

**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR**  
**ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Efecto bioestimulante de un biol en dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la Estación Experimental Los Juncos, Coronado, Costa Rica**

Trabajo Final de Graduación bajo la modalidad de Artículo Científico para optar por el grado de Licenciatura  
en Ingeniería en Agronomía

**Estudiante**

Bach. Tomás Guzmán Vega

**Tutor**

M. Sc. Wálter Peraza Padilla

Campus Omar Dengo

Heredia, 2025

*Revista Perspectivas Rurales Nueva Época*

**Efecto bioestimulante de un biol en dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la Estación Experimental Los Juncos, Coronado, Costa Rica**

Tomás Guzmán Vega

**Trabajo final de graduación modalidad artículo científico sometido a consideración del tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía**

**Tribunal Examinador**

---

M. Sc. Andrés Alpízar Naranjo  
Decano Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

---

M. Sc. Alonso Calvo Araya  
Director Escuela de Ciencias Agrarias

---

M. Sc. Wálter Peraza Padilla  
Director de Tesis

---

Tomás Guzmán Vega  
Sustentante

## **DEDICATORIA**

El final de esta etapa se la dedico a mis papás, Damaris y Roy, por haberme apoyado en todo momento; a mis hermanos y cuñada, Antonio, Felipe, Camila y Rebeca, por ser inspiración y apoyo; a Johel, Barquero, Nati y Frank, por haber sido apoyo y consuelo. A los compañeros del equipo de fútbol de la UNA, por haber sido compañía en gran parte de muchas mañanas de este recorrido. A los compañeros de ciencias agrarias que colaboraron de alguna u otra forma en este proceso. A las personas que en el momento de esta redacción no recuerdo, pero también fueron compañía en este proceso; a los compañeros de agronomía que estuvieron en el minuto uno, Alejandro, Jimena, Maikel, Sabrina, Erickson, pero también a los que estuvieron en el minuto noventa, Cristhian, Jimmy, Santiago y Arturo, realmente esto es muchísima parte por ustedes. Y por último dedicado a todas esas personas que no confían en la agricultura orgánica.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco eternamente a mi familia, a la vida por la oportunidad de haber estudiado, agradezco a la universidad pública de Costa Rica, agradezco a la agricultura orgánica por haberme mostrado el camino del bien dentro de la agronomía, agradezco al profesor Walter Peraza y su equipo de trabajo Roy Carmona, por el apoyo brindado durante este trabajo. Agradecimiento especial al señor Allan Chavarría Chang por la guía, el apoyo, el aprendizaje y el soporte para haber hecho posible este trabajo y aprendizaje. Agradecimiento especial a todo el personal de la Estación Experimental Los Juncos y familiares, Doña Cecilia, Oliva, Laura, Mauricio, Manuel y Maricruz, por la mano de obra, el apoyo y sobre todo el amor puesto sobre este trabajo. Reitero mis agradecimientos especialmente a Cristhian Araya Chaves por el soporte para este trabajo, para Arturo Arrieta Arrieta por el apoyo mostrado durante este trabajo, para Santiago Ramírez Cabrera y Jimmy Fonseca Mena por su mano de obra en este trabajo, Sabrina Esquivel Sánchez por su presencia en esta etapa; sin ustedes esto no hubiese sido posible. Gracias totales.

## **Tabla de Contenido**

Introducción general	<b>6</b>
Identificación y ocurrencia de fitonematodos residentes de algunas plantas medicinales en Costa Rica	1
Introducción	2
Metodología	4
Resultados y discusión	10
Conclusiones	17
Agradecimiento	18
Referencias	18

## **INTRODUCCIÓN GENERAL**

La agricultura moderna se enfrenta a numerosos desafíos como la creciente demanda de alimentos a partir de un menor gasto de recursos y con un menor impacto ambiental; sin embargo, la intensificación en los procesos productivos, el uso de agroquímicos y fertilizantes sintéticos ha llevado a la agricultura a buscar alternativas (Barrera, 2011).

La alimentación humana depende en gran parte de la agricultura y la misma tiene como base las hortalizas en la gran mayoría de platillos que se consumen ya que son fuente de gran cantidad de nutrientes y vitaminas vitales para el crecimiento de los seres humanos, también, son fuente importante de compuestos bioactivos los cuales ayudan a prevenir enfermedades (Ureña-Vargas, 2009).

Las hortalizas poseen la característica de ser altas demandantes de nutrientes y agua para su crecimiento por lo cual el uso de bioles como bioestimulantes agrícolas se presenta como una alternativa prometedora con el fin de mejorar la calidad y productividad de estos cultivos, ya que la calidad del producto que se consume va a estar marcada también por la calidad de productos que se le apliquen a la planta durante su crecimiento (Aschemacher, 2017).

En este contexto, Xiu-Canche (2018) señala que los bioles constituyen una alternativa coherente con las demandas actuales de los agricultores, al promover la sostenibilidad ambiental, la salud y fertilidad del suelo, sin comprometer la productividad de los cultivos. Estos biofertilizantes orgánicos se obtienen mediante un proceso de fermentación anaeróbica que integra materiales de origen animal, vegetal y mineral, los cuales aportan una amplia diversidad de microorganismos benéficos destinados a mejorar la salud de las plantas y del suelo (Jara-Samaniego et al., 2021).

A pesar de los múltiples beneficios que ofrecen los bioles, persiste un amplio desconocimiento entre los agricultores sobre su elaboración y uso, debido a la dependencia histórica de los agroquímicos y fertilizantes sintéticos (Salgado, 2015). Muchos productores muestran desconfianza hacia productos cuya composición o modo de aplicación desconocen; sin embargo, esta percepción no debe considerarse una limitante para su adopción. Por el contrario, es fundamental investigar, caracterizar y difundir el conocimiento sobre los bioles, de manera que los profesionales del sector agropecuario puedan transferir información clara y práctica a los agricultores, quienes finalmente son los principales beneficiarios de esta tecnología (Ordóñez, 2010).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar física, química y microbiológicamente un biol para evaluar su efecto bioestimulante en el crecimiento, morfología y biomasa de dos variedades de lechuga bajo un sistema de invernadero, mediante la aplicación de dosis crecientes y el seguimiento de una curva de crecimiento.

**Efecto bioestimulante de un biol en dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la Estación Experimental Los Juncos, Coronado, Costa Rica**

**Biostimulant effect of a biol on two lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties at the Los Juncos Experimental Station, Coronado, Costa Rica**

**Efeito bioestimulante de um biol em duas variedades de alface (*Lactuca sativa* L.) na Estação Experimental Los Juncos, Coronado, Costa Rica**

*Tomás Guzmán-Vega*<sup>1</sup>, *Walter Peraza-Padilla*<sup>2</sup>

**Resumen**

El uso de bioles representa una alternativa sostenible para mejorar la fertilidad del suelo, estimular el crecimiento vegetal y reducir la dependencia de insumos sintéticos. Este estudio evaluó en invernadero el efecto de cuatro dosis foliares de biol (0, 2, 4 y 6 %) sobre variables morfológicas y de crecimiento en dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.): Americana y Lollo rosa. El experimento se desarrolló bajo un diseño de parcelas divididas completamente al azar, con 24 unidades experimentales (bloques). Cada bloque estuvo conformado por 30 plantas organizadas en tres hileras de diez plantas cada una. Las dosis se aplicaron de forma aleatoria, con tres repeticiones por tratamiento y variedad, para un total de 720 plantas. El biol, elaborado en fases de quelatación y mineralización, se aplicó

---

<sup>1, 2</sup> Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Agrarias, Laboratorio de Nematología, Heredia, Costa Rica. Apartado Postal 86-3000. [walter.peraza.padilla@una.cr](mailto:walter.peraza.padilla@una.cr), (<https://orcid.org/0000-0003-4651-5555>), [tomas.guzman.vega@est.una.ac.cr](mailto:tomas.guzman.vega@est.una.ac.cr), (<https://orcid.org/0009-0005-5644-297X>)

por aspersión foliar a los 6, 14 y 22 días después de la siembra. Presentó alta concentración de macro y micronutrientes y una conductividad eléctrica de  $30,7 \text{ mS cm}^{-1}$ , superior a lo reportado en bioles de origen animal, sin efectos adversos. Se evaluaron altura de planta, longitud y diámetro de raíz, peso de raíz, biomasa húmeda y seca. El análisis estadístico mostró diferencias significativas solo en biomasa seca ( $p = 0,0276$ ), donde la dosis del 6 % presentó el mejor desempeño. El biol foliar se confirma como una opción eficaz y sostenible para la nutrición hortícola.

**Palabras clave:** biofertilizantes líquidos, crecimiento vegetal, nutrición foliar, sostenibilidad agrícola, variedades hortícolas.

### **Abstract**

The use of bioferments (biols) represents a sustainable alternative to improve soil fertility, stimulate plant growth, and reduce dependence on synthetic inputs. This study evaluated, under greenhouse conditions, the effect of four foliar doses of biol (0, 2, 4, and 6%) on morphological and growth variables of two lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties: Americana and Lollo rosa. The experiment was conducted under a completely randomized split-plot design with 24 experimental units (blocks). Each block consisted of 30 plants arranged in three rows of ten plants each. Treatments were randomly assigned with three replications per dose and variety, totaling 720 plants. The biol, prepared through chelation and mineralization phases, was applied by foliar spraying at 6, 14, and 22 days after sowing. It showed high macro- and micronutrient concentrations and an electrical conductivity of  $30,7 \text{ mS cm}^{-1}$ , higher than values reported for animal-based biols, without adverse effects. Variables evaluated included plant height, root length and diameter, root weight, and fresh and dry biomass. Statistical analysis showed significant differences only in dry biomass ( $p = 0,0276$ ), with the 6% dose achieving the best performance. Foliar biol application proved to be an effective and sustainable option for horticultural nutrition.

**Keywords:** liquid biofertilizers, plant growth, foliar fertilization, agricultural sustainability, vegetable varieties.

### **Resumo**

O uso de bioles representa uma alternativa sustentável para melhorar a fertilidade do solo, estimular o crescimento vegetal e reduzir a dependência de insumos sintéticos. Este estudo avaliou, em casa de vegetação, o efeito de quatro doses foliares de biol (0, 2, 4 e 6 %) sobre variáveis morfológicas e de crescimento em duas variedades de alface (*Lactuca sativa* L.): Americana e Lollo rosa. O experimento foi conduzido em um delineamento de parcelas divididas inteiramente ao acaso, com 24 unidades experimentais (blocos). Cada bloco foi composto por 30 plantas organizadas em três fileiras de dez plantas cada. As doses foram aplicadas aleatoriamente, com três repetições por tratamento e variedade, totalizando 720 plantas. O biol, preparado em fases de quelação e mineralização, foi aplicado por pulverização foliar aos 6, 14 e 22 dias após a semeadura. Apresentou alta concentração de macro e micronutrientes e condutividade elétrica de 30,7 mS cm<sup>-1</sup>, superior à relatada para bioles de origem animal, sem efeitos adversos. Avaliaram-se altura da planta, comprimento e diâmetro da raiz, peso da raiz, biomassa fresca e seca. A análise estatística indicou diferenças significativas apenas na biomassa seca ( $p = 0,0276$ ), sendo a dose de 6 % a mais eficiente. O biol foliar confirma-se como alternativa eficaz e sustentável para a nutrição hortícola.

**Palavras-chave:** biofertilizantes líquidos, crescimento de plantas, nutrição foliar, sustentabilidade agrícola, variedades de hortaliças.

### **Introducción**

La lechuga tiene su origen en la región mediterránea de Europa y Asia Menor. Fue cultivada hace más de 2 500 años en Egipto, donde se le atribuía un significado sagrado y era utilizada en ceremonias religiosas. Durante la Edad Media, su uso se extendió a Grecia y Roma, donde se convirtió en un alimento común en toda Europa durante el Renacimiento. Los colonizadores europeos introdujeron la lechuga en América del Norte en el siglo XVII. Hoy en día, es una de las hortalizas más cultivadas en el mundo, siendo China, Estados Unidos, España, Italia, Francia, Turquía, México y Japón los principales productores. Existen diversas variedades que se adaptan a diferentes climas y suelos, lo que ha permitido su expansión global (Viteri *et al.*, 2013).

La lechuga pertenece a la familia Asteraceae, que incluye plantas como el girasol, la alcachofa y la manzanilla. Se clasifica en el género *Lactuca*, siendo *L. sativa* la única especie cultivada como alimento. Es una planta anual con tallo erecto de hasta 40 cm de altura y hojas dispuestas en forma de roseta, que varían en color, textura y forma, según la variedad. Las raíces de la lechuga son superficiales y fibrosas, extendiéndose entre 20 y 40 cm de profundidad. Este sistema radicular le permite absorber grandes cantidades de agua y nutrientes, lo cual es clave para su desarrollo, debido a su alta tasa de transpiración. Las condiciones ambientales como temperatura, humedad, viento y luz influyen significativamente en la transpiración de la planta. Una tasa adecuada de transpiración es crucial para la absorción de agua y nutrientes, así como para la regulación de la temperatura interna (Taiz & Zeiger, 2010).

Para un óptimo crecimiento y desarrollo, la lechuga requiere de macro y micronutrientes. El nitrógeno es esencial para la formación de proteínas y clorofila, mientras que el fósforo es importante para el crecimiento de las raíces. El potasio fortalece la resistencia a enfermedades y mejora la tolerancia al estrés. El calcio contribuye a la estabilidad de la pared celular y el magnesio es crucial para la fotosíntesis. Entre los micronutrientes esenciales se encuentran el hierro, el zinc, el manganeso, el cobre, el boro y el molibdeno, que juegan roles clave en el metabolismo y las funciones enzimáticas de la planta (Tao *et al.*, 2019). Tradicionalmente, estos elementos se suministran mediante fertilizantes de origen químico; sin embargo, el uso continuo de estas fuentes puede generar efectos negativos en el suelo y el ambiente (Kumar & Dev, 2017).

El empleo de bioles ha ganado popularidad en la agricultura orgánica como una alternativa en el uso de fertilizantes sintéticos. Es conocido como un biofertilizante líquido producido a través de la fermentación de materiales orgánicos como heces de vaca, melaza y suero que contiene microorganismos beneficiosos que mejoran la disponibilidad de nutrientes y estimulan el crecimiento de las raíces. Su producción implica un proceso de fermentación controlada que puede tardar entre dos y tres meses. La utilización en campo mejora la nutrición del suelo y promueve un crecimiento más saludable en las plantas (Hernández-Fernández *et al.*, 2021).

En estudios recientes se ha demostrado que la aplicación de bioles en el cultivo de lechuga aumenta su rendimiento y calidad. Algunas investigaciones sugieren dosis óptimas de bioles, como 5 ml/L, ya que se evidencia un incremento en la altura, el crecimiento del tallo y el peso de las plantas en aquellas sin ningún tratamiento (Pomboza-Tamaquiza *et al.*, 2016). Además, los bioles ayudan a mantener las características microbiológicas de los cultivos dentro de los límites aceptables, lo que asegura la inocuidad del producto final (Cotrina *et al.*, 2020). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar física, química y microbiológicamente un biol para evaluar su efecto bioestimulante en el crecimiento, morfología y biomasa de dos variedades de lechuga bajo un sistema de invernadero, mediante la aplicación de dosis crecientes y el seguimiento de una curva de crecimiento.

## **Materiales y métodos**

### **Ubicación del experimento**

El experimento se realizó en la Estación Experimental Los Juncos (EELJ) en Monserrat, Cascajal, Vázquez de Coronado, San José, Costa Rica. Este sitio se ubica en las coordenadas 9.992916, -83.985169 a una altitud de 1700 msnm, en una zona de vida de bosque lluvioso premontano. La precipitación promedio anual es de 5 547 mm, con una temperatura máxima promedio de 24 °C y una mínima promedio de 12 °C. La EELJ presenta suelos del orden Andisol y suborden Udands (Mata & Castro, 2019). En la EELJ

se utilizan prácticas de manejo agroecológico entre las que destaca la aplicación de bioles y abonos orgánicos elaborados localmente.

### **Manejo agronómico del experimento**

Se utilizó un sistema de invernadero con dos variedades de lechuga: Americana (Am) y Lollo rosa (Lr), establecidas a una densidad de siembra entre 80 000 y 85 000 plantas/ha. Se instaló un sistema de riego por goteo conformado por tres mangueras dispuestas con una separación de 20 cm entre ellas y goteros ubicados cada 20 cm. Las plántulas de lechuga, con 15 días después de la siembra en almácigo, fueron trasplantadas directamente al suelo, colocándolas bajo cada gotero mediante la apertura de un orificio.

### **Elaboración de ingredientes para utilizar en la fase quelatante del biol**

La fase quelante se llevó a cabo según la metodología propuesta por Restrepo y Agredo (2020), incorporando modificaciones derivadas de la experiencia acumulada en la elaboración de recetas en la EELJ. Se utilizaron bacterias ácido-lácticas (BAL), bambuxina, bio sangre y fosfitos potásicos que son productos que posteriormente se utilizaron para la elaboración del biol.

### **Bacterias ácido-lácticas (BAL)**

Para la elaboración de las BAL se utilizó la metodología de Kleerebezem (2004) con algunas modificaciones realizadas en la EELJ. Se tomó un recipiente de 5 L, al que se le agregaron 500 g de arroz y 1 L de agua destilada. El recipiente se tapó con una manta porosa y se dejó reposar durante 2 días. Transcurrido ese período, se trasladó el contenido a otro recipiente del mismo volumen, en el que se depositó únicamente el líquido obtenido.

Una vez que se contó solo con el líquido, se añadieron 600 g de semolina de arroz, se volvió a tapar con la manta porosa y se dejó reposar durante 6 horas. Posteriormente, se incorporaron 2 L de leche cruda, se volvió a tapar y se dejó reposar por 2 días más. Luego de este tiempo, se procedió a retirar la nata formada en la parte superior del líquido; en el momento en que se retiró la totalidad de la nata, se agregaron 200 mL de melaza al líquido, el cual se dejó reposar durante 12 horas. Concluidas estas 12 horas, se finalizó el proceso de fermentación y se obtuvieron las BAL.

### **Bambuxina**

Para la elaboración de la bambuxina se utilizó la metodología de Manurung et al. 2020. Se utilizó un recipiente plástico hermético de al menos 20 L y se seleccionaron esquejes en crecimiento de bambú con una altura no mayor a 1,5 m, junto con melaza. Los esquejes de bambú se limpiaron de hojas, se cortaron longitudinalmente y se dividieron en tres partes, de acuerdo con su diámetro. Una vez cortados, se dispusieron en el recipiente de modo que quedaran de forma vertical. Cuando todos los esquejes estuvieron acomodados, se llenó el recipiente con melaza hasta cubrirlos completamente. Posteriormente, se cerró el recipiente de forma hermética y se dejó reposar durante 22 días, lo que resultó ser el tiempo necesario para que la Bambuxina estuviera lista.

### **Bio sangre**

Para la elaboración de este biofermento, se utilizó un recipiente hermético de 20 L, 10 L de sangre fresca de bovino (sin residuos sólidos), 1 kg de piña madura, 1 kg de papaya verde y 1 L de BAL. La piña y la papaya verde fueron cortadas en cubos. Seguidamente, los trozos de piña se mezclaron con 5 L de sangre y se vertieron en el recipiente. Los trozos de papaya se licuaron junto con los 5 L restantes de sangre durante 3 minutos a alta velocidad. Esta mezcla también se incorporó al recipiente que contenía la preparación anterior.

Posteriormente, se agregó el litro de BAL y se mezcló todo con un utensilio de acero inoxidable hasta lograr una solución homogénea. El recipiente fue sellado y se dejó fermentar durante 22 días. Finalizado este periodo, se obtuvo una enmienda orgánica líquida hemática fermentada, comúnmente conocida como *bio sangre* (Restrepo & Agredo, 2020).

### **Fosfitos potásicos**

Los fosfitos potásicos fueron elaborados a partir de 2,5 kg de roca fosfórica, 2,5 kg de harina de hueso, 600 g de hidróxido de potasio y 15 kg de granza de arroz. Además, se empleó un “cañón”, entendido como un tubo metálico de alta dureza, de 2 m de altura, 4 pulgadas de diámetro y provisto de tres patas metálicas soldadas a su base, de 30 cm cada una.

Como paso inicial, se encendió una brasa proveniente de madera de combustión lenta colocada en la base del cañón. Sobre esta, se formó un primer montículo con una porción de granza de arroz. Una vez que el humo comenzó a salir por la parte superior del cañón, se procedió a añadir de manera alternada las distintas fracciones de materiales. En primer lugar, se vertió una porción de roca fosfórica sobre la granza, seguida por otra capa de granza. A continuación, se agregó una porción de hidróxido de potasio, otra capa de granza y finalmente una fracción de harina de hueso. Este proceso fue repetido sucesivamente hasta agotar la totalidad de los insumos. Se procuró formar capas delgadas de cada componente con el fin de facilitar una adecuada combinación de los materiales durante la combustión, tal como lo indican Restrepo y Agredo (2020).

### **MM líquido**

Para la elaboración de este extracto líquido de microorganismos se utilizó la metodología descrita por Restrepo y Agredo (2020). La producción del MM líquido estuvo

ligada al proceso de fabricación del MM sólido. Para su preparación, se emplearon 45 kg de cobertura superficial de bosque (primeros 5 cm de hojarasca), 15 kg de semolina de arroz, 10 kg de afrecho de trigo y 10 kg de afrecho de maní. Todos los materiales fueron dispuestos sobre una carpa limpia y mezclados cuidadosamente hasta obtener una mezcla homogénea, con una humedad aproximada del 30 %, la cual fue verificada mediante la prueba del puño.

Una vez lograda la mezcla, se utilizó un recipiente hermético de 100 L, en el cual se depositó el material en pequeñas cantidades. A medida que se añadía, se compactaba con un pistón de madera, con el objetivo de reducir al máximo el contenido de oxígeno. Una vez incorporada toda la mezcla, se selló el recipiente y se dejó fermentar durante 30 días.

Finalizado este periodo, se tomó una funda porosa con 10 kg del MM sólido y se introdujo en un recipiente hermético. Sobre esta se vertieron 30 L de melaza y 70 L de agua. La mezcla fue agitada de forma constante durante 2 minutos, se tapó y se dejó reposar durante 15 días. Transcurrido este tiempo, el MM líquido estuvo listo para su utilización.

### **Elaboración de biol**

Para la elaboración del biol se utilizó un recipiente de 100 L y una válvula de retención lineal que permitió el pasó del biol en una sola dirección. El biol constó de dos fases: la fase quelatante y la fase de mineralización. Para la fase quelatante se utilizaron ingredientes como el suero, la melaza, las bacterias ácido-lácticas (BAL), la bambuxina, la bio sangre y fosfitos potásicos como se menciona en tabla 1.

**Tabla 1**

*Ingredientes utilizados en la primera fase de elaboración del biol*

<b>Fase quelatante</b>	
<b>Ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>
Suero	50 L
Melaza	2 L
Bambuxina	2 L
Bio sangre	16 L

MM líquido	20 L
Fosfitos potásicos	2 kg

El proceso para la elaboración del biol consistió en tomar el recipiente y verter en él 50 L de suero junto con 2 L de melaza. Ambos ingredientes fueron mezclados con un removedor de madera hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente, se añadieron 2 L de bambuxina, 16 L de bio sangre y 1 L de BAL. Una vez incorporados, la mezcla se revolvió nuevamente durante 2 minutos para asegurar la integración de todos los ingredientes. Finalmente, se agregaron 20 L de MM líquido y 2 kg de fosfitos potásicos y la mezcla se revolvió durante 2 minutos más. Antes de cerrar el recipiente, se adaptó una válvula lineal a la tapa con el fin de permitir la salida de los gases generados durante esta etapa.

Esta fase comprendió un total de ocho días desde su inicio. Al cuarto día, se abrió el recipiente para dar paso a la fase de mineralización. Esta consistió en la incorporación de las fuentes minerales indicadas en la Tabla 2 a la mezcla previamente elaborada, con el objetivo de enriquecer el biol con minerales adicionales. En esta etapa se utilizaron sulfato de magnesio, óxido de calcio, sulfato de zinc, borato de sodio y molibdato de sodio.

**Tabla 2**

*Fuentes minerales utilizadas en la fase de mineralización del biol*

<b>Fase de mineralización</b>	
<b>Ingredientes</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Sulfato de magnesio	5
Óxido de calcio	1
Sulfato de zinc	0,5
Borato de sodio	0,5
Molibdato de sodio	0,1

Para la elaboración de la fase de mineralización, se dejó transcurrir cuatro días desde el inicio del proceso. Luego de ese periodo, se tomó el recipiente con la mezcla y se procedió a abrirlo. Una vez abierto, se añadieron 5 kg de sulfato de magnesio y 0,5 kg de sulfato de zinc, los cuales se mezclaron utilizando un removedor de madera durante 2 minutos, manteniendo una agitación constante. Posteriormente, se incorporaron 1 kg de

óxido de calcio, 0,5 kg de borato de sodio y 0,1 kg de molibdato de sodio. Una vez agregadas todas las fuentes minerales, la mezcla se revolvió durante 5 minutos adicionales con agitación constante, con el fin de asegurar su completa disolución. Finalmente, se cerró el recipiente y se dejó en reposo durante 10 días, con lo que se dio por finalizada la elaboración del biol.

## **Variables evaluadas**

### **Caracterización fisicoquímica y microbiológica del biol**

Transcurridos los 10 días posteriores a la fase de mineralización, se procedió a la caracterización del biol mediante un análisis químico y microbiológico. El análisis químico incluyó la determinación de pH, acidez, saturación de aluminio, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y la relación carbono/nitrógeno, así como las concentraciones de carbono, nitrógeno, calcio, magnesio, potasio, fósforo, zinc, cobre, hierro y manganeso. Por su parte, el análisis microbiológico permitió cuantificar microorganismos solubilizadores de fósforo, fijadores de nitrógeno, lactobacilos, levaduras y bacterias. Ambos análisis se realizaron en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

### **Cuantificación de las variables morfológicas de la lechuga**

Luego de sembradas las lechugas y aplicar el biol en sus distintas dosis, se evaluaron variables morfológicas a las 4, 5 y 6 semanas después de la siembra según su ciclo fenológico y variedad. Las variables evaluadas incluyeron la altura de la planta, el largo y el diámetro de la raíz con la extracción de una planta por tratamiento (Xiu, 2018).

Para la variable de altura, se colocó una lechuga sobre un papel blanco y se midió con un metro flexible desde la base del tallo hasta el extremo del meristemo apical. Para medir el largo de la raíz, se separó mediante un corte en la base del tallo y se extendió sobre una hoja blanca junto a una regla para su medición. El diámetro de la raíz se midió con un

calibrador o pie de rey tras cortar la base de la planta (Cotrina *et al.*, 2020). Los datos obtenidos en campo para cada unidad experimental se registraron en una tabla de Microsoft Excel.

### **Análisis del crecimiento de la lechuga**

Para evaluar el crecimiento de la lechuga, se midieron las variables de biomasa húmeda (BH), materia seca (MS) y peso de la raíz. Para determinar la biomasa húmeda, se seleccionó una planta completa, de la cual se separó la raíz a partir del corte en la base del tallo y se pesó en una balanza. Una vez obtenido el dato de BH, se pesó por separado la raíz de la planta para obtener el dato del peso de la raíz. Luego, la lechuga sin raíz se colocó en un horno en la EELJ a 80 °C durante 2-3 días. Posteriormente, se pesó nuevamente la planta. Con los datos de la BH y MS, se aplicó la siguiente fórmula descrita por Petruzzi (2005), para calcular la materia seca (MS):

$$(MS): MS = [(MS - BH) / BH] * 100$$

### **Dosis y aplicaciones**

Las dosis empleadas se definieron con base en concentraciones previamente utilizadas en formulaciones de bioles desarrollados en la EELJ y adaptadas al volumen estándar de aplicación correspondiente a una bomba de espalda de 20 litros. Las cuatro dosis evaluadas se diferenciaron únicamente por la cantidad de biol aplicada por unidad de volumen. Las dosis correspondieron a 400 mL (2%), 800 mL (4%) y 1 200 mL (6%) de biol, designadas como D1, D2 y D3, respectivamente. Además, se incluyó un tratamiento testigo (T) sin aplicación de biol.

Las aplicaciones foliares de biol se realizaron en tres momentos específicos del desarrollo del cultivo: a los 6, 14 y 22 días después de la siembra (dds). Estos intervalos fueron seleccionados con el fin de coincidir con etapas clave del establecimiento y crecimiento temprano de las plantas, buscando maximizar la absorción y el potencial efecto bioestimulante del insumo.

## Diseño Experimental

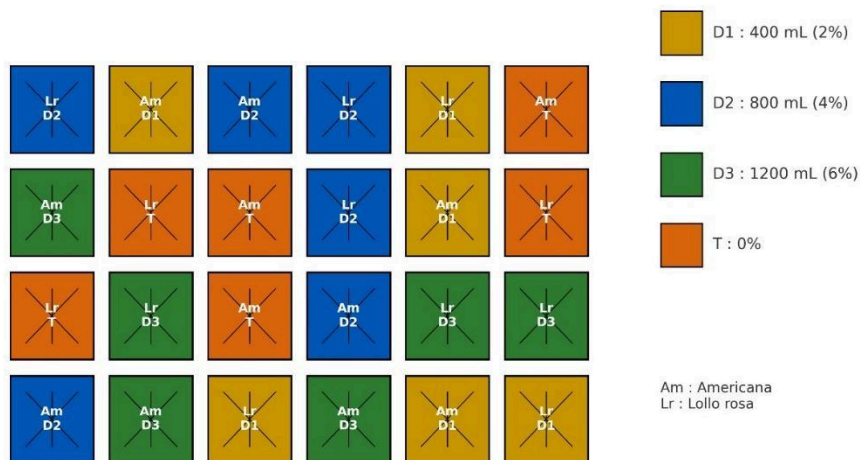
El experimento se desarrolló bajo un diseño de parcelas divididas completamente al azar, con un total de 24 unidades experimentales distribuidas en un área bajo invernadero. Cada unidad experimental (bloque) estuvo conformada por 30 plantas de lechuga, organizadas en tres hileras de diez plantas cada una, lo que garantizó la homogeneidad de las parcelas.

Los tratamientos correspondieron a cuatro dosis de biol aplicadas sobre dos variedades de lechuga: Americana (Am) y Lollo rosa (Lr). Las dosis evaluadas fueron 0 % (testigo), 2 %, 4 % y 6 %, con tres repeticiones por tratamiento y por variedad, para un total de 24 bloques y 720 plantas en el ensayo. La distribución de los tratamientos se realizó de forma aleatoria dentro del área experimental (Figura 1).

El biol se aplicó en tres momentos del ciclo del cultivo: a los 8, 16 y 22 días después del trasplante, mediante aspersión foliar y utilizando el mismo volumen en todos los tratamientos. El testigo recibió únicamente agua en la misma frecuencia y volumen de aplicación.

**Figura 1**

*Esquema de diseño de parcelas divididas completamente al azar para la ejecución del experimento.*



## **Análisis estadístico**

Se realizó un análisis descriptivo de los datos con el objetivo de conocer el comportamiento general de las variables evaluadas en cada tratamiento. Este análisis permitió identificar tendencias, rangos y posibles diferencias preliminares entre las dosis aplicadas. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis inferencial con el fin de determinar la existencia de correlaciones entre las variables y evaluar la significancia estadística de los efectos generados por las distintas dosis de biol sobre cada una de ellas.

Para la evaluación de las variables, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para un diseño de parcelas divididas completamente al azar con una estructura de tratamientos bifactorial. Se comprobaron los supuestos del ANOVA mediante gráficos diagnósticos (cuantiles de los términos de error, gráficos de residuos y gráficos de residuos vs. predichos) y se seleccionó el mejor modelo según los criterios de Akaike (AIC) y de información bayesiana (BIC). En los casos que se detectaron diferencias estadísticas significativas, ya sea en la interacción o en alguno de los factores de forma individual, se procedió a realizar comparaciones de medias mediante la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC), considerando un nivel de significancia de  $p \leq 0,05$ . Todos los análisis estadísticos fueron efectuados utilizando el software R.

## **Discusión y resultados**

### **Caracterización fisicoquímica y microbiológica del biol**

El biol obtenido mostró una composición rica en macro y micronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En cuanto a los macronutrientes, se registraron concentraciones de 0,39 % de nitrógeno, 0,02 % de fósforo, 0,15 % de calcio, 0,45 % de magnesio y 0,43 % de azufre, expresadas en porcentaje en masa. Por su parte, los micronutrientes, determinados en  $\text{mg kg}^{-1}$ , presentaron valores de 69 para hierro, 1 para cobre, 1 048 para zinc, 18 para manganeso y 606 para boro. Estos resultados sugieren que el biol elaborado posee un perfil nutricional adecuado, que podría contribuir

significativamente al fortalecimiento nutricional de los cultivos tratados, especialmente en suelos tropicales donde estas deficiencias son frecuentes (Kinaichu *et al.*, 2019).

Los valores de macro y micronutrientes del biol evidencian su potencial como fuente nutricional para las plantas. En particular, las concentraciones de nitrógeno (0,40 %) y magnesio (0,45%) sugieren una contribución directa a procesos metabólicos esenciales, como la síntesis de clorofila y proteínas, funciones ampliamente documentadas (Navarro & Navarro, 2003; Ube, 2019). Asimismo, los niveles detectados de zinc ( $1\ 048\ \text{mg kg}^{-1}$ ) y boro ( $606\ \text{mg kg}^{-1}$ ) podrían favorecer la regulación enzimática, el metabolismo del nitrógeno y el transporte de carbohidratos, además de intervenir en la formación de ácidos nucleicos y proteínas (Navarro & Navarro, 2003; Larriva, 2006). En conjunto, estos resultados confirman que la composición química del biol no solo representa un aporte cuantitativo de nutrientes, sino que también sugiere un efecto funcional potencial en el crecimiento y la productividad de los cultivos.

A los 10 días de fermentación, los niveles de minerales obtenidos en el biol preparado fueron considerablemente más altos que los reportados en bioles de origen animal. En particular, las concentraciones de potasio (0,4 %), calcio (0,1 %), sodio (0,2 %), magnesio (0,45 %) y los micronutrientes cobre ( $1\ \text{mg kg}^{-1}$ ) y zinc ( $1\ 048\ \text{mg kg}^{-1}$ ) superaron ampliamente las documentadas por Cano-Hernández *et al.* (2016) en bioles elaborados con excretas bovinas, quienes registraron valores de potasio de 1,2 %, calcio de 0,04 %, sodio de 0,09 %, magnesio de 0,62 %, cobre de  $62,1\ \text{mg L}^{-1}$  y zinc de  $20,84\ \text{mg L}^{-1}$ . Estas diferencias representan incrementos de hasta cuatro veces en el contenido de algunos elementos, lo que refleja un mayor enriquecimiento mineral en el biol obtenido en esta investigación.

Dado que la riqueza mineral de un biol está determinada por los insumos utilizados en su elaboración, los resultados obtenidos demuestran no solo una alta concentración de macro y micronutrientes, sino que también el potencial de este preparado como una alternativa fertilizante integral. A diferencia de los bioles basados en excretas animales, el producto desarrollado mostró una composición más diversa y equilibrada, lo que sugiere una mayor capacidad para satisfacer múltiples requerimientos nutricionales de las plantas. Estos hallazgos también reflejan la influencia de la materia prima en la activación

microbiana, elemento clave para mejorar la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia de este biofertilizante líquido (Araya, 2010).

Un aspecto relevante del análisis químico del biol es su similitud con los parámetros característicos de un análisis de fertilidad de suelos. La presencia de una amplia gama de elementos en distintas concentraciones sugiere que el biol podría ofrecer un espectro nutricional más completo que los fertilizantes sintéticos de composición definida (Sánchez-Llevat *et al.*, 2023). Esta diversidad en la composición resulta especialmente valiosa en sistemas agrícolas en donde se busca fortalecer la resiliencia del suelo mediante insumos orgánicos multifuncionales.

Adicionalmente, los datos obtenidos confirman que la presencia, incluso en pequeñas cantidades, de ciertos elementos “traza” en el biol elaborado puede marcar una diferencia significativa en el desarrollo vegetal. Esto significa que el rendimiento de un cultivo no depende de la cantidad total de nutrientes disponibles, sino del nutriente presente en menor concentración con respecto a las necesidades de la planta, según la ley del mínimo de Liebig (González, 2021). En este sentido, más que las concentraciones absolutas de cada nutriente, la riqueza mineral y la diversidad de compuestos presentes en este biol constituyen una ventaja agronómica significativa, especialmente en suelos con deficiencias específicas o desequilibrios nutricionales (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2015).

En el cultivo de lechuga, los niveles foliares de nitrógeno, potasio, hierro, zinc y manganeso disminuyen a los 35 días después de la siembra en comparación con los 21 días. Sin embargo, a los 49 días, estos mismos elementos siguen siendo los más demandados por la planta, lo que coincide con las necesidades detectadas en las etapas anteriores (Bertsch, 2009). Estos intervalos de tiempo son cruciales, ya que no solo abarcan la duración de este ensayo experimental, sino que también coinciden con el periodo completo desde la siembra hasta la cosecha del cultivo.

Con respecto a los análisis físicos revelaron que el biol presentó un pH de 6,7, una conductividad eléctrica (CE) de 30,7 mS cm<sup>-1</sup> y una densidad de 1,04 unidades. El pH registrado se ubicó dentro del rango adecuado para el cultivo de lechuga, ya que niveles de acidez semejantes no representan un problema para esta especie (Samarakoon *et al.*, 2020). Asimismo, tanto el pH como la densidad del fertilizante orgánico presentaron valores

acordes con los reportados en estudios previos (Cano-Hernández, 2016; Gil Ramírez, 2023).

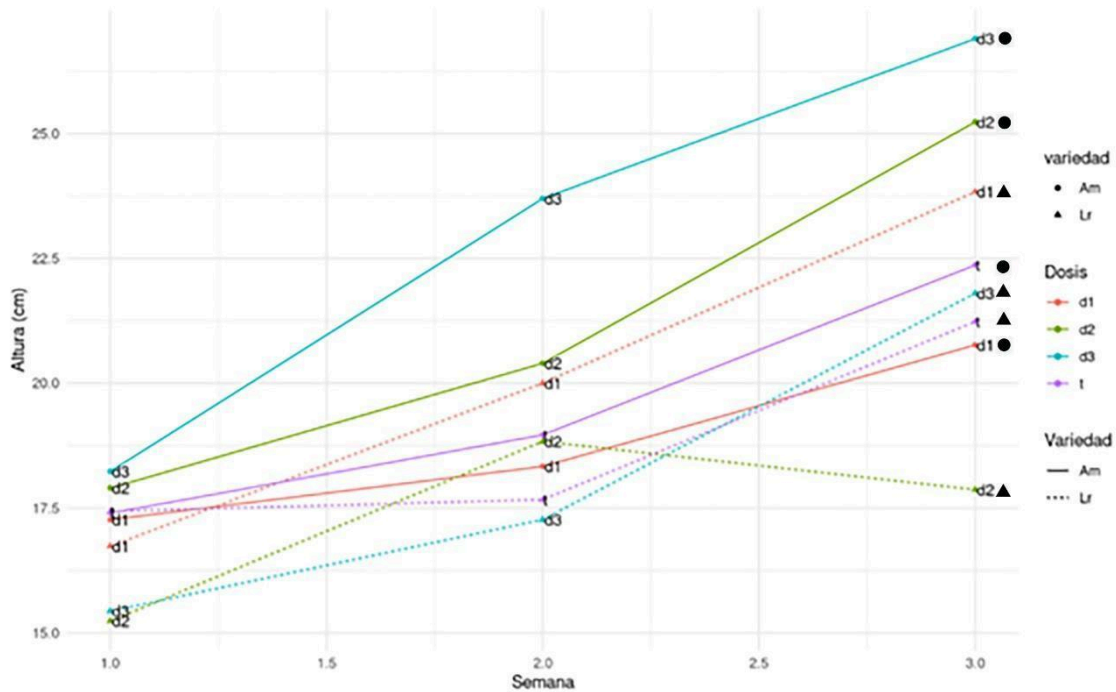
El valor de conductividad eléctrica fue notablemente más alto que los registrados en bioproductos similares a diferencia de los valores del pH y la densidad. Por ejemplo, bioles derivados de residuos orgánicos mostraron conductividades de 2,7 y 2,9 mS cm<sup>-1</sup> (Jara-Samaniego et al., 2021), mientras que los obtenidos de excretas animales pueden alcanzar entre 8,4 y 8,9 mS cm<sup>-1</sup> (Cano-Hernández et al., 2016). Incluso, los valores más elevados reportados en bioles de origen animal ha llegado a 16,3 mS cm<sup>-1</sup>, lo que resulta en una buena respuesta de las plantas tratadas (Gil Ramírez et al., 2023). Sin embargo, la conductividad eléctrica en el biol preparado superó ampliamente estos valores y se clasificó como altamente salino por lo que es fundamental considerar cuidadosamente su dosificación (Henríquez & Cabalceta, 2012). De acuerdo con la FAO (2006), una alta conductividad eléctrica en soluciones foliares podía generar efectos osmóticos negativos en las hojas. Pese a ello, en este experimento no se observaron daños visibles relacionados con la elevada conductividad eléctrica.

### **Análisis del efecto del biol sobre el desarrollo vegetal**

El análisis descriptivo evidenció cómo las diferentes variables de crecimiento presentaron cambios a lo largo de las semanas del ensayo. La dosis D3 (1 200 mL) aplicada a la variedad Americana, produjo un efecto diferenciado en la altura de las plantas, con incrementos superiores respecto a los demás tratamientos. Por el contrario, las dosis D2 (800 mL) y D1 (400 mL) mostraron valores más homogéneos, entre 17,5 cm y 21 cm para esta variable (Figura 2). Todas las plantas mostraron incrementos progresivos en altura a lo largo del tiempo, excepto la variedad Lollo Rosa bajo la dosis D2, que presentó una leve disminución durante la tercera semana. En general, la dosis D3 aplicada a la variedad Americana mantuvo los valores más altos de crecimiento, confirmando su mejor desempeño en la variable de altura (Figura 2).

### **Figura 2**

Comportamiento de la altura de las plantas de lechuga (cm) en función de las semanas para la variedad Americana (Ar) y Lollo rosa (Lr) según los distintos tratamientos



En general, se observó que el aumento en la dosis del biol no garantizó un mayor desarrollo de las plantas. Según la etapa fenológica del cultivo, una dosis puede resultar insuficiente o excesiva, lo que podría provocar limitaciones fisiológicas por deficiencia nutricional o incluso efectos adversos por acumulación de sales en tejidos foliares jóvenes que son especialmente sensibles (Bertsch, 2009; Aguado *et al.*, 2023).

El análisis estadístico inferencial, mediante un ANOVA bifactorial, reveló que la mayoría de las variables no mostraron diferencias significativas entre dosis ni entre variedades. No obstante, la biomasa seca presentó una diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0.0276$ ), lo que la posiciona como un indicador sensible para evaluar el efecto de los tratamientos, al encontrarse por debajo del umbral de significancia del 5% ( $p < 0.05$ ). Este resultado sugiere que las dosis aplicadas influyeron de manera diferencial sobre esta variable. Las pruebas de normalidad (cuantiles) y de homocedasticidad (residuos vs. predichos) confirmaron la validez del modelo, demostrando que los residuos se distribuyeron de manera aleatoria y normal, sin sesgos ni patrones sistemáticos (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Significancia estadística (p-valores) de las variables medidas bajo dosis, variedad y su interacción*

<b>Factores</b>	<b>Altura</b>	<b>Largo raíz</b>	<b>Diámetro tallo</b>	<b>Peso raíz</b>	<b>Biomasa húmeda</b>	<b>Biomasa seca</b>
Dosis	0.564	0.5530	0.0521	0.0904	0.1280	<b>0.0276</b>
Variedad	0.102	0.5580	0.2823	0.8235	0.1350	0.0061
Dosis vs Variedad	0.117	0.3210	0.2634	0.5844	0.2030	0.1457

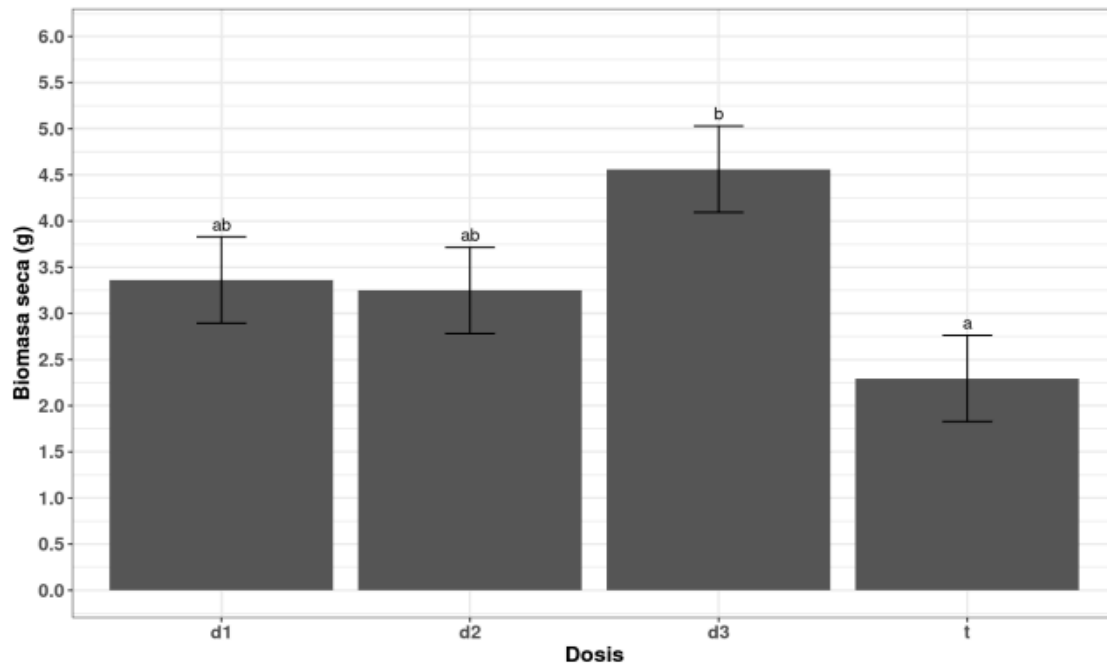
### **Análisis de la biomasa seca**

En cuanto a la biomasa seca, se observó un incremento gradual a lo largo del tiempo, particularmente en la D3 aplicado a la variedad Americana. Este tratamiento no solo presentó los valores más altos, sino también una mayor homogeneidad en las mediciones. Por el contrario, el tratamiento testigo (T) obtuvo los valores más bajos. La variedad Americana superó consistentemente a la variedad Lollo rosa en esta variable, lo que podría atribuirse a diferencias fisiológicas en su respuesta al biol.

Los resultados de la prueba de separación de medias mostraron que la dosis D3 y el testigo (T) formaron grupos estadísticamente diferenciados, con una ventaja evidente para D3. Sin embargo, las dosis D1 y D2 no presentaron diferencias significativas entre sí ni respecto a D3, lo que sugiere que, aunque D3 evidenció una tendencia favorable, esta no fue concluyente en comparación con las demás dosis (Figura 3).

### **Figura 3**

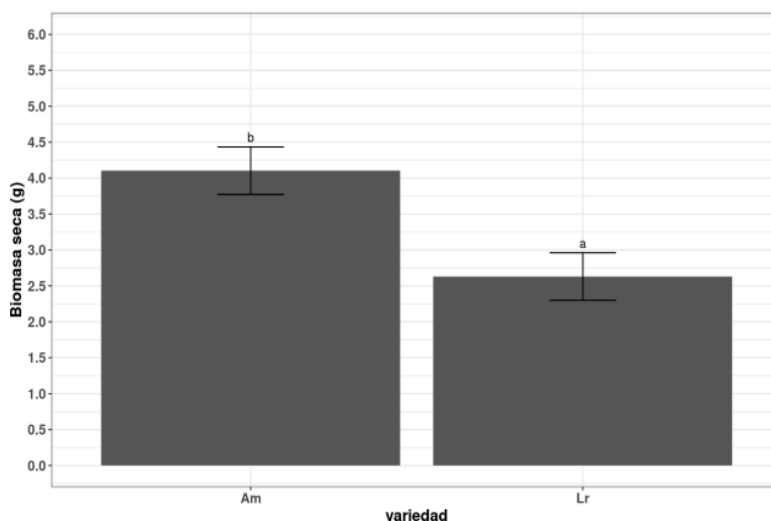
*Comparación de la biomasa seca (g) en función de las diferentes dosis aplicadas*



El análisis de la biomasa seca según la variedad de lechuga evidenció diferencias significativas entre los genotipos evaluados. La variedad Americana (Am) registró los valores más altos, lo que sugiere una mayor capacidad de acumulación de materia seca y una mejor respuesta al tratamiento con respecto a la variedad Lollo rosa (Lr) (Figura 4).

#### Figura 4

*Comparación de la biomasa seca promedio (g) en las variedades de lechuga Americana (Am) y Lollo rosa (Lr)*



Los resultados mostraron que la aplicación de biol favoreció la acumulación de biomasa seca, una variable directamente relacionada con el desarrollo de estructuras vegetativas de importancia funcional y económica, como las hojas en el cultivo de lechuga (Barrientos *et al.*, 2015). Este efecto refleja una mayor eficiencia en la conversión de nutrientes en tejido productivo, lo que se traduce en mejoras tanto en el rendimiento como en la calidad del cultivo (Martínez & Leyva, 2014; Mall *et al.*, 2021).

Como se indicó anteriormente, el análisis químico del biol evidenció la presencia de macronutrientes esenciales como nitrógeno y potasio, elementos directamente involucrados en procesos metabólicos clave como la síntesis de proteínas y la regulación osmótica (Navarro & Navarro, 2003). En cultivos de ciclo corto, como la lechuga, la disponibilidad inmediata de estos nutrientes durante las primeras semanas resulta determinante para asegurar un crecimiento vigoroso (Bertsch, 2009).

Si bien podría suponerse que el incremento en la dosis respondió a pérdidas asociadas al método de aplicación, la evidencia no lo respalda. Por el contrario, se ha demostrado que el uso de fertilizantes foliares como el biol puede reducir de manera significativa las emisiones gaseosas de nitrógeno y las pérdidas por lixiviación, especialmente en ambientes húmedos (Alfaro *et al.*, 2021; Arias *et al.*, 2009; Elejalde & Daza, 2023).

En el caso del magnesio, su absorción por las raíces también se ve afectada negativamente por las bajas temperaturas del suelo (Ube, 2019). No obstante, aunque la absorción foliar contribuye a la eficiencia nutricional, las raíces siguen siendo el principal órgano de absorción. Por ello, la aplicación foliar debe entenderse como un complemento que permite corregir deficiencias puntuales y mejorar la disponibilidad inmediata de nutrientes esenciales (FAO, 2006).

### **Conclusiones**

El bajo costo y la facilidad de elaboración hacen de los bioestimulantes y bioles una alternativa eficiente para el suministro de nutrientes en cultivos de ciclo corto, como la lechuga.

En esta investigación se caracterizó física, química y microbiológicamente un biol elaborado a partir de ingredientes orgánicos fermentados, y se evaluó su efecto bioestimulante en el cultivo de lechuga. Los resultados evidenciaron que este bioinsumo líquido presentó una composición nutricional balanceada, con concentraciones relevantes de macro y micronutrientes esenciales para las primeras etapas de desarrollo en cultivos de ciclo corto. Dichas propiedades le confieren un alto potencial como biofertilizante de origen orgánico, capaz de mejorar la productividad y sostenibilidad de sistemas hortícolas.

El biol utilizado en este ensayo presentó una mayor diversidad y concentración de minerales esenciales en comparación con bioles de origen animal, lo que sugiere una capacidad fertilizante superior. Sin embargo, su elevada conductividad eléctrica requiere una dosificación controlada para evitar posibles efectos adversos en el cultivo.

A nivel agronómico, no se observaron diferencias significativas entre las dosis aplicadas y las variables evaluadas, con excepción de la biomasa seca, la cual constituye un indicador clave del desarrollo estructural de la planta. En este caso, la dosis D3 mostró los valores más altos de biomasa seca, evidenciando una mejor respuesta en la variedad Americana.

La aplicación foliar del biol resultó adecuada para las condiciones climáticas de la zona de estudio, al minimizar la pérdida de compuestos nitrogenados por lixiviación bajo

alta humedad. Además, no se registraron síntomas de fitotoxicidad, a pesar de los elevados valores de conductividad eléctrica determinados en el análisis físico.

El biol evaluado representa una alternativa viable y sostenible para suplir los requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga. Su bajo costo, facilidad de aplicación y efecto positivo sobre la acumulación de biomasa seca lo posicionan como una herramienta útil dentro de los sistemas de agricultura orgánica. Asimismo, su uso contribuye a reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos, favoreciendo prácticas agrícolas más sostenibles y coherentes con las demandas actuales de los consumidores y mercados. Finalmente, estos resultados respaldan el uso del biol como insumo agroecológico viable para optimizar la nutrición foliar y la eficiencia productiva de cultivos de lechuga bajo condiciones tropicales.”

### **Referencias**

- Aguado, G., Uliarte, E., y Funes-Pinter, M. (2023). Efecto de diferentes concentraciones de biol en la germinación y producción de plantines de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 76, 10149-10156.
- Alfaro, M., Hube, S., Salazar, F., Rodríguez, M., Jiménez, A., Nieto, B., & Mejías, J. (2021). Evaluación de las pérdidas gaseosas de nitrógeno por aplicación foliar en praderas permanentes. *XLV Congreso Anual Sochipa 2020 Chile*.
- Arias-Suárez, E., Sadeghian-Khalajabadi, S., Mejía-Muñoz, B., & Morales-Londoño, C. S. (2009). Lixiviación del nitrógeno en algunos suelos de la zona cafetalera y su relación con la textura. *Cenicafé*, 60(3), 239-252.
- Barrientos, H., del Castillo, C., & García, M. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1).
- Bertsch, F. (2009). *Absorción de Nutrientes por los cultivos*. Asociación costarricense de la ciencia del suelo.

- Cano-Hernández, M., Bennet-Eaton, A., Silva-Guerrero, E., Robles-González, S., Sainos-Aguirre, U., & Castorena-García, H. (2016). Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia*, 50(4), 471-479. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/302/30246030008.pdf>
- Cotrina Cabello, G. G., Masgo Sánchez, L. N., Tumbay Ambrocio, Y. Y., Alejos Patiño, I. W., Córdova Mendoza, P., & Patiño Rivera, A. R. (2020). Efectos del biol y súper biol en la producción agroecológica de la lechuga (*Lactuca sativa*) variedad Seda en el centro poblado de Chinchopampa–Chaglla–Pachitea–Huánuco. *Journal of the Academy*, 3. <https://doi.org/10.47058/joa3.2>
- Elejalde, C. C., & Daza, M. C. (2022). Efecto de las enmiendas órgano minerales en la lixiviación de nitrógeno en dos inceptisoles. *Acta Agronómica*, 70(4). <https://doi.org/10.15446/acag.v70n4.7396>
- Gil Ramírez, L. A., Leiva Cabrera, F., Lezama Escobedo, M. K., Bardales Vásquez, C. B., & Otros. (2023). Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *ALFA. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 7(20), 336-345. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>
- González, E. (2021). Riesgos de eutrofización y sus implicaciones en los lagos y embalses. *Acta Biol*, 41(1), 17-25.
- Gutiérrez, E., Gutiérrez, M., & Ortiz, C. (2015). Manejo integrado de nutrientes en sistemas agrícolas intensivos: revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1).
- Hernández-Fernández, M., Cordero-Bueso, G., Ruiz-Muñoz, M., y Cantoral, J. M. (2021). Culturable Yeasts as Biofertilizers and Biopesticides for a Sustainable Agriculture: A Comprehensive Review. *Plants*, 10(5), 822. <https://doi.org/10.3390/plants10050822>
- Jara-Samaniego, L. J., Gallegos-Núñez, J. M., y Cruz-Torres, M. A. (2021). Elaboración y caracterización de bioles de residuos orgánicos. *InterSedes*, 189-203. <https://doi.org/10.15517/isucr.v22i45.46013>
- Kinaichu, J. G., Nyaga, C. G., Njogu, P., Gatebe, E. G., & Maina, E. G. (2019). Comparative Study of Selected Macro and Micronutrients in Bio Slurry Samples from Different Feed Stocks and Inorganic Fertilizers. *Asian Journal of Applied Chemistry Research*, 2(3-4), 1-7. <https://doi.org/10.9734/ajacr/2018/v2i3-430075>

- Kumar, R., & Dev, K. (2017). *Effects of chemical fertilizers on human health and environment: A review. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 4(6), 112-117.  
<https://iarjset.com/upload/2017/june-17/IARJSET%2036.pdf>
- Kleerebezem, M. (2004). Lactic acid bacteria: Genetics, metabolism and applications. En S. Salminen, A. von Wright, & A. Ouwehand (Eds.), *Lactic acid bacteria: Microbiological and functional aspects* (3rd ed., pp. 139–168). CRC Press.
- Larriva, N. (2003). *Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 2(1), 23-24.  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8645>
- Mall, M., Kumar, R., & Akhtar, Md. Q. (2021). Horticultural crops and abiotic stress challenges. In *Stress Tolerance in Horticultural Crops* (pp. 1-19). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822849-4.00001-2>
- Manurung, G. C. T., Hasanah, Y., Hanum, C., & Mawarni, L. (2020). The role of bamboo shoot and shallot extracts combination as natural plant growth regulator on the growth of binahong (*Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis.) in Medan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 454(1).  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/454/1/012169>
- Martínez, A., & Leyva, A. (2014). La biomasa de los cultivos en el agroecosistema: sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 35(1).
- Mata, R., & Castro, J. (2019). Geoportal de suelos de Costa Rica como bien público al servicio del país. XIII Congreso Latinoamericano y Del Caribe de Ingeniería Agrícola, 32, 51-56.
- Navarro, S., & Navarro, G. (2003). *Química Agrícola* (2nd ed., Vol. 1). Munid-Prensa Libros. ISBN 978-84-8476-155-6.
- Petruzzi, H. J., Stritzler, N. P., Ferri, C. M., Pagella, J. H., & Rabotnikof, C. M. (2005). Determinación de materia seca por métodos indirectos: utilización del horno a microondas. *Boletín de divulgación Técnica*, 88, 1-11.

- Pomboza, P., León, O., Villacís, L., Vega, J., & Aldás, J. (2016). Influencia del biol en el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa* L variedad Iceberg. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2). <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2016.040200084>
- Restrepo Rivera, J. (2007). *El ABC de la agricultura orgánica y harina de rocas* (1.ª ed.). Managua, Nicaragua: SIMAS. ISBN 978-99924-55-27-2.
- Roy, R., Finck, A., Blair, G., & Tandon, H. (2006). *Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Samarakoon, U., Palmer, J., Ling, P., & Altland, J. (2020). Effects of electrical conductivity, pH, and foliar application of calcium chloride on yield and tipburn of *Lactuca sativa* grown using the nutrient-Film technique. *HortScience*, 55(8), 1265-1271. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15070-20>
- Sánchez, I., Ravelo-Ortega, R., & Moreno-Núñez Martha. (2023). Caracterización de la composición química del biol obtenido en la Isla de la Juventud. *Ingeniería Agrícola*, 13(4).
- Sánchez-Llevat, I. L., Ravelo-Ortega, R., & Moreno-Núñez, M. (2023). Caracterización de la composición química del BIOL obtenido en la Isla de la Juventud. *Ingeniería Agrícola*, 13(4). <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1750>
- Taiz, L., y Zeiger, E. (2010). *Fisiología vegetal* (5.ª ed.). Artmed. ISBN 978-85-363-2200-3.
- Tao, Y., Wang, Z., Ma, C., He, H., Xu, J., Jin, Y., Wang, H., y Zheng, X. (2019). Vegetation heterogeneity effects on soil macro-arthropods in an alpine tundra of the Changbai Mountains, China. *Plants*, 8(10), 418. <https://doi.org/10.3390/plants8100418>
- Ube, S. (2019). *Importancia del magnesio como macroelemento para el desarrollo y rendimiento del cultivo de arroz (Oryza sativa L.)* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional UTEB. <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/7273>
- Viteri, M. L., Ghezán, G., & Iglesias, D. (2013). *Tomate y lechuga: Producción, comercialización y consumo*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

*Estudios Socioeconómicos de los Sistemas Agroalimentarios y Agroindustriales*, (14), 12-22.

Xiu Canche, P. A. (2018). *Efectos de bioles en brócoli (Brassica oleracea) y lechuga (Lactuca sativa) en la zona hortícola de Cartago, Costa Rica* [Tesis de maestría]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8722>