

ACTA NOVA

Revista de Ciencias y Tecnología

¹Centro de Investigación de Ciencias Exactas e Ingenierías (CICEI), Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería. Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Sede Cochabamba, c Márquez s/n, Zona Tupuraya, Cochabamba, Bolivia

²Hacienda Pairumani, Fundación Patiño, Av. Pairumani, Cochabamba, Bolivia

³Centro de Educación Alternativa Tata Esteban, UE Juan José Carrasco, Tiraque, Bolivia

Autor para correspondencia:
Alejandra Ledezma Zurita
alejandra.ledezma@ucb.edu.bo

Evaluación participativa agroambiental de cuatro formulaciones de biofertilizante líquido (biol) aplicadas a cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*) en Tiraque, Cochabamba, Bolivia

*Participatory agro-environmental assessment of four biol formulations used in lettuce (*Lactuca sativa*) and radish (*Raphanus sativus*) in Tiraque, Cochabamba, Bolivia*

Alejandra Ledezma Zurita¹, Adriana Gutierrez Sequeiros¹, Helga Gruberg Cazón¹, Mauricio Azero Alcocer² y Omar Martínez Cueto³

Resumen: Las prácticas agrícolas inadecuadas en el manejo y uso de los fertilizantes químicos generan impactos negativos ambientales, económicos y sociales como la contaminación de aguas subterráneas, pérdida de fertilidad de suelos, y dependencia de insumos externos entre otros. Como una alternativa más sostenible, la agroecología promueve el uso de biofertilizantes líquidos, como el biol, el cual se obtiene a través de la fermentación anaeróbica de residuos orgánicos del sector agroalimentario. Sin embargo, en Bolivia las comunidades utilizan diferentes formulaciones y hasta la fecha existen pocos estudios que respalden su eficiencia y cuantifiquen sus efectos en variables agronómicas de los cultivos. En este contexto, se evaluaron cuatro formulaciones de biol utilizadas por los productores de la comunidad de Virvini (Tiraque), en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*). Estas formulaciones fueron evaluadas mediante la metodología de Investigación-Acción Participativa involucrando a estudiantes del Centro de Educación Alternativa Tata Esteban en todas las etapas de la investigación hasta el análisis de las variables agronómicas en campo. Los seis tratamientos evaluados conformaron un testigo sin enmiendas (T₀), un fertilizante químico granulado 20-20-0 (T₁) y una formulación base de biol utilizada por los productores (T₂), a la cual se adicionó chancaca (T₃), leche (T₄) y estiércol porcino (T₅). Después de evaluar ocho variables agronómicas, el análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre tratamientos. En rábano, los tratamientos con biol + estiércol porcino (T₅) y biol + chancaca (T₃) lograron mayores rendimientos, promedios en peso y diámetro de raíz. En

lechuga, el biol de los productores (T₂) presentó los mejores resultados en todas las variables evaluadas.

Palabras clave: Agroecología, biofertilizantes, biol, rendimiento

Abstract: Inadequate agricultural practices in the management and use of chemical fertilizers generate negative environmental, economic, and social impacts, such as groundwater contamination, loss of soil fertility, and dependence on external inputs, among others. As a more sustainable alternative, agroecology promotes the use of liquid biofertilizers, such as *biol*, which are obtained through the anaerobic fermentation of organic residues from the agri-food sector. However, in Bolivia, communities employ diverse formulations, and to date there are few studies that support their efficiency and quantify their effects on agronomic variables in crops. In this context, four *biol* formulations used by producers in the community of Virvini (Tiraque) were evaluated in lettuce (*Lactuca sativa*) and radish (*Raphanus sativus*) crops. These formulations were assessed using a Participatory Action Research approach, involving students from the Tata Esteban Center for Alternative Education at each stage of the research process. The six treatments consisted of an untreated control (T₀), a granular chemical fertilizer 20-20-0 (T₁), and a base *biol* formulation used by producers (T₂), which was supplemented with *chancaca* (T₃), milk (T₄), and swine manure (T₅). After evaluating eight agronomic variables, statistical analysis revealed significant differences among treatments. In radish, the *biol* + swine manure (T₅) and *biol* + *chancaca* (T₃) treatments achieved the highest yields, with greater mean root weight and diameter. In lettuce, the

producers' *biol* (T_2) showed the best performance across all evaluated variables.

1. Introducción

La agricultura es una de las actividades más importantes para los seres humanos, tanto por su contribución a la producción de alimentos y servicios ecológicos esenciales, como por su gran extensión territorial en el planeta (Sarandón, 2020). A lo largo del tiempo ha sido responsable de la transformación de ecosistemas naturales en agroecosistemas, generando impactos por una explotación excesiva de los recursos (Reyes y Cano, 2022). Según Caldas (2013), esto se debe en parte a que el objetivo de la producción agrícola convencional es el de lograr altos rendimientos de alimentos sin considerar la sostenibilidad. Este tipo de agricultura conlleva a impactos negativos que afectan tanto al medio ambiente como a la economía y sociedad (Nicholls y Cornejo, 2013).

En contraposición, la agroecología surge como una alternativa más sostenible, promoviendo prácticas que armonizan la producción de alimentos con la conservación del ambiente, y con el bienestar y la equidad social (Sevilla y Soler, 2010). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) argumenta que “la agroecología puede salvaguardar los recursos naturales, promover la adaptación y mitigación al cambio climático, fomentar y realzar la salud de los agro-ecosistemas” (FAO, 2019, p.8). Esto la posiciona como una vía más sostenible para alcanzar la soberanía alimentaria (Gruberg, 2023).

Además, la agroecología ofrece un enfoque transdisciplinario para satisfacer las necesidades y aportar soluciones mediante la co-creación de conocimientos, el intercambio de conocimientos y la innovación. Así, esta práctica productiva combina conocimientos locales y científicos mediante el diálogo de saberes (Colmenares, 2012). Es en este sentido que la Investigación-Acción Participativa (IAP) surge como una herramienta útil para alcanzar la transdisciplina e implementar prácticas agroecológicas, promoviendo la participación activa de agricultores y comunidades en la generación de conocimiento y el cambio social a través de un proceso participativo y democrático (Soriano *et al.*, 2012). De esta manera, la agroecología se presenta como una alternativa de integración y acercamiento entre el conocimiento tradicional y el conocimiento científico, fomentando la participación de los agricultores en el proceso de investigación (Cárdenas, 2009).

De acuerdo con FAO (2019), es fundamental que la agricultura del futuro se base en prácticas agroecológicas. Dentro de las alternativas agroecológicas, los biofertilizantes líquidos ocupan un lugar central, siendo el *biol* uno de los más utilizados en comunidades rurales de

Key words Agroecology, biofertilizers, *biol*, yield.

Bolivia. Este biofertilizante se obtiene por la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos, que genera compuestos solubles y bioactivos (Cando y Malca, 2016). Los beneficios de su uso han sido registrados por algunos autores. Por ejemplo, Aguado-Santacruz (2012) indica que es posible aumentar los rendimientos de los cultivos de ciclo corto desde un 15% hasta un 50% aplicando *biol*. En esta línea, Restrepo (2001) y Martínez (2021) afirmaron que con la aplicación de *biol* se puede fomentar el crecimiento en las plantas al estimular procesos metabólicos y mejorar la condición física, química y biológica del suelo. Así mismo, explican que se puede disminuir la incidencia de enfermedades patógenas en el cultivo sin generar ningún tipo de impacto negativo en el ambiente. Allouzi *et al.* (2022) señalan que el *biol* favorece la actividad microbiana del suelo y la eficiencia en la absorción de nutrientes, aunque su efecto depende de factores como la dosis, el momento de aplicación y la fuente de energía utilizada en su elaboración. A causa de las escasas investigaciones sobre la producción y aplicación del *biol* en los diferentes cultivos en el municipio de Tiraque se elabora y aplica con base en la experiencia empírica del agricultor y de algunas Organizaciones No Gubernamentales (ONGs).

Es con este criterio que se propusieron tres variaciones a las formulaciones del *biol* realizado por productores (T_2) de la comunidad de Virvini en el municipio de Tiraque: agregando miel de caña no destilada (chancaca) (T_3), leche (T_4) y estiércol porcino (T_5). Así mismo, se contó con un testigo (T_0). Se incorporó un tratamiento aplicando fertilizante químico 20-20-0 (20% de nitrógeno, 20% de fósforo en forma de P_2O_5 y 0 % de K_2O) (T_1). Se evaluó el efecto de las distintas formulaciones en las variables agronómicas en un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*) realizando un proceso participativo con estudiantes del Centro de Educación Alternativa Tata Esteban (CEATA) en el municipio de Tiraque del departamento de Cochabamba.

Si bien desde la década de los 80s las comunidades rurales de Bolivia utilizan diferentes tipos de biofertilizantes, hasta la fecha se cuenta con pocos estudios científicos que respalden la eficiencia del *biol* y cuantifiquen sus efectos en el municipio de Tiraque (Corrales y Maldonado, 2019; Franco *et al.*, 2004; Fundación Agrecol Andes, 2020). Según Nicholls y Cornejo (2013), los estudios comparativos entre enmiendas orgánicas como el *biol*, frente a fertilizantes químicos de uso agrícola son escasos y esto lleva a que los productores y ONGs locales no puedan tomar decisiones basadas en evidencias, y en la mayoría de los casos opten por fertilizantes químicos de uso agrícola a expensas de la salud ambiental.

El objetivo general del presente estudio fue el de evaluar el efecto de diferentes formulaciones de biol utilizadas por los productores de la comunidad de Virvini (Tiraque) en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*), comparando su desempeño con fertilizantes químicos convencionales, a fin de contribuir al desarrollo de prácticas agroecológicas más sostenibles.

2. Sustento teórico

El presente acápite aborda los principales conceptos en los que se enmarca la investigación. Primero se aborda la problemática del uso excesivo de los fertilizantes químicos, para darle paso a la agroecología como alternativa más sostenible a partir de la elaboración y uso de las enmiendas orgánicas. Finalmente, se explora el biol como fertilizante orgánico.

2.1 El uso excesivo de fertilizantes químicos

Los fertilizantes son compuestos de origen natural o sintético (artificial), ampliamente utilizados en el sector agrícola, con el fin de proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios para su desarrollo adecuado, crecimiento u otros procesos (López, 2022). En los últimos años, el uso excesivo e inapropiado de fertilizantes químicos de uso agrícola a nivel mundial ha generado una situación insostenible, provocando impactos ambientales y a la salud humana (Mantuano, 2023). Los agricultores, al enfocarse en aumentar la productividad y maximizar las ganancias económicas, pasan por alto las vulnerabilidades ambientales y sociales que la aplicación de estos ocasiona (Paco, 2019). Entre los impactos negativos se encuentra la degradación del suelo, toxicidad, eutrofización, pérdida de fertilidad, contaminación de aguas subterráneas y pérdida de nutrientes, entre otros (Rojas y Ortuño, 2007).

Según Gutiérrez *et al.* (2008), la agricultura del futuro debe estar basada en prácticas agroecológicas que disminuyan la dependencia hacia insumos externos. De esta manera se busca la creación de agroecosistemas sostenibles, donde prima el reciclaje de nutrientes. Dentro de las prácticas agroecológicas, los abonos orgánicos juegan un papel importante para mantener o mejorar la fertilidad de los suelos (Domínguez, 2010). Cuando estas enmiendas son aplicadas de manera correcta, pueden mejorar las características químicas, físicas y biológicas del suelo y aumentar el rendimiento de los cultivos sin generar daños al ambiente ni a la salud (Escardón *et al.*, 2010).

2.2 Uso del biol como fertilizante

2.2.1 Definición y proceso de elaboración

El biol se obtiene de la fermentación anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de restos orgánicos de animales y

vegetales. Este proceso es mediado por un consorcio de microorganismos anaeróbicos que transforman estos restos en compuestos solubles y bioactivos (Cando y Malca, 2016; Infante y Fuentes, 2016). De acuerdo con Allouzi *et al.* (2022), estos insumos favorecen la actividad microbiana del suelo, incrementan la eficiencia en la absorción de nutrientes y contribuyen a la salud edáfica a largo plazo, además de reducir la dependencia de insumos químicos. Sin embargo, los autores señalan que el efecto agronómico del biol está relacionado con factores como la dosis aplicada, momentos de aplicación, insumos utilizados en la elaboración y condiciones locales edafoclimáticas.

2.2.2 Composición química y bioactiva

Según Chanduvi *et al.* (2023), el biol es una fuente de nitrógeno, amoníaco, hormonas vegetales (auxinas y giberelinas), vitaminas y aminoácidos, los cuales regulan el metabolismo de las plantas y favorecen procesos clave como el enraizamiento, el crecimiento, la floración, la germinación de semillas y la resistencia a plagas. De acuerdo con Méndez *et al.* (2018), los efluentes líquidos del biol contienen macronutrientes que se liberan de la materia orgánica descompuesta durante la fermentación. Entre ellos se encuentra el nitrógeno (N), necesario para la síntesis de clorofila y proceso de la fotosíntesis. El fósforo (P) aporta a la maduración de los frutos y promueve el crecimiento de las plantas. El potasio (K), responsable de la multiplicación celular y la formación de tejidos más resistentes a la sequía y heladas. Según Ochoa *et al.* (2020) la composición del biol contiene macronutrientes esenciales, alcanzando valores promedios de 2,6 % de N, 1,5 % de P, 1 % de K y alrededor de 8,5 % de materia orgánica (MO), elementos clave para la nutrición de las plantas. Sin embargo, estos valores pueden variar según los insumos empleados y el proceso de fermentación realizado.

La elaboración del biol es un proceso sencillo y económico que puede realizarse con insumos locales, como estiércol de animales, leche y cenizas (Torres *et al.*, 2019). Para su preparación, se pueden emplear distintos tipos de estiércoles, como los de bovinos, ovinos, porcinos, camélidos o cuyes. Montesinos (2013) señala que los insumos esenciales del biol incluyen el estiércol de animales, que aporta los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, y las cenizas, que suministran minerales. Además, se añade chancaca como fuente de energía. También se incorporan efluentes líquidos domésticos, que pueden sustituirse por leche o borra de chicha, contribuyendo al proceso de fermentación y al aporte de microorganismos (Fundación Agrecol Andes, 2020).

2.2.3 Aplicaciones y limitaciones

La aplicación de biol en cultivos podría variar según las preferencias del productor o las recomendaciones técnicas específicas. Es importante destacar que el biol no debe ser aplicado directamente sobre el follaje de las plantas sin diluir previamente. La proporción adecuada del biol en relación con el agua suele oscilar entre el 5% y el 25%, y se recomienda aplicarlo de 2 a 4 veces durante el desarrollo de las plantas, ajustando la dosis según el ciclo productivo (Restrepo y Hensel, 2009). De igual manera, AGRUCO (2010), sugiere para hortalizas como el rábano y la lechuga una dosis de 1,5 L de biol por 13,5 L de agua en una mochila de 15 L, con un intervalo de aplicación de 10 días. Altieri y Nicholls (2000) sostienen que, si bien el biol es un biofertilizante muy valioso, no sustituye por completo los aportes nutricionales del compost, estiércoles u otras enmiendas orgánicas. Es recomendable integrarlo con otras prácticas como la rotación de cultivos, cobertura vegetal y manejo de residuos orgánicos, en el marco de un sistema agroecológico sostenible (Altieri y Nicholls, 2000).

2.3 Investigación-Acción Participativa

La Investigación-Acción Participativa (IAP), es una metodología que se enfoca en realizar investigaciones de manera colaborativa al integrar el conocimiento de los agricultores o comunidades y fomentando su participación activa en el proceso (Martínez, 2021). Esta metodología representa una nueva forma de enfrentar las necesidades sociales actuales, al involucrar la participación de los agricultores junto con facilitadores o investigadores en la búsqueda de transformar la realidad social proponiendo estrategias sostenibles (Colmenares, 2012). Según mencionan Ortiz y Borjas (2008), este tipo de metodología busca empoderar a los agricultores o comunidades, dado que al ser parte en todas las etapas de investigación tienen el rol de co-investigadores de su propia realidad, esto conlleva a que tengan acceso a una nueva información combinada con sus conocimientos ancestrales que mejoran la toma de decisiones y los procesos de reflexión y acción.

En este estudio se adoptó un enfoque de IAP, con el fin de generar procesos de co-aprendizaje entre los conocimientos de productores locales y estudiantes. Este enfoque permite no solo evaluar cada proceso investigativo, sino también fortalecer el conocimiento práctico de los participantes, legitimando sus saberes y fomentando la apropiación de tecnologías agroecológicas (Gruberg *et al.*, 2022).

3. Metodología

El estudio se realizó en el municipio de Tiraque-Cochabamba (Bolivia) en dos ciclos experimentales consecutivos bajo condiciones similares de suelo y de manejo en el invernadero del CEATA. El primer ciclo, correspondiente al cultivo de rábano, se realizó en 2022. Posteriormente, en 2023 se realizó el segundo ciclo experimental en cultivo de lechuga. Se determinó que se trata de un suelo franco arenoso con 4,27% de MO (Método Walkley-Black).

El estudio fue de tipo experimental con enfoque participativo (IAP), y buscó establecer relaciones entre las formulaciones de biol y las variables agronómicas de los cultivos. Simultáneamente, buscó promover procesos de aprendizaje y co-construcción de conocimiento con los actores locales. En el primer ciclo experimental se involucró a los estudiantes del CEATA una vez determinado el cultivo a ser estudiado por la universidad. Mientras que en el segundo ciclo se involucró a los estudiantes desde la selección del cultivo. En ambos casos, la participación de los estudiantes concluyó luego de la medición de las variables agronómicas en campo.

Las formulaciones se elaboraron a partir de un biol base producido por productores de Tiraque (T_2), compuesto por estiércol de vaca y estiércol de oveja, alfalfa, borra de chicha y efluentes líquidos domésticos. A partir de esa base se propusieron tres tratamientos adicionales: biol enriquecido con chancaca (T_3), leche (T_4) y estiércol porcino (T_5). Así mismo, se contó con un tratamiento testigo (T_0) y un tratamiento aplicando fertilizante químico 20-20-0 (20% de nitrógeno, 20% de fósforo en forma de P_2O_5 y 0 % de K_2O) (T_1).

El diseño experimental aplicado fue Completamente al Azar (DCA), con seis tratamientos y tres repeticiones, implementado en una parcela experimental única. De acuerdo con el esquema presentado en la Figura 2, la parcela tuvo dimensiones de 18 m de largo y 8 m, manteniendo este tamaño constante para ambos ciclos experimentales. Para el cultivo de rábano se estableció una distancia de 25 cm entre hileras y 5 cm entre plantas. Cada unidad experimental, con un área de 4,30 m² y ocho hileras, presentó un total de 344 plantas, teniendo así una densidad de siembra de 80 plantas·m⁻². Para el cultivo de lechuga se estableció un área de 3,80 m² conformada por siete hileras separadas a 0,30 m, con 0,25 m entre plantas. Se establecieron 9 plantas por hilera, totalizando 63 plantas por parcela, obteniendo una densidad de siembra de 16,6 plantas·m⁻².

La investigación siguió el método hipotético-deductivo, el cual parte de una hipótesis planteada previamente y busca su validación mediante la experimentación, particularmente en la elaboración y aplicación de las distintas formulaciones de biol. Así mismo, el estudio se

desarrolló con un enfoque descriptivo, basado en la recolección de datos de campo para la evaluación de las variables agronómicas analizadas.

Etapas 1: Descripción de la formulación y del uso del biol que actualmente desarrollan los productores en la comunidad de Virvini

a) Recopilación de información

En el desarrollo de esta etapa se definieron las preguntas para realizar entrevistas exploratorias a seis productores clave de la comunidad de Virvini, previo consentimiento informado, conforme a principios éticos de investigación participativa. En estas entrevistas, se preguntó a cada productor sobre el uso de biol en la producción de sus cultivos, su experiencia con los biofertilizantes, mejoras en la calidad de sus productos, si emplean la receta proporcionada por la ONG o si la modifican con insumos propios. Finalmente, se indagó sobre la preparación del biol, su forma de aplicación y el momento de uso en los cultivos.

b) Levantamiento de información inicial

En la segunda etapa se realizó una encuesta estructurada a seis productores clave para evaluar el proceso del biol que elaboran. Las preguntas abordaron aspectos relacionados con la elaboración del biol, los insumos y materiales utilizados, la calidad de los productos obtenidos, así como la frecuencia y los momentos de aplicación. La encuesta se realizó mediante la técnica de muestreo “bola de nieve”, un muestreo no probabilístico en el que los productores inicialmente seleccionados refirieron a nuevos participantes entre sus conocidos (Ochoa, 2015).

Se optó por esta técnica debido a que se trata de una población específica con conocimiento especializado, cuyo acceso resulta limitado mediante métodos probabilísticos. El proceso de incorporación de participantes se detuvo cuando la información recopilada comenzó a ser reiterativa y no se identificaron nuevos aportes relevantes sobre la elaboración y aplicación del biol, considerándose alcanzada la saturación de la información. Todos los productores referidos aceptaron participar y compartieron información sobre la elaboración y aplicación del biol.

Etapas 2: Implementación de un proceso participativo con estudiantes del CEATA para la elección de un cultivo de hoja y ensayo de aplicación del biol

a) Motivación y presentación de la investigación a los estudiantes

Se realizó un taller con veinte estudiantes de 18 a 19 años (16 eran mujeres y 4 varones). El taller tuvo como propósito fomentar el interés y la participación de los estudiantes en el proceso de investigación, destacando los

principios de la IAP, los impactos ambientales del uso de fertilizantes químicos y los beneficios del biol como alternativa sostenible. Así mismo, se presentaron los objetivos, la metodología y el diseño experimental, lo que permitió a los participantes comprender el alcance de la investigación, sus roles y responsabilidades (Unida, 2013).

b) Diagnóstico participativo

El diagnóstico participativo se realizó para el cultivo de hoja, después de la primera experiencia con rábano con el fin de fomentar una mayor participación de los estudiantes en el diseño experimental. Para llevar adelante el diagnóstico participativo se realizó una encuesta cerrada estructurada a veinte estudiantes con el objetivo de implementar una estrategia pedagógica que impulsara el proceso de aprendizaje. Se buscó además alinearla con los intereses de los estudiantes, de modo que resultara beneficioso para su aprendizaje. La iniciativa se llevó a cabo con la finalidad de permitir que los estudiantes asumieran la responsabilidad y motivación en el proceso. La encuesta constó de dos preguntas. La primera pregunta permitía a los estudiantes elegir entre dos especies de cultivo de hoja: lechuga (*Lactuca sativa*) y acelga (*Beta vulgaris*). La segunda pregunta indagó las razones por las cuales preferían cultivar la hortaliza seleccionada para la aplicación de las formulaciones de biol.

Etapas 3: Implementación de un ensayo experimental para evaluar los efectos de diferentes formulaciones de biol

a) Preparación del terreno y elaboración de las formulaciones de biol

Se realizaron las actividades de campo para la preparación de las distintas formulaciones del biol, el monitoreo del desarrollo de los cultivos y la evaluación del desarrollo del cultivo. Esta evaluación se realizó por medio de ocho variables agronómicas para cada cultivo. Para el cultivo de lechuga se determinaron las siguientes variables: altura de planta, área foliar, diámetro del cuello, número de hojas, longitud de raíz, diámetro de corona, peso de raíz e índice de área foliar. Para cultivo de rábano se determinaron las siguientes variables: altura de planta, profundidad de raíz, diámetro de raíz, peso de raíz, área foliar, índice de área foliar, rendimiento de follaje y rendimiento de raíz.

Según una investigación de Altieri y Nicholls (2000), los efectos del biol varían según la fuente de energía utilizada en su elaboración. Para la elaboración de las formulaciones del biol propuestas en esta investigación se combinó en diferentes cantidades los insumos empleados por los productores, así como las fuentes de energía (estiércol) y otros materiales disponibles en la zona como chancaca, la cual es una fuente de energía para los microorganismos, y leche de vaca, la cual aporta

proteínas, aminoácidos, calcio y otros nutrientes necesarios para los microorganismos presentes en el proceso de fermentación. Tanto los insumos como la dosis aplicada al 10% fueron recomendados en capacitaciones a los productores por La fundación Abril, el Programa

Solidagro Bolivia, conformado por el Instituto de Capacitación Campesina (INCCA) y la fundación AGRECOL Andes en el municipio de Tiraque. Se llevó a cabo el proceso de elaboración de las distintas formulaciones de biol con la participación de los estudiantes del CEATA.

Tabla 1. Composición de las formulaciones de biol evaluadas

Biol básico (T ₂)	Biol con adición de chancaca (T ₃)	Biol con adición de leche (T ₄)	Biol con adición de estiércol porcino (T ₅)
● Bidón de 30 L ● Manguera ● Agua 20 L ● Mezcla de estiércol de oveja 50% y estiércol de vaca 50% (4 kg) ● Efluentes líquidos domésticos (300 ml) ● Ceniza (300 g) ● Borra de chicha (750 ml) ● Alfalfa u otras leguminosas (una bolsa)	T ₂ + Chancaca (1,5 kg)	T ₂ + Leche (300 ml)	T ₂ + Estiércol porcino (4 kg)

Cada formulación se elaboró en biodigestores de 30 L, equipados con una válvula en la tapa conectada con una manguera que desembocaba en botellas con agua, lo que permitió la salida del biogás y evitó el ingreso de aire. En la Figura 1, se muestran los biodigestores aislados con cartón para protegerlos del frío, y cubiertos con plástico transparente para favorecer la entrada de radiación solar y acelerar la fermentación. Se incluyó un tratamiento testigo (T₀) sin fertilización y un tratamiento con fertilizante químico 20-20-0 (T₁) aplicando 15 g por hilera con separación de 0,50 m entre parcelas para evitar contaminación cruzada.



Figura 1. Biodigestores con las formulaciones de biol

Posteriormente, se realizó la preparación del suelo con la participación de los estudiantes del CEATA, cinco días antes del trasplante con herramientas manuales. Después, se regó por inundación en surcos con el fin de obtener un suelo más suelto y finalmente se realizó la nivelación del terreno. Las parcelas se delimitaron con estacas, hilo plástico y herramientas manuales.

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar, con seis tratamientos y tres repeticiones, totalizando 18 unidades experimentales. Cada parcela tuvo dimensiones de 1,90 × 2,00 m, con separación de 0,50 m entre ellas (Figura 2).

En el transcurso de esta fase, se procedió a la preparación de las soluciones de biol junto con los estudiantes del CEATA. El biol se filtró con tela fina y posteriormente se diluyó al 10% (600 mL de biol en 6 L de agua). La solución se aplicó de manera directa a los cultivos mediante una mochila aspersora, realizándose tres aplicaciones por tratamiento. En el cultivo de lechuga se utilizó un volumen de 6,6 L de solución por parcela, equivalente a una dosis de 1,74 L m⁻² de solución (0,16 L m⁻² de biol), considerando un área de 3,8 m² por parcela. En el cultivo de rábano, la aplicación se realizó en un área de 4,30 m², utilizando una dosis equivalente a 1,53 L m⁻² de solución (0,14 L m⁻² de biol) por parcela.

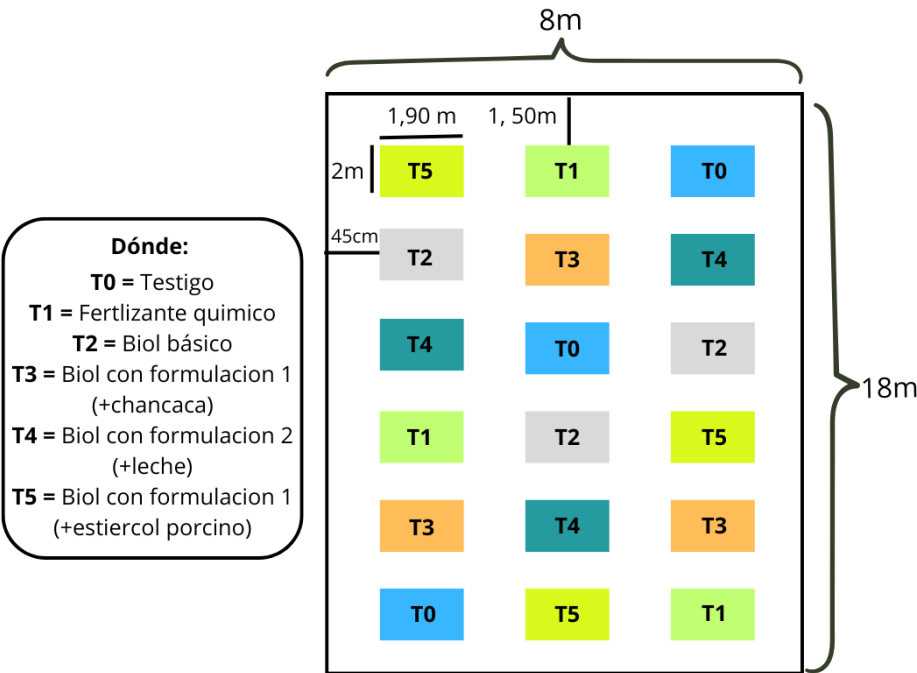


Figura 2. Esquema de distribución de tratamientos

b) Primera y segunda aplicación de las distintas formulaciones

Cada tratamiento recibió tres aplicaciones de las soluciones de biol mediante mochila aspersora, procurando cubrir uniformemente la parte aérea de las plantas. En lechuga, la primera aplicación se realizó en el estadio de 7–9 hojas verdaderas, y la segunda en el estadio de 12–13 hojas. En rábano, la primera dosis se efectuó en el estadio de 2–4 hojas verdaderas, y la segunda en el estadio de 5 hojas verdaderas.

c) Labores culturales dentro del desarrollo de los cultivos

Durante el ciclo de cultivo de lechuga y rábano se efectuaron riegos ligeros cada dos días, orientados a prevenir el estrés hídrico. La cosecha de lechuga se realizó a los 50 días después del trasplante, conforme a su ciclo de crecimiento. En este momento se evaluaron las variables agronómicas: altura de planta, longitud de raíz, diámetro de raíz, peso de raíz, área foliar e índice de área foliar (IAF). La cosecha de rábano se efectuó a los 30 días después de la siembra, evaluando las variables agronómicas: altura de planta, profundidad de raíz, diámetro de raíz, peso de raíz, área foliar, IAF, rendimiento de raíz y rendimiento de follaje (Aker, 2020).

Etapas 4: Evaluación de la respuesta agronómica de lechuga y rábano ante la aplicación de diferentes formulaciones de biol

a) Análisis estadístico

En esta etapa se realizó el análisis estadístico y la interpretación de los datos obtenidos en campo. Las variables agronómicas se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan para la comparación de medias. El procesamiento estadístico se efectuó con el software SPSS (Statistical Package for Social Sciences).

b) Normalización de variables agronómicas

Con el fin de comparar las ocho variables agronómicas evaluadas, se procedió a la normalización de los valores obtenidos. La normalización permite transformar los datos en una escala común, eliminando redundancias y mejorando la comparabilidad entre variables con diferentes unidades de medida (Wrobel, 2023). Este procedimiento permitió expresar todas las variables en una escala estandarizada de 0 a 1, facilitando así su comparación y análisis conjunto.

Se aplicó la fórmula de normalización:

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Donde X' representa el valor promedio inicial de cada variable, mientras que X_{min} y X_{max} corresponden a los valores mínimo y máximo en el rango de dicha variable.

4. Resultados

En este acápite se presentan los resultados del proceso participativo y posteriormente, se presentan los resultados normalizados del análisis integral de las variables agronómicas en cultivos de lechuga y rábano.

4.1 Proceso participativo con los estudiantes del CEATA

Los estudiantes demostraron un alto nivel de comprensión y motivación hacia el tema. A través de la elaboración de un mapa conceptual, fueron capaces de identificar y relacionar los conceptos de la IAP, su objetivo y los pasos necesarios para su implementación, lo que permitió consolidar un grupo comprometido y bien informado sobre este enfoque metodológico. Este proceso contribuyó al fortalecimiento del aprendizaje colaborativo y a la formación de una base sólida de conocimiento que facilitó la participación activa de los estudiantes en el proceso.

Así mismo, los estudiantes lograron identificar cómo el biol, un fertilizante orgánico derivado de la fermentación

de residuos orgánicos podría construir una alternativa viable para promover la sostenibilidad ambiental en la agricultura. A través de su aplicación, los estudiantes evidenciaron los beneficios del biol tanto en el desarrollo de los cultivos como en la conservación del medio ambiente, destacando su capacidad para reducir la dependencia de fertilizantes químicos y mitigar los efectos nocivos asociado con estos productos sintéticos. Esto se alinea con los principios de la IAP, los cuales muestran que es un método de investigación que pone énfasis en la participación activa y la acción colectiva. A través de la colaboración, la reflexión y prácticas inclusivas, se busca fomentar el cambio y desarrollar conocimiento científico de manera más integral (Martínez, 2021).

En el proceso participativo con los estudiantes del CEATA para la elección del cultivo de hoja, se consideró la decisión de los estudiantes para determinar en qué cultivo se aplicarían los ensayos, como se observa en la Figura 3. Esto resalta el enfoque participativo y democrático de la investigación, garantizando la participación activa de los estudiantes en la toma de decisiones.

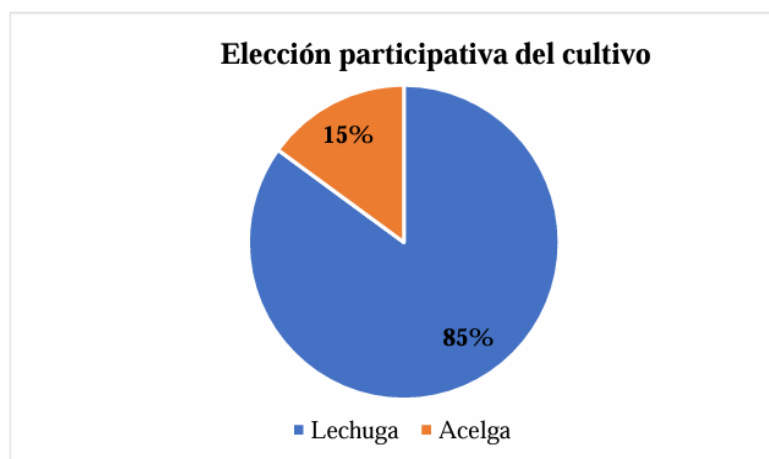


Figura 3. Elección participativa del cultivo

Como se observa en la Figura 3, el cultivo que presentó mayor porcentaje de aceptación en base a la elección de cultivo de hoja fue la lechuga (*Lactuca sativa*) con un 85%, seguido de la acelga (*Beta vulgaris*) con 15%. Los estudiantes en un 80% optaron por cultivar lechuga debido a su familiaridad con este cultivo, por lo que en sus domicilios es una de las verduras que más frecuentemente consumen para su alimentación.

4.2 Análisis integral de las variables agronómicas en cultivo de lechuga

La Figura 4 muestra la comparación entre los seis tratamientos mediante la representación de las ocho

variables agronómicas normalizadas en la escala de 0 a 1, en el cultivo de lechuga.

Según la Figura 4, el tratamiento T₂ (biol básico) presentó diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las variables evaluadas ($p < 0,05$) como ser altura de la planta, número de hojas, área foliar, peso de raíz y índice de área foliar. Mientras que en las restantes no se observaron diferencias estadísticamente significativas. Este tratamiento alcanzó los valores promedio más altos en todas las variables evaluadas, lo que evidencia un efecto positivo sobre el desarrollo del cultivo de lechuga en comparación con los demás tratamientos aplicados. Este desempeño puede atribuirse al conjunto de

interacciones fisicoquímicas y biológicas generadas durante el proceso de fermentación del biol por los insumos utilizados, que favorecen la disponibilidad de macro y micronutrientes, la presencia de compuestos bioactivos, y una mayor diversidad microbiológica. Así

mismo, en la figura se observan algunos tratamientos ausentes, esto debido al proceso de normalización aplicado, que asignó valores de 0 a los tratamientos con el menor desempeño en determinadas variables.

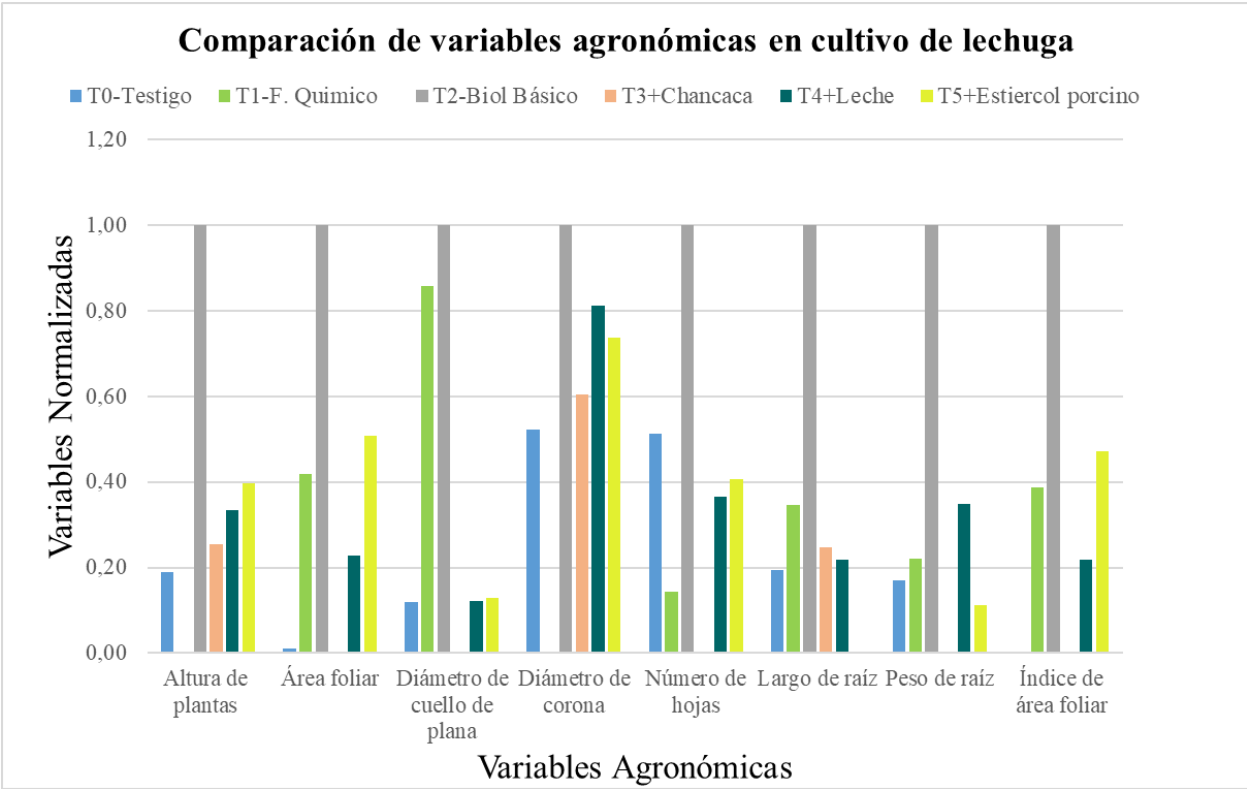


Figura 4. Comparación de variables agronómicas en cultivo de lechuga

Si bien las formulaciones T₃ (biol de chancaca), T₄ (biol con leche) y T₅ (biol porcino) mostraron mejoras en algunas variables, estas no superaron la manera consistente con el biol básico, lo que indica que la adición de chancaca, leche o estiércol porcino no incrementó el rendimiento agronómico del cultivo de lechuga bajo las condiciones del estudio. Es importante recordar que los resultados corresponden a un solo ciclo agrícola y a condiciones específicas, por lo que su generalización debe realizarse con cautela. En este sentido, el biol básico puede considerarse una alternativa prometedora para el cultivo de lechuga. Sin embargo, se recomienda su validación en otros ambientes y épocas de cultivo antes de establecerlo como un estándar de manejo.

El uso combinado de estiércoles animales, de vaca y oveja, aporta materia orgánica de alta biodisponibilidad, la cual favorece la actividad de microorganismos descomponedores y mejora la retención de agua y nutrientes en el suelo (Paredes *et al.*, 2019). La adición de ceniza aporta elementos como potasio, calcio y magnesio, con efectos positivos sobre la resistencia estructural y la translocación de azúcares en las plantas (García-Ruiz y

Molina, 2018). Por su parte, la alfalfa contiene fitohormonas naturales como giberelinas y auxinas, que actúan como bioestimulantes del crecimiento vegetal (Calvo *et al.*, 2014).

El uso de efluentes líquidos domésticos aporta nitrógeno ureico de rápida asimilación, así como fósforo y micronutrientes en forma soluble, contribuyendo a una liberación gradual de nutrientes (Medeiros *et al.*, 2021). Finalmente, la borra de chicha, como residuo fermentado, puede incrementar la diversidad microbiana del biol al contener levaduras y bacterias ácido-lácticas, que mejoran la disponibilidad de nutrientes y la competencia frente a patógenos (Sánchez-Godínez *et al.*, 2020).

En este contexto, Espinal (2009) afirma que el biol es un recurso valioso que puede mejorar significativamente el rendimiento y calidad de los cultivos de lechuga. Esto se debe a que el biol promueve la actividad fisiológica y estimula el desarrollo de las plantas, favoreciendo en la fase de crecimiento del cultivo como mostraron los resultados del análisis de varianza.

Se esperaba que la incorporación de los tres aditivos (leche, chancaca y estiércol porcino) en la formulación de biol mejorara el desempeño agronómico, replicando los efectos positivos observados en la investigación en cultivo de rábano. Sin embargo, en lechuga, las formulaciones con aditivos no mejoraron el desempeño del biol. El biol elaborado por los productores presentó los mejores resultados, lo que sugiere que la efectividad de estos insumos depende del cultivo.

4.3 Análisis integral de las variables agronómicas en cultivo de rábano

A continuación, la Figura 5 muestra de igual manera la comparación de los seis distintos tratamientos mediante la representación de las ocho variables agronómicas normalizadas que se obtuvieron del cultivo de rábano en la misma escala estandarizada.

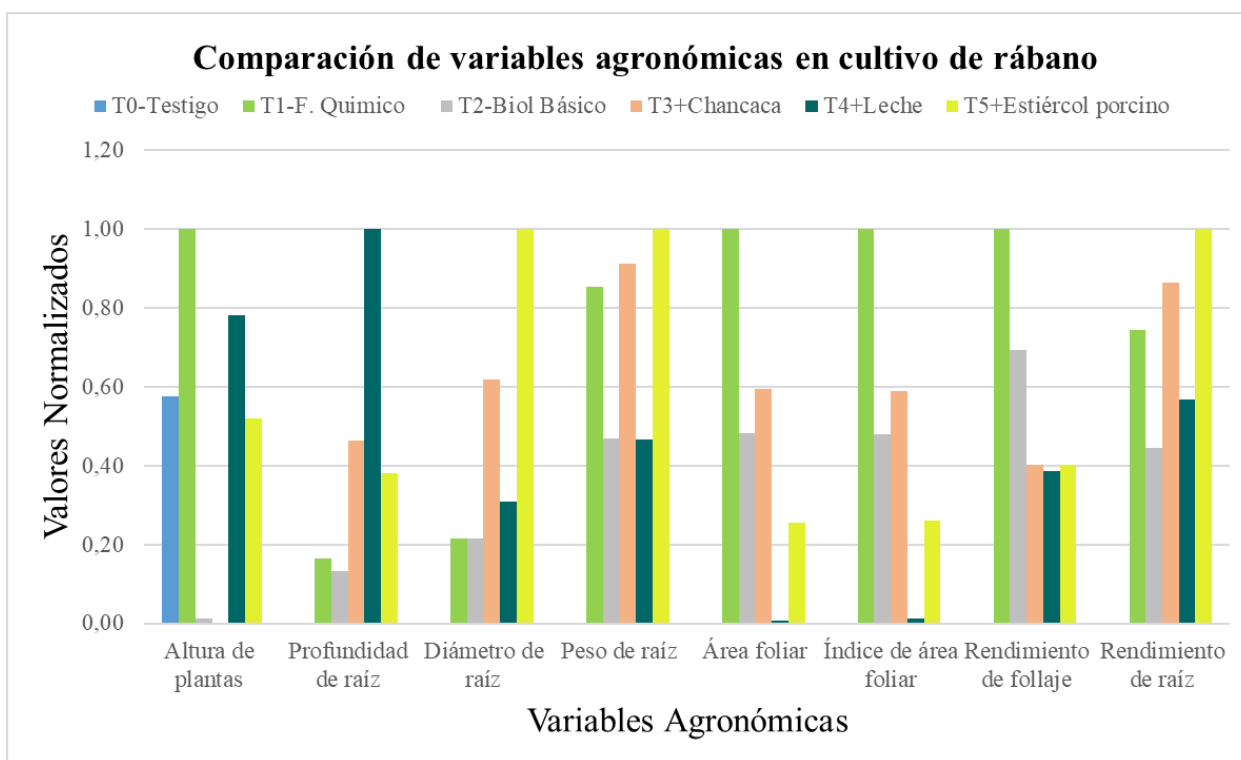


Figura 5. Comparación de variables agronómicas en cultivo de rábano

Como se observa en la Figura 5, el fertilizante químico favoreció a las variables asociadas al crecimiento aéreo del cultivo como altura de la planta, área foliar, índice de área foliar y rendimiento de follaje. Sin embargo, al ser un cultivo de raíz los tratamientos T₃ (biol de chancaca) y T₅ (biol porcino) presentaron los mejores resultados en las variables importantes que promueven el desarrollo de la raíz, específicamente profundidad, diámetro, peso y rendimiento de raíz. El análisis estadístico de estas variables evidenció diferencias altamente significativas entre los promedios, siendo el valor de p menor al valor de α según el análisis de varianza y la prueba de Duncan ($p < 0,05$). Así mismo, se identificó una relación directa entre estas variables, de manera que a mayores valores de peso y diámetro de raíz se obtuvo un mayor rendimiento de raíz. Esta relación implica un incremento en los ingresos económicos para los productores al favorecer la parte comercial del cultivo.

El gráfico evidencia que la aplicación de biol elaborado con estiércol porcino generó los mejores resultados en las variables de diámetro, peso y rendimiento de raíz. En segundo lugar, el biol con formulación de chancaca mostró un efecto positivo particularmente sobre el diámetro de las raíces. En tercer lugar, se ubicaron T₄ (biol con leche), T₂ (biol básico) y T₁ (fertilizante químico) cuyos resultados fueron comparables ubicándose en el mismo grupo estadístico. Finalmente, T₀ (tratamiento testigo) presentó los valores promedio más bajos para esta variable.

Se puede observar que existe una diferencia positiva para los tratamientos usando formulaciones de biol frente a los tratamientos testigos, reflejando un efecto positivo en el rendimiento de los cultivos. La literatura muestra que si bien los fertilizantes químicos ofrecen una disponibilidad inmediata de nutrientes, tienden a degradar la microbiota del suelo (Chanduvi *et al.*, 2023). En contraste, el biol contribuye a la regeneración del suelo al estimular la actividad de microorganismos benéficos, los cuales

transforman la materia orgánica mejorando la estructura del suelo, disponibilidad de nutrientes y su capacidad de retención de agua. Además, promueve una microbiota diversificada que favorece tanto a la nutrición de las plantas, a través de la solubilización de nutrientes y producción de hormonas, como la defensa frente a patógenos, contribuyendo así integralmente a la mejora de la salud del suelo (Wang *et al.*, 2024). Este estudio evaluó variables agronómicas, sin embargo, se recomienda realizar un estudio microbiológico tanto de las distintas formulaciones de biol, como de los mismos suelos tratados, para poder evaluar el efecto del biol en las comunidades biológicas más importantes.

Si bien el ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones, permitiendo controlar parcialmente la variabilidad del sitio y realizar comparaciones entre tratamientos, los resultados se limitan a las condiciones específicas en invernadero y a una replicación mínima. Así mismo, al abarcar un solo ciclo agrícola, la extrapolación de los efectos observados a otros contextos productivos requiere su validación mediante ensayos multisitio o multitemporales que incorporen diferentes condiciones edafoclimáticas (Piepho *et al.*, 2015).

En cuanto a los beneficios agronómicos, el estudio mostró que el biol constituye una alternativa viable y accesible para la fertilización sostenible de cultivos. Su implementación mejoró la productividad, fortaleció la salud del suelo y redujo la dependencia de insumos externos. Al aprovechar residuos agrícolas, su producción implica un menor costo en comparación con fertilizantes químicos, los cuales requieren una inversión constante de insumos en cada ciclo agrícola. En este sentido el biol puede consolidarse como una buena alternativa eficiente frente a los fertilizantes químicos, con ventajas en productividad, sostenibilidad ambiental y rentabilidad económica. Desde una perspectiva económica, las formulaciones con mejores resultados de biol con chancaca y estiércol porcino presentaron costos de Bs. 54 y Bs. 50, respectivamente, permitiendo cubrir el tratamiento foliar de 17 parcelas. En contraste, el fertilizante químico granulado tuvo un costo de Bs. 45, con una cobertura de únicamente 8 parcelas, siguiendo las recomendaciones de las casas agronómicas. Se obtuvo una diferencia de Bs. 3,18 y Bs. 2,94 por parcela para el biol, frente a Bs. 5,63 por parcela en el caso del fertilizante químico. Estos resultados evidencian que el biol no solo es competitivo en términos agronómicos, sino que ofrece una ventaja económica, al permitir una mayor cobertura a un costo menor.

5. Conclusiones

Se desarrolló e implementó un ensayo para mejorar la formulación del biol, que mostró que la incorporación del biol al 10% en el cultivo de rábano, ejerció una influencia positiva en los resultados de las variables agronómicas, frente a los tratamientos sin biol (T_0) los cuales mostraron los valores más bajos en siete de las ocho variables.

Se incentivó la participación activa de los estudiantes en todas las etapas del proceso de investigación, considerando sus conocimientos y decisiones. Para comenzar, los estudiantes seleccionaron el cultivo de hoja de mayor interés. El 85 % de los estudiantes eligieron la lechuga (*Lactuca sativa*) para la fertilización con biol, debido a su familiaridad con este cultivo, ya que es la hortaliza más consumida en sus hogares.

Se concluye que la aplicación de las formulaciones de biol en el cultivo de lechuga (un cultivo de hoja) ejerció una influencia positiva en los resultados de las variables agronómicas. La formulación de mejor rendimiento fue el T_2 biol de los productores mostraron los valores significativamente más altos en todas las variables como ser altura de planta, largo de raíz, peso de raíz, diámetro de cuello de la planta, diámetro de corona, número de hojas, área foliar y índice de área foliar.

Respecto a la aplicación de biol en cultivo de rábano en términos de rendimiento de raíz, peso y diámetro de raíz los mejores resultados fueron obtenidos por la aplicación del biol T_5 y T_3 , los cuales se diferencian del biol de los productores por tener estiércol porcino y chancaca en sus formulaciones, mostrando diferencias estadísticamente significativas.

Los resultados obtenidos en la investigación evidenciaron que la aplicación de las distintas formulaciones del biol en los cultivos ejerció un impacto positivo en las variables agronómicas, posicionándose como un alternativa viable y superior a los agroquímicos convencionales. La comparación de tratamientos mostró que las formulaciones propuestas de biol no solo mejoraron el desarrollo vegetativo y productivo de los cultivos de hoja, como en la lechuga, sino también, optimizó el rendimiento en especies de raíz como el rábano, generando diferencias estadísticamente significativas frente a los tratamientos sin biol. A diferencia de los fertilizantes químicos, los cuales requieren aplicaciones constantes para mantener su productividad generando toxicidad y procesos de reducción del contenido de materia orgánica en el suelo, el biol actúa como un fertilizante que no solo nutre a la planta produciendo alimentos naturales y saludables, sino también regenera el ecosistema del suelo, favoreciendo su fertilidad.

De este modo, los estudios realizados en ambos tipos de cultivo (hoja y raíz) mostraron que el uso del biol

constituyó una alternativa real con beneficios económicos para los productores interesados en mejorar la eficiencia de sus cultivos mediante la elaboración de su propio biofertilizante a partir del aprovechamiento de residuos agrícolas.

Bibliografía

- AGRUCO. (2010). *Elaboración y uso de biol en la producción agroecológica de hortalizas*. Programa de Agroecología Universidad Cochabamba (AGRUCO), Universidad Mayor de San Simón.
<https://bibliotecas.umss.edu.bo/site/php/index.php>
- Aguado-Santacruz, G. A. (Ed.). (2012). *Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. ISBN: 978-607-425-807-3. Ciudad de México.
- Aker, C. (2020). *Producción de lechuga con buenas prácticas agrícolas*.
https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/guia_de_lechuga.pdf
- Allouzi, M. M. A., Allouzi, S. M. A., Keng, Z. X., Supramaniam, C. V., Singh, A., & Chong, S. (2022). *Liquid biofertilizers as a sustainable solution for agriculture*.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12609>
- Altieri, M. A., Nicholls, C.I. (2000). *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental*. PNUMA/IICA.
https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/ed7fa1c0-a1fd-4993-a59a-5580987113ee?utm_source=chatgpt.com
- Cando, S., y Malca, L. (2016). Desarrollo de un abono orgánico líquido tipo biol usando un proceso anaerobio en bio-reactores simples. *Manglar*, 13(1), 35-40.
<https://doi.org/10.17268/manglar.2016.005>
- Caldas, R. F. (2013). *Entre la agricultura convencional y la agroecología: El caso de las prácticas de manejo en los sistemas de producción campesina en el municipio de Silvania* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Colombia. <http://hdl.handle.net/10554/12482>
- Calvo, P., Nelson, L., y Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1), 3–41.
<https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Cárdenas, G. (2009). Investigación participativa con agricultores: Una opción de organización social campesina para la consolidación de procesos agroecológicos. *Luna Azul*, (29), 95–102. <https://doi.org/10.17151/luaz.2009.29.10>
- Chanduvi, R., Sandoval, M. A., Peña, R., Alva, J., Álvarez, L. Á., Quiroz, M. V., Granda, C., Aguilar, R., Galecio, M., y Morales, D. A. (2023). Biofertilizante y su correlación entre parámetros productivos y de calidad en limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Terra Latinoamericana*, 41.
<https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1685>
- Colmenares, E. (2012). Investigación-acción participativa: Una metodología integradora del conocimiento y la acción. *Voces y Silencios: Revista Latinoamericana de Educación*, 3(1), 102–115. <https://doi.org/10.18175/vys3.1.2012.07>
- Corrales, D., y Maldonado, C. (2019). Aplicación de biofertilizantes en plantines de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Sapecho - Alto Beni. *Apthapi*, 5(3), 1646.
<https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/30>
- Domínguez, S. (2010). *Elaboración artesanal de dos abonos líquidos fermentados y su efectividad en la producción de plántulas de chile habanero (Capsicum chinense jacq)*. http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/235/Salaya_Dom%c3%adnguez_J_MC_Produccion_Agroalimentaria_Tropico_2010.pdf?sequence=1&isAllo wed=y
- Franco, J., Ortuño, N., y Herbas, J. (2004). Potencial rehabilitación de tierras degradadas por el desarrollo y uso de un biofertilizante en beneficio de los agricultores pobres de Bolivia. *LEISA Revista de Agroecología*, 19(4), 32–35. <https://leisa-al.org/web/index.php/volumen-19-numero-4/potencial-rehabilitacion-de-tierras-degradadas>
- Fundación Agrecol Andes. (2020). *Revisión del estado de conocimiento sobre la elaboración de BIOL en la Región Andina. Cochabamba, Bolivia*. Bolivia.
<https://www.agrecolandes.org/revision-del-estado-de-conocimiento-sobre-bioles/>
- Escardón, S., Coral, P., y Puente, N. (2010). *Abonos orgánicos: protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos*. Fondo para la Protección del Agua.
https://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf
- Espinal, G. (2009). *Efecto del biol como fertilizante foliar en la producción de lechuga suiza (Valerianella locusta L.) con diferentes concentraciones en ambiente atemperado en el municipio de Tiwanaku – La Paz* (Tesis de licenciatura). Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. Bolivia.
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5049/T-1357.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- FAO. (2019). *World fertilizer trends and outlook to 2022*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma.
- García-Ruiz, R., y Molina, M. J. (2018). Uso de cenizas vegetales como enmiendas orgánicas en suelos ácidos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(2), 45–56.
- Gruberg, H. (2023). *Operationalizing transdisciplinary agroecology of the co-creation of food sovereignty* (Tesis doctoral). Ghent University. Gante, Bélgica.
- Gruberg, H., Dessein, J., D'Haese, M., Alba, E., y Benavides, J. P. (2022). Eroding traditional ecological knowledge: A case study in Bolivia. *Human Ecology*, 50(6), 1047–1058.
<https://doi.org/10.1007/s10745-022-00375-9>
- Gutiérrez, J., Aguilera, L., y González, C. (2008). Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia*, 15(46), 51–87.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=123456789>
- Infante, A., y Fuentes, K. (2016). *Manual de producción agroecológica*. Instituto de Desarrollo Agropecuario

- (INDAP). Santiago, Chile.
<https://www.indap.gob.cl/sites/default/files/2022-02/n%C2%BA8-manual-de-produccion%CC%81n-agroecologica.pdf>
- López, T. (2022). *Impacto del uso de fertilizantes químicos en la producción del cultivo de naranja (Citrus sinensis L.)* (Tesis de licenciatura). Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11317>
- Mantuano, N. (2023). *Uso de fertilizantes químicos y su efecto en la degradación de suelo agrícola en la finca Alejandro Ponce, Parroquia La América* (Tesis de licenciatura). Universidad Estatal de Milagro. Ecuador.
<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/6188/1/Mantuano%20Mero%20Naye%20li%20Nicole.pdf>
- Martínez, M. (2021). *La investigación acción participativa*. [Monografía en línea, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Ecuador.
<https://d1wqtxs1xzle7.cloudfront.net/38576587/2>
- Medeiros, L. F., Costa, L. F., y dos Santos, C. M. (2021). Agricultural reuse of human urine: Current practices and perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125725.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125725>
- Méndez, M., Peña Peña, E., Amado, S., Hechemendía, L., Yero, Y., y Hechavarría, A. (2018). *Producción de biol y determinación de sus características físico-químicas*.
https://www.researchgate.net/publication/326841755_Titulo_Produccion_de_biol_y_determinacion_de_sus_caracteristicas_fisico-quimicas
- Montesinos, G. (2013). *Uso de lixiviado procedente de material orgánico de residuos de mercados para la elaboración de biol y su evaluación como fertilizante para pasto* (Tesis de licenciatura). Universidad de Cuenca. Ecuador.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4706/1/tesis.pdf>
- Nicholls, C. y Cornejo, M. (2013). *Agricultura convencional y agroecología frente al cambio climático* (Tesis de maestría). Universidad Andina Simón Bolívar. Bolivia.
<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6634/1/T2860-MDSCC-ChalanAgricultura.p>
- Ochoa, C. (2015). *Muestreo no probabilístico por bola de nieve*.
<https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/muestreo-bola-nieve>
- Ochoa, F., y Espinoza, F., y Goya, R., y Pincay-Ganchozo, (2020). *Crecimiento y rendimiento de Clitoria ternatea con la aplicación de fertilizantes biológicos*. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Paco, G. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Chile.
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- Paredes, C., Bustamante, M. A., y Moral, R. (2019). Organic waste composting: A scientific and practical approach. In: *Soil Fertility and Plant Nutrition* (pp. 251–267). Springer.
https://www.researchgate.net/profile/Gabriel-Constantin/publication/376520867_ORGANIC_WASTE_COMPOSTING_A_PRACTICE_FOR_SUSTAINABLE_AGRICULTURE/links/657bf3f3cbd2c535ea29b7c4/ORGANIC-WASTE-COMPOSTING-A-PRACTICE-FOR-SUSTAINABLE-AGRICULTURE.pdf
- Phiepo, H., Edmondson, R. y Clingeffer, P. (2015). *Why randomization-based inference is important for agricultural experiments*.
https://www.researchgate.net/publication/263758910_Why_Randomize_Agricultural_Experiments
- Restrepo, J. (2001). *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil*. IICA, San José, Costa Rica.
- Reyes, S. y Cano, D. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigación Agropecuaria*, 328.
<https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Rojas, K. y Ortuño, N. 2007. Evaluación de micorrizas arbusculares en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola del valle alto de Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*, 3(4), 697–719. Bolivia.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342022000500785
- Sánchez-Godínez, C. M., Ramírez-Villanueva, D. A., y Gutiérrez-Miceli, F. A. (2020). Evaluación del uso de microorganismos provenientes de la fermentación tradicional de maíz como bioinoculantes. *Agrociencia*, 54(1), 77–89.
- Sarandón, S. (2020). *El papel de la agricultura en la transformación social-ecológica de América Latina*. Friedrich-Ebert-Stiftung, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
https://www.researchgate.net/publication/345777972_El_papel_de_la_agricultura_en_la_transformacion_social-ecologica_de_America_Latina
- Sevilla, E.; y Soler, M. (2010). *Agroecología y soberanía alimentaria: Alternativas a la globalización agroalimentaria*. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Sevilla, España.
<https://idus.us.es/handle/11441/88458>
- Soriano, J., Carrascosa, M., Gonzales J., y García, T. (2012). Vista de Mejora agroecológica participativa (MAP) y biodiversidad agrícola. Aplicación de la investigación-acción participativa al manejo de las variedades tradicionales en Andalucía. *Agroecología*, 7(13), 85–98
<https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/18282/152261>
- Ortiz, M., y Borjas, B. (2008). *La Investigación Acción Participativa: Aporte de Fals Borda a la educación popular*.
- Torres, E., Cárdenas, J., Cruz Nieto, D., y Soto, F. (2019). Experimento con biol de subproductos de azúcar para mayor rendimiento ecológico en el cultivo de lechuga

(*Lactuca sativa* L.). *Studium Veritatis*, 17, 285-304.

<https://doi.org/10.35626/sv.23.2019.305>

Unida. (2013). *Guía metodológica presentación de trabajos de investigación participativa*.

<https://www.unida.edu.py/calidad/unidades/unidad%20de%20investigacion/GUIA%20METODOLOGICA%20PRESENTACION%20DE%20TRABAJOS%20DE%20INVESTIGACION-nuevo.pdf>

Wang, G., Ren, Y., Bai, X., y Han, J. (2024). Progress in microbial fertilizer regulation of crop growth and soil remediation research. *Plants*, 13(3), 346.

<https://doi.org/10.3390/plants13030346>

Wrobel, M. (2023). *Normalización de la base de datos: Qué es, por qué es importante y cómo se hace*.

<https://blog.invgate.com/es/normalizacion-de-base-de-datos>