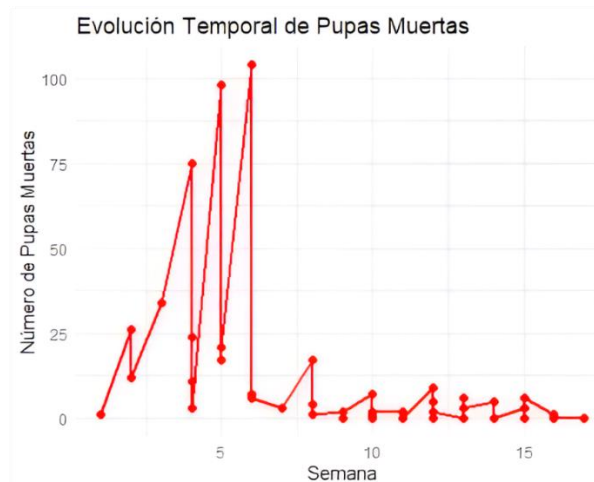
Monitoreo semanal de mortalidad y supervivencia en fase pupal

Pupas Vivas (Inicio)	Pupas Muertas (Semana)	Pupas Acumulado Muertas	Tasa Mortalidad Semanal (%)	Tasa Supervivencia Semanal (%)	Mortalidad Acumulada (%)	Supervivencia Acumulada (%)
9770	1	1	0.01	99.99	0.01	99.99
9769	38	39	0.39	99.61	0.40	99.60
9731	34	73	0.35	99.65	0.75	99.25
9697	113	186	1.17	98.83	1.90	98.10
9584	136	322	1.42	98.58	3.30	96.70
9448	117	439	1.24	98.76	4.49	95.51
9331	3	442	0.03	99.97	4.52	95.48
9328	30	472	0.32	99.68	4.83	95.17
9298	6	478	0.06	99.94	4.89	95.11
9292	11	489	0.12	99.88	5.01	94.99

9281	2	491	0.02	99.98	5.03	94.97
9279	16	507	0.17	99.83	5.19	94.81
9263	9	516	0.10	99.90	5.28	94.72
9254	5	521	0.05	99.95	5.33	94.67
9249	9	530	0.10	99.90	5.42	94.58
9240	1	531	0.01	99.99	5.43	94.57
9239	0	531	0.00	100.00	5.43	94.57

Figura 3.

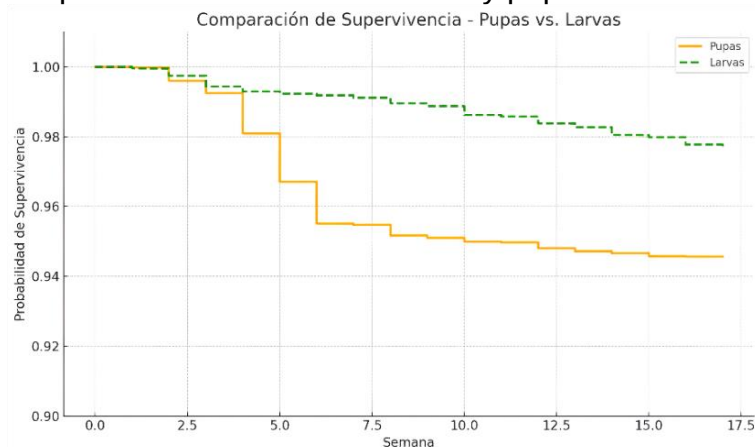
Evolución temporal del número de pupas muertas por semana durante la fase pupal



Posteriormente, la mortalidad se redujo y estabilizó por debajo del 0.2% semanal. La mortalidad acumulada en esta fase fue del 5.43% (531 pupas), con una supervivencia final del 94.57%. El análisis comparativo de las curvas de supervivencia reveló que la etapa pupal es significativamente más vulnerable que la larvaria, probablemente debido a factores fisiológicos inherentes a la metamorfosis (Fig 4).

Figura 4.

Comparación de la supervivencia entre fases larval y pupal



La segunda línea de trabajo, orientada a la caracterización de sustratos vegetales como alimento húmedo, aún no cuenta con resultados experimentales propios. No obstante, se espera que la ahuyama (*Cucurbita maxima*) pueda igualar el desempeño de la zanahoria en términos de eficiencia alimenticia, peso promedio y tasas de supervivencia, lo que validaría el uso de un insumo local y asequible para la cría de insectos en la región. En la tercera línea de trabajo, centrada en el uso del *frass* de *T. molitor* como biofertilizante, se espera que los ensayos con cultivos de ahuyama demuestren incrementos en la biomasa foliar y el número de frutos por planta.

En el plano comunitario, se espera que el semillero realice diversos talleres de entomocultura para pequeños productores, donde se compartan protocolos básicos de cría de *T. molitor* y se demuestre en campo la efectividad del *frass* como fertilizante. Con ello, se busca transferir conocimiento técnico, promover prácticas agrícolas sostenibles y fortalecer el empoderamiento comunitario en el marco de la bioeconomía circular. Este proceso de apropiación social del conocimiento permitirá que los estudiantes asuman un rol activo en la divulgación y que las comunidades rurales se beneficien directamente de los avances científicos (Vargas-Cuentas et al., 2023). Se espera que los resultados posicionen al semillero INFOTEBRIO como un modelo replicable de investigación formativa que articula ciencia, sostenibilidad y pertinencia social.

Esta expectativa de las líneas de trabajo se fundamenta en hallazgos reportados en la literatura científica, donde se ha demostrado que el enriquecimiento de la dieta mejora el perfil nutricional del TM. Por ejemplo, Ferri et al. (2024) observaron que la incorporación de cáscara de castaña incrementó tanto la supervivencia larval como la actividad antioxidante y antimicrobiana de las larvas. De manera similar, estudios con residuos vegetales, como el bagazo de zanahoria, han reportado mejoras en la supervivencia, el desarrollo y la composición nutricional de las larvas (Zielińska et al., 2015). Por otro lado, los estudios de Verardi et al. (2025) reportaron que el *frass* incrementa la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y mejora parámetros de crecimiento en cultivos hortícolas. Asimismo, se han observado efectos positivos en el desarrollo de lechuga, con mejoras en biomasa y estructura de tejidos (Errico et al., 2025). Un estudio reciente también confirma que la aplicación de *frass* favorece el rendimiento de cereales en comparación con controles sin fertilización (Zunzunegui et al., 2024).

DISCUSIÓN

Resultados técnicos: cría de *T. molitor*, sustratos y *frass*

El semillero INFOTEBRIO constituye una experiencia innovadora al articular la investigación formativa con la bioeconomía circular en un territorio de alta vulnerabilidad como San Juan del Cesar, La Guajira. Los resultados obtenidos coinciden con la evidencia que posiciona al *Tenebrio molitor* como una alternativa eficiente y sostenible en la producción de proteínas y biofertilizantes (van Huis et al., 2013; Rumpold & Schlüter, 2013; Poveda et al., 2019). La facilidad de criar el

Tenebrio molitor se corroboró mediante los elevados índices de supervivencia registrados durante la fase larvaria, donde se obtuvo una mortalidad acumulada de apenas 2,3% y una curva de supervivencia consistentemente estable. Estos resultados demuestran una alta adaptabilidad a las condiciones de cultivo, confirmando que los protocolos implementados en cuanto a temperatura (28-30°C), humedad relativa (60-65%), y composición de sustrato (salvado + zanahoria) fueron óptimos para el desarrollo larval. La robustez observada refuerza el potencial de esta especie para sistemas de producción masiva con mínimas pérdidas biológicas, lo que garantiza la eficiencia en la bioconversión de recursos y estabilidad productiva para aplicaciones en alimentación animal o agroindustria. (Ribeiro et al., 2018). En contraste, la fase pupal evidenció mayor vulnerabilidad, con una mortalidad acumulada de 5,43 % y un período crítico entre las semanas 4 y 6, consistente con lo descrito por Van Broekhoven et al. (2015). Esta susceptibilidad se asocia a los profundos procesos de reorganización metabólica y morfológica durante la metamorfosis y al estrés abiótico o canibalismo (Langston et al., 2023). La estabilización posterior indica que los individuos que superan esta etapa crítica presentan alta probabilidad de alcanzar la adultez, aspecto clave para la planificación de reproductores.

La sustitución de zanahoria por ahuyama en la dieta de *T. molitor* no solo aportaría humedad y micronutrientes esenciales, sino que también fortalecería una cadena de valor basada en productos locales. La ahuyama, rica en vitaminas A, C y E, potasio y magnesio (Jacobo-Valenzuela et al., 2011), se perfila como un sustrato viable para insectos de criadero. Por otro lado, la caracterización del frass revela un doble valor: por un lado, su aporte de macronutrientes (NPK) y micronutrientes (Zn, Cu, Mn); por otro, su carga microbiana beneficiosa que contribuye a la supresión de patógenos y la mejora de la rizósfera (Poveda et al., 2019; Errico et al., 2025; Verardi et al., 2025). Estas propiedades lo posicionan como un biofertilizante integral, con aplicaciones potenciales en programas de agricultura sostenible y de precisión.

Dimensión formativa: competencias investigativas e internacionalización

Los resultados obtenidos en el semillero INFOTEBRIO validan el papel de los semilleros de investigación como entornos formativos que potencian competencias científicas, en concordancia con lo documentado por Avolio et al. (2023). La articulación entre teoría y práctica permitió a los estudiantes desarrollar habilidades técnicas en entomocultura y aplicar el método científico en contextos reales, reforzando así el enfoque *learning-by-doing* característico de estas comunidades académicas. (López Ávila et al., 2025).

La futura participación en redes como la Red Colombiana de Semilleros de Investigación (RedCOLSI) y la Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática (RIBES) potenciaría la internacionalización temprana de los estudiantes, así como el acceso a proyectos de cooperación, convocatorias de financiación y publicaciones conjuntas (Arango et al., 2021). Este tipo de articulación ubica a INFOTEBRIO dentro de un ecosistema global de investigación aplicada, ampliando su impacto desde lo local hacia la cooperación internacional.

Dimensión comunitaria: transferencia de conocimiento y empoderamiento

En su fase inicial, el semillero INFOTEBRIO ha centrado sus esfuerzos en la formación interna mediante capacitaciones especializadas en entomocultura (Fig. 5 y 6), el establecimiento de ciclos de cría controlada de *Tenebrio molitor* y la revisión sistemática de literatura científica. Estas actividades sentaron las bases técnicas y metodológicas necesarias para futuras interacciones con comunidades agrícolas, en línea con lo documentado por Mesa Villa et al. (2020) respecto al papel de los semilleros como espacios de preparación para la transferencia de conocimiento. No obstante, se reconocen desafíos previos a la escalera de extensión, como la aceptación cultural del uso de insectos, la ausencia de marcos regulatorios y los costos de automatización, que limitan el escalamiento industrial. La continuidad del proyecto dependerá de la consolidación de alianzas con instituciones como el SENA, Agrosavia y universidades, que permitan avanzar hacia etapas de validación en campo y apropiación social del conocimiento. La experiencia de INFOTEBRIO evidencia cómo los semilleros pueden evolucionar de espacios académicos a plataformas de innovación productiva, sentando las bases para modelos replicables de bioeconomía circular en contextos rurales.

CONCLUSIONES

El semillero INFOTEBRIO constituye una experiencia innovadora en la que convergen la investigación formativa, la sostenibilidad agroindustrial y el empoderamiento comunitario en el contexto de San Juan del Cesar, La Guajira. En este sentido se espera que la caracterización de alimentos locales ofrezca alternativas viables a la zanahoria para la cría de *Tenebrio molitor*, lo cual contribuirá a reducir costos de producción y a fortalecer la disponibilidad de insumos en la región. Asimismo, la evaluación del *frass* como biofertilizante en cultivos de ahuyama se proyecta como un aporte relevante a la agricultura sostenible, al validar su potencial como enmienda orgánica rica en nutrientes esenciales.

En el plano pedagógico, INFOTEBRIO se consolida como un espacio de formación investigativa que permite a los estudiantes desarrollar competencias en análisis crítico, gestión de proyectos, divulgación científica y trabajo colaborativo, en consonancia con los hallazgos de otros semilleros de investigación en Colombia y América Latina. Finalmente, en el plano comunitario, la transferencia de conocimiento mediante talleres de entomocultura y actividades de extensión representa una oportunidad para transformar prácticas agrícolas, promover la apropiación social del conocimiento y fortalecer la bioeconomía circular en la región. El semillero INFOTEBRIO contribuye a la generación de conocimiento científico e impulsa la formación de profesionales comprometidos con la innovación y el desarrollo sostenible, lo que constituye en un modelo replicable para otros territorios rurales del país.

REFERENCIAS

- Avolio, B., Paucar-Menacho, L. M., & Pretell, C. (2023). Formation and consolidation of research seedbeds: A systematic literature review. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 22(4), 286–309. <https://doi.org/10.26803/ijlter.22.4.17>
- Browne, K., Chakraborty, S., Chen, R., Willcox, M. D. P., StClair Black, D., Walsh, W. R., & Kumar, N. (2020). A new era of antibiotics: The clinical potential of antimicrobial peptides. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19), 7047. <https://doi.org/10.3390/ijms21197047>
- Copete Cossio, H. (2017). Los semilleros de investigación, lineamiento pedagógico para edificar el aprendizaje en universidades (Vol. 16, No. 1). Universidad El Bosque. <https://doi.org/10.18270/rt.v16i1.2319>
- EFSA (European Food Safety Authority). (2021). Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food. *EFSA Journal*, 19(1), e06343. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6343>
- Errico, S., Spagnoletta, A., Verardi, A., Moliterni, S., Dimatteo, S., & Sangiorgio, P. (2022). *Tenebrio molitor* as a source of interesting natural compounds, their recovery processes, biological effects, and safety aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(1), 148–197. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12863>
- Errico, S., Spagnoletta, A., Verardi, A., Moliterni, S., Dimatteo, S., & Sangiorgio, P. (2025). Valorization of *Tenebrio molitor* frass in horticulture: Effects on lettuce growth and quality traits. *Agriculture*, 15(16), 1731. <https://doi.org/10.3390/agriculture15161731>
- Ferri, M., Rondoni, G., & Conti, E. (2024). Functional properties of *Tenebrio molitor* larvae fed with chestnut pericarps: Antioxidant and antimicrobial activities. *Insects*, 15(2), 245. <https://doi.org/10.3390/insects15020245>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). Looking at edible insects from a food safety perspective: Challenges and opportunities for the sector. <https://www.fao.org/3/cb4094en/cb4094en.pdf>
- Gómez, Ó., Morales, M., & Plata, P. (2019). Transferencia de conocimiento e investigación formativa: lecciones aprendidas y desafíos para los semilleros de investigación. *Revista Palobra, palabra que obra*, 19(2), 203–221. <https://doi.org/10.32997/2346-2884-vol.19-num.2-2019-2551>
- Jacobo-Valenzuela, N., Maróstica-Junior, M. R., Zazueta-Morales, J. de J., & Gallegos-Infante, J. A. (2011). Physicochemical, technological properties, and health-benefits of *Cucurbita moschata* Duchense vs. Cehualca: A Review. *Food Research International*, 44(9), 2587–2593. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.039>
- Langston, K., Selaledi, L., & Yusuf, A. (2023). Evaluation of alternative substrates for rearing the yellow mealworm *Tenebrio molitor* (L.). *International Journal of Tropical Insect Science*, 43, 1523–1530. <https://doi.org/10.1007/s42690-023-01061-z>
- López Ávila, C. R., Posada Silva, W. Y., & Franco Jiménez, A. M. (2025). Los semilleros de investigación y la formación investigativa en una universidad pública de Colombia. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 30(106), 421–448. <https://ojs.rmie.mx/index.php/rmie/article/view/1206>

- Mesa Villa, C., Gómez-Giraldo, J. S., & Montes, R. (2020). Becoming language teacher-researchers in a research seedbed. *Profile: Issues in Teachers' Professional Development*, 22(1), 159–173. <https://doi.org/10.15446/profile.v22n1.78806>
- Oonincx, D. G. A. B. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans – A life cycle assessment. *PLoS ONE*, 7(12), e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>
- Poveda, J., Jiménez-Gómez, A., Saati-Santamaría, Z., Usategui-Martín, R., Rivas, R., & García-Fraile, P. (2019). Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance-inductor in plants. *Applied Soil Ecology*, 142, 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.016>
- Poveda, J. (2021). Insect frass in the development of sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41, Article 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00656-x>
- Ribeiro, N., Abelho, M., & Costa, R. (2018). A review of the scientific literature for optimal conditions for mass rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science*, 53(4), 434–454. <https://doi.org/10.18474/JES17-67.1>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802–823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- Van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Growth performance and feed conversion efficiency of mealworms. *PLoS ONE*, 10(12), e0144601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>
- van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security (FAO Forestry Paper No. 171). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Vargas-Cuentas, N. I., Martínez, E., González, M., León, I., Mamani, R., Guzmán, A., Condori, R. P., López, K., Santos, J., Panca, M., Mora, L., Zubiarte, M., Ariñez, A., & Roman-Gonzalez, A. (2023). Evaluating the outcomes of a scientific seedbed program for enhancing research capacities in young students. *International Journal of ADVANCED AND APPLIED SCIENCES*, 10(5), 211–220. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2023.05.025>
- Verardi, A., Sangiorgio, P., Della Mura, B., Moliterni, S., Spagnoletta, A., Dimatteo, S., Bassi, D., Cortimiglia, C., Rebuzzi, R., Palazzo, S., & Errico, S. (2025). *Tenebrio molitor* Frass: A Cutting-Edge Biofertilizer for Sustainable Agriculture and Advanced Adsorbent Precursor for Environmental Remediation. *Agronomy*, 15(3), 758. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030758>
- Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K., & Jakubczyk, A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition and antioxidant properties. *Food Research International*, 77, 460–466. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008>
- Zunzunegui, I., Martín-García, J., Santamaría, Ó., & Poveda, J. (2024). Analysis of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) frass as a resource for a sustainable agriculture in the current context of insect farming industry growth. *Journal of Cleaner Production*, 433, 142608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142608>