

Comparative Effect of Two Fermented Bioles on the Morphological Growth of Lettuce (*Lactuca sativa*) Cultivated in Pots

*Abstract– The main objective of this research was to comparatively evaluate the effect of two types of fermented bioles on the morphological growth characteristics of lettuce (*Lactuca sativa*) cultivated in pots. The bioles were prepared using different microorganisms for anaerobic fermentation. After a 120-day fermentation period, a 5% foliar fertilizer solution was applied in three treatments: control (T0), LEVA biol (T1), and BACID biol (T2). The distribution followed a completely randomized block design. Plant height, number of leaves, and leaf diameter were evaluated. After 14 days, treatments T1 and T2 showed a 10% and 11% increase in plant height, respectively, compared to T0. On day 21, T2 showed a noticeable increase in the number of leaves. Additionally, on day 14, leaf diameter increased by 5% and 7% in T1 and T2, respectively, compared to T0. These results support the positive effect of bioles on the growth of lettuce in pots. This research contributes to the scientific community by promoting the development of environmentally friendly technologies.*

Keywords– Biol, biofertilizer, lactic bacteria, plant morphology.

Efecto comparativo de dos bioles fermentados sobre el crecimiento morfológico de lechuga (*Lactuca sativa*) cultivada en maceteros

Marvin Tirado Zavaleta¹ ; Bill Mostacero Molina¹ ; Liana Cárdenas Gutiérrez¹ ; Mariano del Castillo Sagastegui¹ 
Universidad Privada del Norte, Perú, N00150887@upn.pe, N00113493@upn.pe, liana.cardenas@upn.edu.pe, mariano.delcastillo@upn.edu.pe

Resumen– El presente trabajo de investigación planteó como objetivo principal evaluar comparativamente el efecto de dos tipos de bioles fermentados sobre las características morfológicas del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) cultivada en maceteros. Se elaboraron bioles diferenciados por el microorganismo utilizado en la fermentación anaerobia. Tras una fermentación de 120 días, se aplicó un fertilizante foliar al 5 % en tres tratamientos: testigo (T0), biol LEVA (T1) y biol BACID (T2). La distribución se realizó con un diseño experimental de bloques completamente al azar. Se evaluó la altura de la planta, el número y diámetro de hojas. Después de 14 días, los tratamientos T1 y T2 mostraron un aumento del 10 % y 11% respectivamente en altura de plantas en comparación a T0. Para el número de hojas en el día 21, se observó una variación para T2, por otro lado, en el diámetro de hojas en el día 14 mostró un crecimiento del 5 % y 7 % en T1 y T2 respecto a T0. Con estos resultados se respaldó el efecto positivo de los bioles en el crecimiento de la lechuga en maceteros. Esta investigación contribuyó a la comunidad científica para el desarrollo de tecnologías eco amigables.

Palabras clave– Biol, biofertilizante, bacterias lácticas, morfología vegetal.

I. INTRODUCCIÓN

Es impactante la crisis que se vive a nivel mundial debido a la exposición del sistema climático por el aprovechamiento de recursos naturales, actualmente se ha registrado un aumento significativo en el consumo de combustibles fósiles, equivalente a una elevación de doce veces más con respecto al siglo anterior. De igual manera la extracción de recursos minerales, llegando a ser treinta y cuatro veces mayor. Estos datos son un reflejo de la variabilidad en los modelos de consumo y producción en el mundo y tienen implicaciones significativas para la sostenibilidad ambiental [1]. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) establece que en el año 2050 se proyecta que la población será de alrededor de 9,1 millones de habitantes suponiendo el continuo crecimiento de la demanda de alimentos, alineado con el desarrollo de la industria alimentaria y el uso de más recursos naturales [2]. En la última década, la industria alimentaria ha elevado su producción en un 50 %, por ende, crece el riesgo del desarrollo de nuevas patologías por el uso de pesticidas, que tienden a ser cada vez más tóxicos debido a la resistencia que van desarrollando las plagas [3].

[4]. La introducción de fertilizantes orgánicos es de vital importancia en momentos como este, junto a la progresiva escasez de la urea, llega un aumento en la demanda del fertilizante sintético que nos induce a dar pasos agigantados

para cambiar la llamada agricultura moderna. Una alternativa orgánica que se ponía en práctica antes del uso de los fertilizantes sintéticos era el reaprovechamiento de residuos sólidos, sobre todo el material orgánico por medio de un proceso de descomposición aerobia que favorece a reducir el total de desechos arrojados al medio ambiente, este método origina un abono orgánico que se aprovecha para la fertilización de parques, jardines, cultivos agrícolas y huertos [5].

De acuerdo con el reporte anual de OEFA en el año 2015, los desechos en forma de sólidos producidos en la ciudad de Lima están compuestos en mayor proporción por material orgánico, que simbolizan el 51,6 % de la cantidad total de desechos generados. Los residuos orgánicos constituyen una problemática a la cual se le puede dar solución con un plan de gestión ambiental [6]. La lechuga (*Lactuca sativa*) es una hortaliza que cuenta con bastantes variedades en el marco de la región, utilizada principalmente en variedades de la cocina peruana, servido en platos especiales y ensaladas [7].

El presente trabajo planteó evaluar el efecto de dos tipos de bioles en sus características morfológicas del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) en maceteros, esto buscando generar una posible alternativa al conocido cultivo con fertilizantes químicos que es empleado en su mayoría en la industria agrícola del entorno nacional. Por ello, se buscó resolver la pregunta de investigación ¿Cuál es el efecto comparativo de dos tipos de bioles fermentados sobre las características morfológicas del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) cultivada en maceteros?; teniendo como objetivo evaluar comparativamente el efecto de dos tipos de bioles fermentados sobre las características morfológicas del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) cultivada en maceteros.

Para profundizar el entendimiento de este estudio se consideraron investigaciones previas relacionadas con las variables a tratar, dentro de las más relevantes se encuentran las siguientes.

En el estudio titulado "Fertilización orgánica en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus l.*) en la Amazonía Ecuatoriana" publicado en el Journal of Chemistry and Ecology, se exploró la aplicación de fertilización orgánica para la obtención de cultivos de lechuga y rábano en la Amazonía Ecuatoriana. Los autores utilizaron diferentes tipos de fertilizantes orgánicos, incluyendo compost, humus, y guano de aves, y evaluaron su efecto en la producción de lechuga y rábano en la región. Los efectos de fertilizantes

orgánicos evidenciaron significativamente la calidad y el rendimiento de los cultivos de lechuga y rábano en comparación con los cultivos que recibieron fertilización química convencional [8].

En el artículo científico titulado "Preparación de biol a partir de residuos orgánicos" publicado en la revista RedBioLAC, [9], presentan un estudio sobre la elaboración de biol a partir de residuos orgánicos. El estudio se centró en evaluar la certeza de la preparación de biol como una alternativa sostenible para el uso de fertilizantes en la agricultura. Para ello, se utilizaron diferentes materiales orgánicos como estiércol, residuos vegetales y bagazo de caña, los cuales fueron sometidos a un proceso de fermentación para la obtención del biol. Los resultados mostraron que el biol obtenido presentó un alto contenido de nutrientes y una mayor actividad biológica, lo que lo convierte en una elección viable y sostenible para la aplicación en la agricultura moderna.

En su tesis titulada "Estudio del efecto de Bioles y cepas de Trichoderma sp. aisladas de zonas cacaoteras, como alternativas de control de Moniliophthora roreri, en condiciones in vitro", [10], investiga sobre el uso de cepas de Trichoderma sp. y bioles, para el control de Moniliophthora roreri, una enfermedad que afecta los cultivos de cacao. El estudio se llevó a cabo en condiciones in vitro, utilizando diferentes tipos de bioles y cepas de Trichoderma sp. En los resultados se presentaron una efectividad significativa en el control de la enfermedad, lo que sugiere que estos podrían ser utilizados como alternativas sostenibles y efectivas para la inspección de Moniliophthora roreri en los cultivos de cacao.

En la tesis desarrolla por [11], titulada "Efecto de cuatro bioestimulantes en la resistencia sistémica inducida del cultivo de pepino (Cucumis sativus L.) y tomate (Solanum lycopersicum) bajo invernadero" se administraron cuatro enfoques de tratamiento junto con un grupo de control. Cada unidad experimental consistió en tres hileras. Las variables medidas fueron: altura de la planta, grosor del tallo, cantidad de frutos, tamaño de frutos, diámetro de los frutos, peso de los frutos y el total de frutos por planta. Los resultados revelaron que el tratamiento más efectivo resultó ser el T1, con un promedio combinado de peso de los frutos de pepino de 0,57 kg, en comparación con el grupo control que obtuvo 0,42 kg.

En esta sección, hemos dado un paso crucial para brindar al lector una comprensión más profunda del lenguaje especializado y la terminología empleada, para eso se establece un glosario de términos clave.

Fertilizantes orgánicos: Es un abono que utiliza como materia prima estiércol de animales y residuos vegetales, como resultado pueden dar: líquidos (Biol) y sólidos (compost) (Aliaga, s.f.) Incorporar fertilizantes orgánicos es una técnica que puede beneficiar significativamente las propiedades biológicas del suelo [2].

Biol: Es un biofertilizante líquido obtenido a partir de la fermentación anaeróbica de materiales orgánicos, tanto de origen vegetal como animal, en presencia de agua y minerales. Este proceso se realiza en biodigestores cerrados, donde, en ausencia de oxígeno, los microorganismos descomponen la

materia orgánica, generando dos subproductos: un abono líquido (biol) y uno sólido (biocompost o bioabono). El principal objetivo de esta técnica es la producción de fertilizantes orgánicos que mejoren la fertilidad del suelo y promuevan un desarrollo vegetal sostenible [12].

Fermentación anaeróbica: La digestión anaeróbica se refiere a una serie de procesos microbianos que descomponen la materia orgánica, sin la presencia de agentes oxidantes como O2, NO3 y SO4. Durante este proceso, se generan gases y se produce una forma de materia orgánica estabilizada que se puede utilizar como abono para cultivos agrícolas [13].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En función del trabajo de investigación se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) organizado en tres tratamientos que se aplicó a una base de suelo fértil con humus al 20 % para asegurar el desarrollo de las plántulas, siendo primero el crecimiento de la planta natural, sin fertilización añadida (TESTIGO – T0), segundo el fertilizante orgánico (BIOL LEVA – T1) y tercero el fertilizante orgánico con el factor agregado de las bacterias ácido lácticas inoculadas (BIOL BACID – T2); además, los tratamientos se llevó a cabo con tres repeticiones dando un total de nueve unidades experimentales (plantas).

TABLA I
UNIDADES EXPERIMENTALES EVALUADAS POR REPETICIONES

Tratamientos	Repeticiones	Grupo de Plantas	Total
T0	3	1	3
T1	3	1	3
T2	3	1	3
Total			9

La fertilización se realizó en cuatro momentos específicos de todo el proceso de cultivo de la lechuga, para los grupos del biol LEVA y biol BACID, se realizó 7 ddt, 14 ddt, 21 ddt y 28 ddt. El testigo se desarrolla en base al crecimiento producido por los microorganismos que son parte del suelo fértil y el humus agregado inicialmente, permitiendo un contraste amplio de los valores iniciales por muestra. El riego varía en función a las condiciones climáticas debido a que los días con bastante humedad, solo se regaba 2 veces por día.

TABLA II
DISEÑO DE TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES APLICADOS EN EL CULTIVO DE LACTUCA SATIVA

Tratamiento	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Testigo	Riego: 3 veces al día (según condiciones climáticas) Fertilización: Nula	Riego: 3 veces al día (según condiciones climáticas) Fertilización: Nula	Riego: 3 veces al día (según condiciones climáticas) Fertilización: Nula
Biol LEVA	Riego: 3 veces al día (según condiciones climáticas)	Riego: 3 veces al día (según condiciones climáticas)	Riego: 3 veces al día (según condiciones climáticas)

	climáticas) Fertilización: 5 % cc	climáticas) Fertilización: 5 % cc	climáticas) Fertilización: 5 % cc
Biol BACID	Riego: 3 veces al día (según condiciones climáticas) Fertilización: 5 % cc	Riego: 3 veces al día (según condiciones climáticas) Fertilización: 5 % cc	Riego: 3 veces al día (según condiciones climáticas) Fertilización: 5 % cc

La población fue un grupo inicial de 90 semillas en proceso de germinación, se tuvo en cuenta criterios de selección para el trasplante de los germinados a macetas. Fueron 40 plántulas de lechuga (*Lactuca Sativa*) que se trasplantaron, luego de establecer las condiciones adecuadas en las macetas, se seleccionó 27 muestras teniendo como criterio aquellas que se enraizaron de manera adecuada en las macetas después de trasplante.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en el área de investigación y desarrollo de una empresa dedicada a la elaboración de fertilizantes orgánicos de la zona norte del Perú ubicada en el parque industrial de la ciudad de Trujillo en la región La Libertad, las coordenadas están ubicadas en la zona 17M, se muestran los vértices correspondientes.

TABLA III
VÉRTICES DEL ÁREA DEL PROYECTO

Vértices	Coordenadas UTM	
	DATUM: WGS-84, ZONA: 17 M	
	ESTE (m)	NORTE (m)
V-01	713274	9109557
V-02	713324	9109531
V-03	713287	9109460
V-04	713238	9109486

En el área de la ubicación del proyecto se realizó un monitoreo meteorológico en el periodo 2022, ejecutado con una estación meteorológica Davis Instrument, respaldada con certificados de calibración.

Previo a la Etapa 3 del proyecto se realizó el monitoreo meteorológico para evaluar sus parámetros y su relación con respecto a las variables a evaluar, el monitoreo se efectuó en coordenadas ubicadas dentro del área del proyecto. El monitoreo se realizó el 09 de octubre del 2022 a las 10:00:00 y culminó el 10 de octubre del 2022 a las 09:00:00. La temperatura en el transcurso del día durante las horas de luz oscila entre los 25,4 °C y 27,5 °C, se planificó que, durante las primeras horas del día las plántulas se colocaran bajo sombra con paso a la luz indirecta, para regular la sensación térmica y no afecte el crecimiento de la lechuga, que tiene como temperatura ideal 20 °C.

El biol es una mezcla de componentes orgánicos, los ingredientes seleccionados se encuentran con facilidad en la región, cumpliendo las necesidades de macronutrientes y micronutrientes, se determinó la cantidad de ingredientes para los bioles.

TABLA IV
INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DEL FERTILIZANTE BIOL

Componentes	Cantidad	Unidad de medida
Agua	40	l
Estiércol	8	kg
Melaza	1,2	kg
Leonardita	0,9	kg
Dolomita	0,3	kg
Diatomita	0,3	kg
Levadura	0,015	kg
Leche cortada	1	l
Bacterias ácido-lácticas	20	ml

La investigación se llevó a cabo bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, aplicando tres tratamientos a un total de nueve unidades experimentales distribuidas en maceteros: un grupo testigo sin fertilización, un grupo tratado con biol fermentado a base de leche cortada (LEVA) y otro con biol inoculado con bacterias ácido-lácticas (BACID). Cada tratamiento se aplicó a tres plantas, garantizando condiciones homogéneas en el entorno experimental.

La preparación del biol se realizó utilizando dos bidones de 60 litros, adaptados con mangueras y botellas de agua que funcionaron como trampas de gases, asegurando un ambiente anaerobio durante la fermentación. Para su elaboración se emplearon insumos orgánicos de fácil acceso como estiércol fresco, melaza, leche cortada, levadura, dolomita, diatomita, leonardita y bacterias ácido-lácticas en el caso del biol BACID. Los ingredientes fueron clasificados, pesados y mezclados cuidadosamente en etapas, asegurando una disolución homogénea. El sellado hermético de los bidones permitió un proceso de fermentación de 120 días. Durante este tiempo, se realizó un control mensual de variables como pH, conductividad eléctrica, temperatura, sólidos suspendidos y características organolépticas, lo cual permitió monitorear la evolución de los bioles hasta su punto de aplicación. Al finalizar la fermentación, el biol fue filtrado superficialmente y almacenado en condiciones frescas y sin exposición a la luz directa.

Paralelamente, se inició la germinación de 90 semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) en bandejas de turba, bajo condiciones de sombra y humedad controladas. Luego de una semana, se seleccionaron 40 plántulas con características homogéneas de tamaño y vigor. Estas fueron trasplantadas a maceteros individuales preparados con una mezcla de suelo fértil y humus en proporción 80:20, proporción seleccionada tras revisar los estudios antecedentes que recomiendan este rango para favorecer la aireación, retención de humedad y disponibilidad de nutrientes en cultivos hortícolas. Finalmente, se eligieron 27 plantas que mostraron un adecuado enraizamiento y adaptación, las cuales formaron la muestra definitiva del experimento.

Los tratamientos se aplicaron mediante fertilización foliar con biol diluido al 5 %, en cuatro momentos específicos del ciclo de cultivo: 7, 14, 21 y 28 días después del trasplante

(ddt). El grupo testigo únicamente recibió agua durante todo el proceso. El riego fue uniforme en todas las unidades experimentales, tres veces al día, ajustado a las condiciones climáticas locales. A lo largo de la etapa de crecimiento, se realizaron mediciones periódicas de las variables morfológicas seleccionadas: altura de planta, número de hojas y diámetro promedio de hojas. Estas evaluaciones se realizaron cada siete días desde el trasplante, hasta completar 35 días. Los datos recolectados fueron promediados por tratamiento para reducir el error experimental y posteriormente analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Dunnet con un nivel de significancia de 0,05, utilizando el software IBM SPSS Statistics.

III. RESULTADOS

Previo al ANOVA se desarrolló los supuestos de validación que permitieron corroborar que nuestro diseño planteado esté dentro del análisis de diagrama de bloques completamente al azar (DBCA) para método estadístico simétrico. Se cumplió los siguientes supuestos, prueba de normalidad de errores, prueba de homogeneidad de varianza y autocorrelación de los errores, se realizó la prueba de supuestos para los 3 caracteres morfológicos evaluados, altura de la planta, número de hoja y diámetro de hoja.

Se realizó un examen estadístico llamado ANOVA por cada variable independiente dentro de las características morfológicas para corroborar la hipótesis planteada; además, para comparar la relación de promedios entre los distintos tratamientos se empleó la prueba estadística T de Dunnet (bilateral) con un nivel de significancia de 0,05. Para el análisis e interpretación de resultados se utilizó el software IBM SPSS Statistics, además, se empleó los programas del paquete Office como Microsoft Word y Microsoft Excel para llevar a cabo el desarrollo del trabajo.

Como primer resultado se realizó el análisis de parámetros fisicoquímicos para los bioles LEVA y BACID desde el día 1, en intervalos de 30 días hasta el día 120.

TABLA V
COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS BIOLES

Biol	Parámetro	U. M.	1 día	30 días	60 días	90 días	120 días
LEVA	pH	pH	6,25	6,08	5,73	5,34	4,68
	Olor	Percepción	Desagradable	Desagradable	Poco agradable	Poco agradable	Agradable
	C. E.	μS	3 999	3 852	3 803	3 759	3 752
	Tensión eléctrica	mV	115	117	117	122	126
	SS	Ppm	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
	Temperatura	°C	26,8	27,5	26,2	26,2	26,7
BACID	pH	pH	6,27	5,98	5,58	5,12	4,53
	Olor	Percepción	Desagradable	Poco agradable	Poco agradable	Agradable	Agradable
	C. E.	μS	3 999	3 866	3 851	3 825	3 801
	Tensión eléctrica	mV	118	119	121	125	135
	SS	Ppm	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
	Temperatura	°C	26,6	27,6	26,8	25,9	26,7

El biol LEVA presentó una variación del pH del 6,25 – 4,68 en su proceso de fermentación, el biol BACID presentó una variación en su pH del 6,27 – 4,53. El biol LEVA

mantuvo un olor desagradable hasta el día 30, luego va mejorando paulatinamente hasta el día 120, el biol BACID mejora su olor desde el día 30, para el día 90 ya se percibió con un olor agradable.

Se realizó el análisis de varianza de la altura de la planta de Lactuca sativa, a continuación, se muestra la tabla obtenida de la variable analizada.

TABLA VI
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA ALTURA DE LACTUCA SATIVA

Origen	Tipo I de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3 876,893	6	646,149	2 684,699	,000
Tratamientos	11,683	2	5,842	24,271	,000
Error	9,146	38	,241		
Total	33 572,120	45			
Total, corregido	3 886,039	44			

Se consolidó el coeficiente de determinación en 99,8 % para la altura de la planta, lo que nos demostró que por lo menos uno de los tratamientos es altamente significativo para la variable estudiada, se cumple con la hipótesis H1.

Se realizó el control de la altura de la planta para cada tratamiento, se realizó con un intervalo de 7 días, iniciando el día 7 ddt.

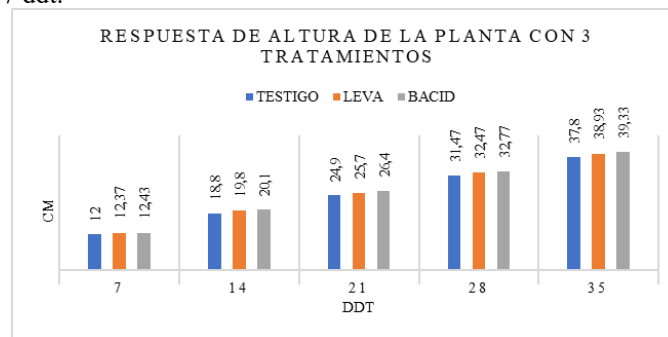


Fig 1. Gráfico comparativo de los promedios de altura de planta

El testigo presentó un crecimiento promedio de 12 cm a los 7 ddt, manteniendo un crecimiento paulatino hasta los 35 ddt donde promedió un crecimiento de 37,8 cm. El biol LEVA presentó un crecimiento promedio de 12,37 cm a los 7 ddt, manteniendo un crecimiento moderado hasta los 35 ddt donde promedió un crecimiento de 38,93. El biol BACID presentó un crecimiento promedio de 12,43 cm a los 7 ddt, presentando un crecimiento significativo hasta los 35 ddt donde promedió un crecimiento de 39,93 cm.

Se realizó una comparación estadística utilizando el método T de Dunnet para comparar los bioles LEVA y BACID con respecto al testigo. Esta prueba de medias está dirigido a la comparación del tratamiento considerado como “testigo” en contra de biol LEVA y biol BACID. La significancia de Dunnet tiene un valor de 0,809 como estándar para la altura de la planta.

El biol LEVA presenta una diferencia de medias de un valor de 0,860, en comparación con la significancia de Dunnet es ligeramente mayor. El biol BACID presenta una diferencia de medias de un valor de 1,213, en comparación con la significancia de Dunnet es considerablemente mayor. El biol

BACID es más significativo que el biol LEVA con respecto al testigo para la altura de la planta.

Se realizó el análisis de varianza del número de hojas de la planta de Lactuca sativa, a continuación, se muestra la tabla obtenida de la variable analizada.

TABLA VII
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL NÚMERO DE HOJAS DE LACTUCA SATIVA

Origen	Tipo I de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1 043, 733 *	6	173,956	490,865	,000
Tratamientos	8,533	2	4,267	12,040	,000
Error	13,467	38	,354		
Total	8 430,000	45			
Total, corregido	1 057,200	44			

Se consolidó el coeficiente de determinación en 98,7% para el número de hojas de la planta, lo que demostró que por lo menos uno de los tratamientos es altamente significativo para la variable estudiada, se cumple con la hipótesis H1.

Se realizó el control del número de hojas de la planta para cada tratamiento, se realizó con un intervalo de 7 días, iniciando el día 7 ddt.

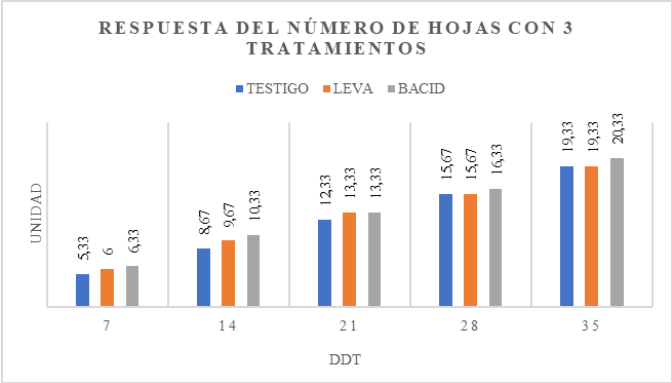


Fig 2. Gráfico comparativo de los promedios de número de hojas

El testigo presentó un desarrollo promedio de 5,33 hojas a los 7 ddt, conservando un crecimiento moderado hasta los 35 ddt donde promedió de 19,33 hojas. El biol LEVA presentó un desarrollo promedio de 6 hojas a los 7 ddt, conservando un crecimiento moderado hasta los 35 ddt donde promedió 19,33 hojas. El biol BACID presentó un desarrollo promedio de 6,33 hojas a los 7 ddt, presentando un crecimiento significativo hasta los 35 ddt donde promedió un desarrollo de 20,33 hojas.

Se realizó una comparación estadística utilizando el método T de Dunnet para comparar los bioles LEVA y BACID con respecto al testigo.

Esta prueba de medias está dirigido a la comparación del tratamiento considerado como “testigo” en contra de biol LEVA y biol BACID. La significancia de Dunnet tiene un valor de 0,98 como estándar para la altura de la planta.

El biol LEVA presenta una diferencia de medias de un valor de 0,53, en comparación con la significancia de Dunnet no se encuentra diferencia alguna. El biol BACID presenta una diferencia de medias de un valor de 1,07, en comparación con la significancia de Dunnet es ligeramente mayor. Ni el biol LEVA ni el biol BACID presentan un impacto significativo en las medias obtenidas por el número de hojas.

Se realizó el análisis de varianza del diámetro de hoja de la planta de Lactuca sativa, a continuación, se muestra la tabla obtenida de la variable analizada.

TABLA VIII
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DIÁMETRO DE HOJAS DE LACTUCA SATIVA

Origen	Tipo I de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	640, 313 *	6	106,719	4 042,740	,000
Tratamientos	2,406	2	1,203	45,568	,000
Error	1,003	38	,026		
Total	6 940,200	45			
Total, corregido	641,316	44			

Se consolidó el coeficiente de determinación en 99,8% para el diámetro de hojas de la planta, lo que demostró que por lo menos uno de los tratamientos es altamente significativo para la variable estudiada, se cumple con la hipótesis H1.

Se realizó el control del diámetro de hojas de la planta para cada tratamiento, se realizó con un intervalo de 7 días, iniciando el día 7 ddt.

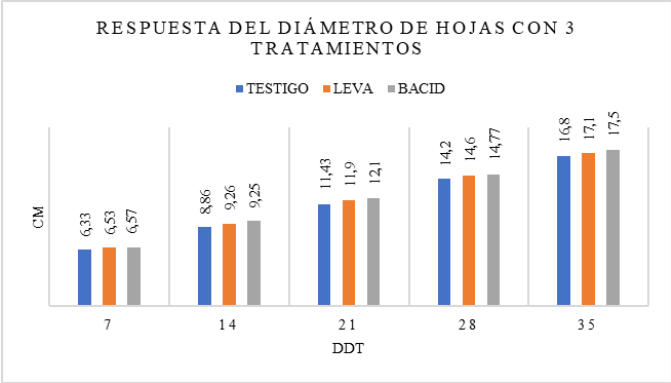


Fig 3. Gráfico comparativo de los promedios de diámetro de hojas

El testigo presentó un desarrollo promedio de 6,33 cm a los 7 ddt, conservando un crecimiento paulatino hasta los 35 ddt donde promedió 16,8 cm. El biol LEVA presentó un desarrollo promedio de 6,53 cm a los 7 ddt, conservando un crecimiento moderado hasta los 35 ddt donde promedió 17,1 cm. El biol BACID presentó un desarrollo promedio de 6,57 cm a los 7 ddt, presentando un crecimiento significativo hasta los 35 ddt donde promedió un desarrollo de 17,5 cm.

Se realizó una comparación estadística utilizando el método T de Dunnet para comparar los bioles LEVA y BACID con respecto al testigo.

Esta prueba de medias está dirigido a la comparación del tratamiento considerado como “testigo” en contra de biol LEVA y biol BACID. La significancia de Dunnet tiene un valor de 0,265 como estándar para la altura de la planta.

El biol LEVA presenta una diferencia de medias de un valor de 0,353, en comparación con la significancia de Dunnet es ligeramente mayor. El biol BACID presenta una diferencia de medias de un valor de 0,560, en comparación con la significancia de Dunnet es considerablemente mayor. El biol BACID es más significativo que el biol LEVA con respecto al testigo para al diámetro de hojas de la planta.

TABLA IX
PRUEBA DE NORMALIDAD

Tratamiento		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Altura	BB	0.141	15	.200*	0.922	15	0.210
	BL	0.141	15	.200*	0.930	15	0.272
	T	0.145	15	.200*	0.921	15	0.197
Número Hojas	BB	0.108	15	.200*	0.943	15	0.428
	BL	0.119	15	.200*	0.952	15	0.554
	T	0.137	15	.200*	0.934	15	0.318
Diámetro Hoja	BB	0.145	15	.200*	0.919	15	0.188
	BL	0.150	15	.200*	0.914	15	0.156
	T	0.148	15	.200*	0.914	15	0.155

Para verificar la distribución de los datos obtenidos en las variables morfológicas evaluadas en los tres tratamientos, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, dado que el tamaño de muestra por grupo fue de 15 observaciones. Los resultados mostraron valores de significancia mayores a 0,05 en todos los casos ($p > 0,05$), lo cual indica que no se encontraron desviaciones significativas respecto a la distribución normal. Específicamente, en el tratamiento con biol + bacterias ácido-lácticas se obtuvo $p = 0,210$ para altura, $p = 0,428$ para número de hojas y $p = 0,188$ para diámetro de hojas; en el tratamiento con biol + leche cortada se obtuvo $p = 0,272$, $p = 0,554$ y $p = 0,156$, respectivamente; y en el tratamiento testigo se obtuvo $p = 0,197$, $p = 0,318$ y $p = 0,155$, respectivamente. Por tanto, se concluye que los datos de todas las variables y tratamientos presentan una distribución normal, lo que justifica el uso de pruebas estadísticas paramétricas para el análisis comparativo.

TABLA X
PRUEBA DE CORRELACIÓN

		Altura	Número Hojas	Diámetro Hoja
Altura	Correlación de Pearson	1	.992**	.999**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000
	N	45	45	45
Número Hojas	Correlación de Pearson	.992**	1	.993**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000
	N	45	45	45
Diámetro Hoja	Correlación de Pearson	.999**	.993**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	
	N	45	45	45

Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la relación entre las variables morfológicas evaluadas: altura, número de hojas y diámetro de hojas. Los resultados revelaron una correlación positiva muy fuerte y estadísticamente significativa entre todas las variables ($p < 0,01$). Específicamente, se observó una correlación de $r = 0,992$ entre altura y número de hojas, de $r = 0,999$ entre altura y diámetro de hojas, y de $r = 0,993$ entre número de hojas y diámetro de hojas. Estos valores indican que, a mayor altura

de las plantas de lechuga, también se incrementa el número y el diámetro de sus hojas, y viceversa. Dado que todas las correlaciones fueron altamente significativas, se confirma una estrecha relación entre los parámetros morfológicos evaluados, lo cual respalda la consistencia del efecto de los tratamientos aplicados sobre el crecimiento vegetal.

IV. DISCUSIÓN

En el análisis fisicoquímico realizado, se observó que el biol LEVA alcanzó un pH final de 4,68, mientras que el biol BACID presentó un valor ligeramente más ácido de 4,53, tras 120 días de fermentación. Esta diferencia sugiere que la incorporación de bacterias ácido-lácticas inoculadas en el biol BACID intensificó la actividad microbiana, produciendo mayor cantidad de ácidos orgánicos. Resultados similares fueron reportados por [14], quienes encontraron que concentraciones insuficientes de melaza reducen la proliferación de bacterias beneficiosas, lo que afecta el equilibrio del pH. Además, en cuanto a las características organolépticas, el biol BACID desarrolló olores más agradables en menor tiempo, a diferencia del biol LEVA, resultado coherente con lo encontrado en el mismo estudio, donde la falta de balance entre los ingredientes resultó en olores putrefactos.

El análisis comparativo con otros estudios confirma el potencial de los bioles elaborados. En la investigación de [7], el fertilizante organomineral utilizado no superó en rendimiento al biol LEVA, que logró un promedio de 20,33 hojas por planta. Este resultado resalta la influencia positiva de los microorganismos presentes en los bioles sobre el crecimiento foliar, especialmente cuando se considera que el fertilizante organomineral utilizado por [7] presentaba un pH de 7,88, fuera del rango óptimo para la absorción de nutrientes. Por su parte, [8] observaron que, durante los primeros días del trasplante, no se presentaron diferencias significativas entre fertilizantes orgánicos; sin embargo, hacia el día 20, los tratamientos con compost mostraron una mayor respuesta morfológica, lo cual contrasta con los resultados obtenidos en este estudio, donde los bioles promovieron un desarrollo más constante desde etapas tempranas.

Las características morfológicas evaluadas evidenciaron mejoras considerables en los tratamientos fertilizados en comparación con el testigo. Al día 14, el tratamiento T1 (biol LEVA) superó al testigo en un 10 % en altura promedio, y el T2 (biol BACID) en un 11 %. En cuanto al número de hojas, las diferencias se hicieron más evidentes al día 21, mientras que en el diámetro foliar se observaron incrementos del 5 % y 7 % en T1 y T2, respectivamente, respecto al grupo control.

El uso de bacterias ácido-lácticas inoculadas no solo favoreció una fermentación más activa del biol, sino también influyó positivamente en el crecimiento de la lechuga. La prueba estadística de Dunnet permitió identificar diferencias significativas en altura y diámetro de hoja en los tratamientos respecto al control, aunque no se detectó un efecto significativo en el número de hojas. Estos hallazgos respaldan

la hipótesis planteada en el estudio, demostrando que la aplicación de bioles tiene un efecto positivo sobre el desarrollo de *Lactuca sativa*. Aunque el impacto observado no fue extremo, su relevancia radica en que los bioles constituyen una alternativa viable y sostenible frente al uso intensivo de fertilizantes químicos, contribuyendo a la mejora de las condiciones del suelo y al fortalecimiento de prácticas agrícolas más saludables, como también lo destacan [15].

Esta investigación se basa en el estudio previamente desarrollado [16] en la que se evaluó el efecto de dos tipos de bioles en el crecimiento de *Lactuca sativa* en maceteros. Se realizaron mejoras para obtener resultados más significativos, el presente artículo amplía el análisis mediante la inclusión de un estudio de correlación entre las variables morfológicas evaluadas, lo cual permite una comprensión más profunda de la relación entre los tratamientos aplicados y el desarrollo de la planta. En el proceso de fermentación del biol, las bacterias ácido lácticas inoculadas del BIOL BACID demostraron un desempeño superior frente a las bacterias ácido lácticas por descomposición del BIOL LEVA, ya que su actividad metabólica homogénea permitió una acidificación más rápida del pH, condición que favorece la estabilidad del sistema, la inhibición de microorganismos indeseables y la optimización de la biodisponibilidad de nutrientes. Asimismo, se observó que la producción controlada de metabolitos como ácido láctico beneficiosos facilitó que el biol alcanzara un olor agradable en menor tiempo, lo cual constituye un indicador sensorial del equilibrio microbiano y de la eficiencia del proceso. Desde un punto de vista biológico, este efecto está asociado a la alta capacidad acidificante, proteolítica y antimicrobiana de las cepas seleccionadas, características propias de los cultivos iniciadores comerciales que garantizan mayor reproducibilidad y seguridad en la fermentación. [17] Asimismo, se plantean recomendaciones metodológicas para futuros estudios, como la incorporación de al menos cinco repeticiones por tratamiento, a fin de incrementar la validez estadística de los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

Se evaluó el efecto de dos tipos de bioles en las características morfológicas del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) en maceteros. Los resultados obtenidos indican que los dos tipos de bioles utilizados en este estudio, identificados como LEVA y BACID, ejercieron un impacto diferencial en las características morfológicas del crecimiento de la lechuga. Las variaciones observadas en la altura de las plantas, número de hojas y diámetro de hojas evidenciaron que la elección del fertilizante puede influir de manera significativa en el desarrollo de la lechuga.

Se analizó el pH, olor, conductividad eléctrica, tensión eléctrica y temperatura de dos tipos de bioles durante el proceso de fermentación. En consecuencia, con los datos derivados revelan que el proceso de fermentación tiene un impacto significativo en las propiedades físicas y químicas de los bioles evaluados. Se observaron cambios notables en el

pH, sugiriendo alteraciones en la acidez de los bioles durante el curso de la fermentación. La evaluación del olor durante la fermentación proporciona información crucial sobre la calidad de los bioles. Los cambios en la conductividad y la tensión eléctricas refuerzan la dinámica de los procesos químicos y biológicos en juego.

Se comparó la altura de la planta, número y diámetro de hojas en el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) obtenida por la fertilización a través de los dos tipos de bioles. Los hallazgos revelan diferencias sustanciales en la altura de la planta, número y diámetro de hojas entre las lechugas fertilizadas con los dos tipos de bioles estudiados. Estos resultados indican claramente que la elección del biol tiene un impacto directo en el desarrollo de la lechuga, sugiriendo posibles variaciones en la disponibilidad de nutrientes y compuestos bioactivos esenciales para el crecimiento óptimo de la planta. La aplicación de bioles emergió como una estrategia efectiva para optimizar los parámetros morfológicos de la lechuga. La altura incrementada de la planta y el aumento en el número y diámetro de las hojas en comparación con los controles no fertilizados resaltan la capacidad de los bioles para proporcionar nutrientes.

Se evaluó el efecto del uso de bacterias ácido lácticas inoculadas en el biol sobre el desarrollo de las características morfológicas de la lechuga (*Lactuca sativa*). A lo largo de este estudio el factor común indica una mejora significativa en las características morfológicas de la lechuga cuando se utiliza un biol inoculado con bacterias ácido-lácticas. Se observaron aumentos notables en la altura de la planta, así como en el número y tamaño de las hojas, lo que sugiere una influencia positiva de estas bacterias en el desarrollo vegetal. La presencia de bacterias ácido-lácticas en el biol desempeña un papel crucial en la mejora del crecimiento de la lechuga. Estos microorganismos pueden facilitar procesos como la descomposición de materia orgánica, la fijación de nitrógeno y la liberación de compuestos beneficiosos, lo que contribuye directamente a la salud y vigor de las plantas. En conjunto, los resultados resaltan que el uso de bacterias ácido-lácticas inoculadas constituye una estrategia biotecnológica robusta para potenciar la calidad y la eficiencia de bioles destinados a aplicaciones agrícolas sostenibles.

REFERENCIAS

- [1] Pérez, C.: Comparación del efecto de productos derivados del digestato obtenido en la digestión anaerobia de residuos de supermercado. Universidad de Oviedo (2017). <http://hdl.handle.net/10651/43744>
- [2] Su, N., Arostegui, N.: Comparación de eficiencia de bioabono Bocashi (elaborado a partir de restos de pescado y suelo) y fertilizante químico en el desarrollo de *Allium cepa*. Universidad Peruana Unión (2020). <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3241>
- [3] Reyes, J., Rivero, M., García, E., Beltrán, F., Ruiz, F.: Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Rev. Cienc. Biol. Salud* 22(3) (2020). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-14562020000300156
- [4] Pérez, M., Peña, E., Lago, E., Batista, Y., Hechavarría, A.: Producción de biol y determinación de sus características fisicoquímicas (2017)

- [5] Mendivil, C., Nava, E., Armenta, A., Ruelas, R.: Elaboración de un abono orgánico tipo bocashi y su evaluación en la germinación y crecimiento del rábano. *Rev. Cienc. Biol. Salud* 22(1) (2019). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-14562020000100017
- [6] Merino, J., Yahua, I.: Biofertilización a través del “Bocashi” para la mejora de la producción de culantro (*Coriandrum sativum*) y rabanito (*Raphanus sativus*), Pakuy 2019. Universidad de Lambayeque (2019). <https://repositorio.udl.edu.pe/xmlui/handle/UDL/371>
- [7] Sepúlveda, G.: Evaluación de la respuesta de lechuga (*Lactuca sativa* cv. crespa verde) a diferentes fuentes de fertilización mineral, orgánica y organomineral. Universidad de Ciencias Ambientales Aplicadas (2021)
- [8] Alemán, R., Bravo, C., Fargas, M.: Fertilización orgánica en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y rábano (*Raphanus sativus* L.) en la Amazonía Ecuatoriana (2018). https://www.researchgate.net/publication/329512205_Fertilizacion_organica_en_cultivos_de_lechuga_Lactuca_sativa_L_y_rabano_Raphanus_sativus_L_en_la_Amazonia_Ecuatoriana
- [9] Gallegos, T., Acosta, I., Jara, J.: Preparación de biol a partir de residuos orgánicos. *RedBioLAC* 6(1), 51–55 (2022)
- [10] Magdama, F.: Estudio del efecto de Bioles y cepas de *Trichoderma* sp. aisladas de zonas cacaoteras, como alternativas de control de *Moniliophthora roreri*, en condiciones in vitro (2010)
- [11] Chonillo, P.: Efecto de cuatro bioestimulantes en la resistencia sistémica inducida del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) bajo invernadero. Universidad Estatal del Sur de Manabí (2021). <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3876>
- [12] Orellana, T., Manzano, P., Chávez, E., Ruiz, O., León, R., Orellana, A., Peralta, E.: Estándares de fermentación y maduración artesanal de bioles 2, 1–7 (2013)
- [13] Xiu, P.: Efectos de bioles en brócoli (*Brassica oleracea*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en la zona hortícola de Cartago, Costa Rica. CATIE - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (2018). http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592016000200005&lng=es&tlng=es
- [14] Peralta, L., Juscamaíta, J., Meza, V.: Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecol. Apl.* 15(1), 1–10 (2016). <https://doi.org/10.21704/rea.v15i1.577>
- [15] Cedeño, M., Pacheco, J.: Efectos de diferentes dosis de abonos orgánicos en los indicadores morfológicos y productivos de plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en macetas (2022).
- [16] MOSTACERO MOLINA, Bill Zenon; TIRADO ZAVALA, Marvin Harold. Evaluación del efecto de dos tipos de bioles en las características morfológicas del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) en maceteros, Trujillo 2023. (2023).
- [17] Bintsis, T. (2018). Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. *AIMS Microbiology*, 4(4), 665–684.