

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Dosis de biosilice y ácidos húmicos en el rendimiento de col
(*Brassica oleracea* L. var. Capitata), Canaán 2750 msnm,
Ayacucho, 2025**

Para optar el título profesional de:
INGENIERA AGRÓNOMA

PRESENTADO POR:
Bach. Deisi YUCRA QUISPE

ASESOR:
Dr. Rolando BAUTISTA GÓMEZ

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios, por iluminar mi camino y darme la fuerza necesaria para alcanzar esta meta profesional.

A mis padres, Aurelio y Felicitas, por su apoyo constante, sus enseñanzas y el respaldo incondicional que fueron fundamentales en mi formación académica.

A mi pareja, Eliot Muñoz, por su amor, comprensión y apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida. Su acompañamiento y motivación fueron importantes para afrontar los desafíos y alcanzar esta meta profesional.

Con profundo cariño y admiración, a mis hermanos: Yuri, Jhoner y Olga por su compañía, motivación y confianza permanente a lo largo de este proceso.

Deisi Y.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por haber sido el espacio donde crecí no solo académicamente, sino también como persona. En sus aulas encontré oportunidades, retos y aprendizajes que marcaron mi formación y fortalecieron mi compromiso con el conocimiento.

A la Escuela Profesional de Agronomía, por brindarme la base de mi formación profesional, y a cada uno de sus docentes, quienes con su experiencia, orientación y vocación contribuyeron de manera significativa a mi desarrollo académico y personal.

Al Dr. Rolando Bautista Gómez, por su asesoramiento constante, su paciencia y el tiempo dedicado a la revisión y mejora de este trabajo. Su orientación fue fundamental durante todo el proceso, y su exigencia académica me permitió mejorar y fortalecer esta investigación.

A los miembros del jurado Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva, M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo y Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, expreso mi más profundo agradecimiento por sus valiosos aportes, orientaciones y observaciones, los cuales han contribuido significativamente al desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. El cultivo de col	6
1.2.1. Importancia de la col	7
1.2.2. Valor nutricional.....	8
1.2.3. Taxonomía.....	8
1.2.4. Requerimientos edafoclimáticos	9
1.2.5. Morfología del cultivo de la col	9
1.2.6. Fenología del cultivo de la col.....	10
1.2.7. Principales enfermedades	11
1.2.8. Principales plagas.....	12
1.3. Biosilice	13
1.3.1. Aplicación en la agricultura	13
1.3.2. Diatomea	14
1.3.3. Diatomea en el Perú.....	14
1.4. Ácido húmico.....	16
1.5. Aplicación del ácido húmico en la agricultura.....	16
CAPÍTULO II.....	18
METODOLOGÍA.....	18
2.1. Localización	18
2.1.1. Ubicación política.....	18
2.1.2. Ubicación geográfica.....	18
2.1.3. Ubicación ecológica.....	18

2.2. Antecedentes del terreno	19
2.3. Condiciones climáticas.....	20
2.4. Características físicas y químicas del suelo	21
2.5. Abono supersuelo.....	22
2.6. Materiales.....	23
2.6.1. <i>Material biológico</i>	23
2.6.2. <i>Materiales, equipos, herramientas</i>	23
2.7. Operacionalización de las variables	24
2.8. Factores en estudio.....	24
2.9. Diseño experimental.....	25
2.10. Tratamientos.....	25
2.11. Análisis estadístico.....	27
2.12. Instalación y conducción del cultivo.....	27
2.12.1. <i>Preparación de terreno</i>	27
2.12.2. <i>Replanteo de croquis</i>	27
2.12.3. <i>Instalación de riego</i>	27
2.12.4. <i>Trasplante</i>	28
2.12.5. <i>Riego</i>	28
2.12.6. <i>Recalce</i>	28
2.12.7. <i>Abonamiento</i>	28
2.12.8. <i>Aporque</i>	28
2.12.9. <i>Control de arvenses</i>	29
2.12.10. <i>Control fitosanitario</i>	29
2.12.11. <i>Cosecha</i>	29
2.13. Evaluaciones de las variables dependientes	29
2.13.1. <i>Altura de planta a la cosecha (cm)</i>	29
2.13.2. <i>Diámetro polar de repollo (cm)</i>	29
2.13.3. <i>Diámetro ecuatorial de repollo (cm)</i>	29
2.13.4. <i>Peso fresco de repollo por planta</i>	29
2.13.5. <i>Rendimiento comercial de repollo (t ha⁻¹)</i>	30
2.13.6. <i>Cobertura foliar de repollo (%)</i>	30
2.13.7. <i>Rentabilidad económica de repollo (%)</i>	30
CAPÍTULO III	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31

3.1. Altura de planta a la cosecha.....	31
3.2. Diámetro polar de repollo	34
3.3. Diámetro ecuatorial de repollo.....	38
3.4. Peso fresco de repollo por planta	41
3.5. Rendimiento comercial de repollo	45
3.6. Cobertura foliar de repollo	51
3.7. Correlación de las variables	54
3.8. Rentabilidad económica	55
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 <i>Valor nutricional de la col (Brassica oleracea var. capitata).....</i>	8
Tabla 1.2 <i>Características fisicoquímicas de diatomita de Ayacucho.....</i>	15
Tabla 1.3 <i>Características fisicoquímicas de diatomita de Ayacucho, Arequipa, Piura y Ica.</i>	15
Tabla 2.1 <i>Balance hídrico de los datos meteorológicos según la estación de INIA – Canaán, Ayacucho del año 2025.....</i>	20
Tabla 2.2 <i>Características fisicoquímicas del suelo experimental de Canaán, 2026.....</i>	21
Tabla 2.3 <i>Características de la col Corazón de Buey.....</i>	23
Tabla 2.4 <i>Operacionalización de las variables independientes y dependientes.....</i>	24
Tabla 2.5 <i>Código y descripción de tratamientos.....</i>	26
Tabla 2.6 <i>Características de las unidades experimentales.....</i>	26
Tabla 3.1 <i>Análisis de varianza de altura de planta de repollo a la cosecha, bajo el efecto de dosis de biosilice y ácidos húmicos.....</i>	31
Tabla 3.2 <i>Análisis de varianza de diámetro polar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice y ácidos húmicos.</i>	34
Tabla 3.3 <i>Análisis descriptivo del diámetro polar de repollo, bajo los efectos principales de dosis de biosilice y ácidos húmicos.</i>	35
Tabla 3.4 <i>Análisis de varianza de diámetro ecuatorial de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice y ácidos húmicos.</i>	38
Tabla 3.5 <i>Análisis descriptivo del diámetro ecuatorial de repollo, bajo los efectos principales de dosis de biosilice y ácidos húmicos.</i>	39
Tabla 3.6 <i>Análisis de varianza de peso fresco de repollo por planta, bajo el efecto de dosis de biosilice y ácidos húmicos.</i>	41
Tabla 3.7 <i>Análisis de varianza de rendimiento comercial de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice y ácidos húmicos.</i>	45
Tabla 3.8 <i>Análisis de varianza de cobertura foliar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice y ácidos húmicos.</i>	51
Tabla 3.9 <i>Análisis descriptivo de cobertura foliar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice y ácidos húmicos.</i>	52
Tabla 3.10 <i>Rentabilidad económica financiera porcentaje de rentabilidad.....</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 <i>Superficie de área cosechada de cultivo de col por regiones.</i>	6
Figura 1.2 <i>Rendimientos promedios del cultivo de col por regiones.</i>	7
Figura 2.1 <i>Mapa de ubicación del centro experimental de Canaán.</i>	19
Figura 2.2 <i>Esquema de balance hídrico realizado a partir de la Tabla 2.1.</i>	20
Figura 2.3 <i>Croquis de la distribución de los tratamientos.</i>	26
Figura 2.4 <i>Croquis de la unidad experimental.</i>	27
Figura 3.1 <i>Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de altura de planta de repollo a la cosecha, bajo los efectos simples de dosis de ácido húmico en cada dosis de biosilice.</i>	32
Figura 3.2 <i>Tendencia del comportamiento de altura de planta de repollo a la cosecha, según la dosis de biosilice con 0% de ácido húmico.</i>	33
Figura 3.3 <i>Boxplot del diámetro polar de repollo, bajo el efecto combinado de dosis de biosilice y ácido húmico.</i>	35
Figura 3.4 <i>Tendencia del diámetro polar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice sin la aplicación de ácido húmico (0%).</i>	37
Figura 3.5 <i>Boxplot del diámetro ecuatorial de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice y ácidos húmicos.</i>	39
Figura 3.6 <i>Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de peso fresco de repollo por planta, bajo los efectos simples de biosilice en cada dosis de ácido húmico.</i>	42
Figura 3.7 <i>Tendencia de peso fresco de repollo por planta, bajo el efecto de las dosis de biosilice con la aplicación de 0 y 0.25% de ácidos húmicos.</i>	44
Figura 3.8 <i>Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de rendimiento comercial de repollo, bajo los efectos simples de ácidos húmicos en cada dosis de biosilice.</i>	46
Figura 3.9 <i>Boxplot del rendimiento comercial de repollo, bajo el efecto de biosilice y ácido húmico.</i>	48
Figura 3.10 <i>Interacción de dosis de biosilice y ácido húmico en el rendimiento comercial de repollo.</i>	49
Figura 3.11 <i>Tendencia del rendimiento comercial de repollo, bajo el efecto de biosilice con 0% y 0.25% de ácido húmico.</i>	50
Figura 3.12 <i>Boxplot de cobertura foliar de repollo, bajo los efectos principales de dosis de biosilice y ácidos húmicos.</i>	52
Figura 3.13 <i>Valores de los coeficientes de correlación Pearson de las variables.</i>	54

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Datos evaluados en campo.....	67
Anexo 2. Evaluación del porcentaje de cobertura foliar de repollo.	68
Anexo 3. Reporte de análisis del suelo.....	71
Anexo 4. Reporte de prueba de supuestos de normalidad Shapiro test y Levene test para homogeneidad de varianzas.	72
Anexo 5. Estimación de costos de producción por cada tratamiento.	74
Anexo 6. Panel fotográfico del proceso de elaboración de tesis.	83
Anexo 7. Ficha técnica de PHOS-HUMIC NK.....	88
Anexo 8. Ficha técnica de super suelo-Gallinaza.....	91

RESUMEN

Este estudio se realizó en el Centro Experimental Canaán de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ubicado en el distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Provincia Huamanga y región Ayacucho. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de biosilice (diatomea molida remojada) y ácidos húmicos (comercial) sobre el rendimiento y rentabilidad de la col (*Brassica oleracea* L.). Se establecieron nueve tratamientos, producto de la combinación factorial de tres dosis de biosilice (0, 0.5 y 1.0%) y 3 dosis de ácidos húmicos (0, 0.25 y 0.50%). El experimento se condujo bajo un Diseño en Bloques completos al Azar (DBCA), con tres repeticiones por tratamiento. Los resultados mostraron que la aplicación de biosilice al 1% en ausencia de ácido húmico permitió obtener un rendimiento de 48.62 t ha⁻¹ y un peso por planta de 1.56 kg, superando al testigo en 45.1% en peso. Asimismo, la combinación de 0.5% de biosilice con 0.5% de ácido húmico presentó mayor rendimiento, alcanzando 50.42 t ha⁻¹. Por su parte, ácidos húmicos mostraron efectos significativos principalmente en el peso por planta y rendimiento comercial, destacando la dosis de 0.5%, que alcanzó 48.8 t ha⁻¹ en ausencia de biosilice. En cuanto a la altura de planta, se registraron incrementos notables de 37.7 cm con la aplicación de 0.25% de ácido húmico sin biosilice, lo que representa un incremento de 26.16% respecto al testigo. En términos de rentabilidad económica, el tratamiento T6 (0.5% biosilice + 0.5% ácido húmico) presentó los mejores resultados, con una producción estimada de 31,123 unidades de repollos ha⁻¹, una rentabilidad del 132.4%, con un valor neto de S/ 19,501.7 y un costo de producción de S/ 14,733.6.

Palabras clave: ácidos húmicos, biosilice, *Brassica oleracea*, rentabilidad.

INTRODUCCIÓN

La col (*Brassica oleracea* L. var. Capitata) es una de las hortalizas muy relevantes tanto en su consumo, valor nutricional y aporte económico en las familias en zonas rurales en los rincones donde se practica la agricultura (Vásquez et al., 2020; Greer et al., 2023). En el Perú, el cultivo de col alcanzó una producción que supera las 200 mil toneladas anuales y una superficie cosechada aproximada de 10 mil hectáreas, con rendimientos promedio cercanos a 20 t ha⁻¹. Las principales regiones productoras son Lima, Junín, Arequipa y La Libertad, las cuales concentran gran parte de la oferta nacional (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2023). A nivel regional, en Ayacucho, la producción de col es menor en comparación con las principales regiones productoras, representando aproximadamente el 4.8% de la superficie cosechada nacional, con rendimientos promedio de 9,615.5 kg ha⁻¹, lo que evidencia limitaciones productivas en condiciones altoandinas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2022).

Una de las alternativas al bajo rendimiento de la col, es el uso de biosilíce cuya principal fuente es la diatomea, lo cual es ampliamente usado hoy en día en la agricultura, tiene la función de fortalecer las paredes celulares de la planta, mejora la tolerancia a estreses abióticos y bióticos, y aumenta los rendimientos de cultivos (Constantinescu-Aruxandei et al., 2020; Cartagena, 2025). Asimismo, los estudios previos han demostrado que su uso en hortalizas como tomate, cebolla y frutas como aguaymanto mejoran el desarrollo general de la planta, lo que se traduce en mejor rendimiento (Añibarro-Ortega et al., 2025; Roca, 2024; Pillaca, 2024). Por otro lado, los ácidos húmicos son sustancias orgánicas que influyen en la estructura del suelo, la retención de nutrientes y la actividad microbiana, influyendo en el buen desarrollo vegetal. Los estudios previos han demostrado una positiva influencia en el suelo, retención de nutrientes, mejora la actividad microbiana, y repercute en el incremento de rendimiento de los cultivos como lechuga, pepino y brócoli (Díaz, 2021; Ibrahim et al., 2024), además de mejorar la eficiencia de uso de nitrógeno del suelo (Ma, 2024; Cheng &

Zhang, 2024), incremento de calidad y rendimiento en col repollo (Al-Zahrani et al., 2021; Mahmood & Al-Ubaidy, 2019).

Estudios internacionales han demostrado que las enmiendas orgánicas y bioestimulantes, como los ácidos húmicos y el biosilice, mejoran la productividad de los cultivos sin afectar el equilibrio ambiental. El biosilice incrementa la eficiencia en el uso del agua, la resistencia a plagas y el rendimiento en cultivos como maíz, girasol y tomate, mientras que los ácidos húmicos mejoran la eficiencia del uso de nitrógeno, estimulan el crecimiento radicular y la actividad microbiana del suelo (Xu et al., 2024; Hafez et al., 2021; Baioui et al., 2025; Ma et al., 2024; Song et al., 2025; Zavarzina et al., 2025). Sin embargo, en Ayacucho existe escasa información sobre su aplicación en el cultivo de col, lo que limita su uso debido a la falta de conocimiento sobre dosis e interacción.

Los suelos agrícolas de la región de Ayacucho, últimamente han presentado escasez de agua y otras limitaciones naturales que afectan los cultivos como las hortalizas. No obstante, algunas investigaciones locales como de Cartagena-Gamboa (2025); Pillaca-Quispe, (2024), han podido evidenciar al biosilice y ácidos húmicos como una de las opciones para mitigar en cierta medida los estreses abióticos, tanto en cebolla como aguaymanto. Bajo este contexto, la presente investigación evaluó diferentes dosis de biosilice y ácido húmico en el cultivo de la col (*Brassica oleracea* L. var. Capitata), para generar alternativas de manejo sostenible.

Objetivo general

Evaluar la influencia de diferentes dosis de biosilice y ácidos húmicos en el rendimiento y rentabilidad de la col (*Brassica oleracea* L. variedad Capitata) Canaán, Ayacucho – 2025.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de dosis de biosilice en el rendimiento de la col (*Brassica oleracea* L. variedad Capitata).
2. Evaluar el efecto de dosis de ácidos húmicos en el rendimiento de la col (*Brassica oleracea* L. variedad Capitata).
3. Evaluar la influencia de diferentes dosis de biosilice y ácidos húmicos en la rentabilidad económica de la col (*Brassica oleracea* L. variedad Capitata).

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Mariana de Carvalho et al. (2024) en su trabajo titulado “*Efecto residual de la aplicación de silicato como agromineral sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de minerales y la anatomía de la soja*”, evaluaron el efecto residual de la aplicación de un agromineral silicatado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de minerales y la anatomía de la soja. El estudio se llevó a cabo en Brasil, aplicando cuatro tratamientos con distintas dosis de silicato de potasio y calcio (0, 2, 4 y 6 t ha⁻¹). Los tratamientos se incorporaron una sola vez al inicio del ciclo, en la fase de preparación del suelo antes de la siembra, mediante aplicación directa al suelo y posterior incorporación mecánica. Para evaluar los efectos en la planta, se tomaron muestras durante la etapa reproductiva de la soja. El experimento se diseñó bajo un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Entre los resultados más relevantes, se observó que el uso de dosis más altas de silicato redujo significativamente la acidez del suelo, incrementó la disponibilidad de calcio, magnesio y silicio, y produjo cambios positivos en la anatomía de las raíces y hojas de la soja, evidenciando un mejor desarrollo vegetal comparado con el testigo sin aplicación.

Pillaca-Quispe (2024) realizó una investigación en la región Ayacucho durante el año 2019, titulada “*Tres dosis de humato y biosilice foliar en el contenido de clorofila y rendimiento de aguaymanto (Physalis peruviana L.)*”. El estudio utilizó un diseño factorial en bloques completamente al azar (DBCA) con dos factores: tres dosis de humato de potasio (0, 15 y 20 ml/L) y tres dosis de biosilice foliar (0, 1.5 y 2% p/v), aplicadas al cultivo de aguaymanto (4 aplicaciones). Las variables evaluadas fueron el contenido de clorofila foliar, el rendimiento por planta y el rendimiento por hectárea. Los resultados demostraron que la combinación de 20 ml/L de humato de potasio con 2 % de biosilice foliar generó el mayor contenido de clorofila (51.47 SPAD) y el mayor rendimiento (12.24 t ha⁻¹), concluyendo que

el uso conjunto y equilibrado de ambos bioestimulantes mejora significativamente la fisiología y productividad del aguaymanto.

Roca (2024) desarrolló su investigación en la provincia de Huamanga, Ayacucho, durante el año 2022, bajo el título “*Niveles de biosilice, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad de tomate cherry (Lycopersicum esculentum var. cerasiforme)*”. Empleó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3x3x2, evaluando tres niveles de biosilice (0.0, 0.1 y 0.15 % p/v), tres niveles de boro (0, 0.025%) y dos niveles de zinc (0, 0.025%) aplicados vía foliar (cada 15 días de aplicación comenzando a los 20 ddt). Las variables analizadas incluyeron el número de frutos por planta, peso promedio de fruto, rendimiento por hectárea, y calidad organoléptica. Los resultados mostraron que la combinación de 2 ml/L de biosilice, 0.025% de boro y 0.025% de zinc promovió el mayor rendimiento (42.31 t ha⁻¹) y mejor calidad de fruto, demostrando que la biosilice tiene un efecto positivo en la eficiencia fotosintética y fortalecimiento de tejidos vegetales.

Cartagena-Gamboa (2025) ejecutó un estudio en la localidad de Canaán, Ayacucho, situada a 2750 m.s.n.m., durante el año 2023, con el título “*Biosilice foliar y levadura de panificación al suelo en el rendimiento de cebolla (Allium cepa L.)*”. Aplicó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3x3, utilizando tres dosis de biosilice foliar (0, 0.5 y 1.0% p/v) y tres dosis de levadura al suelo (0 y 1% p/v), en total se realizaron 3 aplicaciones. Las variables evaluadas fueron el diámetro polar y ecuatorial del bulbo, peso de bulbo y rendimiento por hectárea. Los mejores resultados se obtuvieron con 2 % de biosilice más 1% de levadura, alcanzando un rendimiento de 29.6 t ha⁻¹, además de bulbos de mayor tamaño y firmeza. La investigación concluyó que la combinación adecuada de biosilice y bioestimulantes orgánicos mejora sustancialmente el rendimiento y calidad del cultivo en condiciones altoandinas.

Wang et al. (2025) en la región de Xinjiang, China, investigaron los efectos combinados de la irrigación con temperatura controlada, aireación del suelo y aplicación de ácido húmico en tomate industrial. Emplearon un diseño de parcelas divididas. Donde los tratamientos tuvieron un arreglo factorial, en este trabajo de investigación, el ácido húmico se aplicó en dosis de 0, 30 y 60 kg por hectárea y evaluaron variables como el rendimiento del fruto, calidad del fruto, emisiones de gases de efecto invernadero (N₂O y CO₂). Los hallazgos más relevantes fueron que la combinación de 60 kg ha⁻¹ de ácido húmico bajo

condición de aireación moderada incrementó el rendimiento en un 18 %, también pudo mejorar la calidad de los frutos, además redujo significativamente las emisiones de gases. Al final se demostró la importancia de manejo integrado en la sostenibilidad agrícola.

Zhang et al. (2024) realizaron su investigación en los campos agrícolas de Hebei, China, evaluando la co-aplicación de fertilizante fosfatado recubierto con ácido húmico en trigo (*Triticum aestivum*). Usaron un diseño en bloques completamente al azar (DBCA), aplicando 3 niveles de ácido húmico granulados (0, 40 y 80 kg ha⁻¹) en combinación con fósforo de liberación lenta. Las variables evaluadas incluyeron rendimiento de grano, contenido de fósforo disponible en el suelo, eficiencia del uso del fósforo y crecimiento radicular. Los resultados más relevantes indicaron que la combinación de 80 kg ha⁻¹ de ácido húmico y fósforo recubierto aumentó el rendimiento del trigo en un 22 %, mejoró la absorción de nutrientes y favoreció el desarrollo radicular. Estos resultados sustentan el potencial del ácido húmico como agente sinérgico en la nutrición vegetal, relevante para cultivos de alta demanda nutricional como la col.

Díaz-Juárez (2021) en Chiapas, México, evaluó el efecto de humos orgánico y ácido húmico en el desarrollo de hortalizas como la lechuga (*Lactuca sativa* L.) y en pepino (*Cucumis sativus* L.), en condiciones controladas. El trabajo se instaló en diseño DCA, donde los tratamientos tenían diferentes concentraciones de ácido húmico (0, 10, 20 y 30%). En cultivo de lechuga se aplicó en etapa temprana de los 15 días con una frecuencia de una vez por semana cuatro veces en forma consecutiva. Evaluó variables como altura de planta, número de hojas, peso fresco y seco, diámetro de tallo. Los hallazgos más relevantes fueron: la dosis de 20% de ácido húmico resultó más efectiva, donde influyó mayormente en peso fresco y altura de la planta de lechuga. En pepino, los efectos también fueron positivos, aunque menos marcados. El autor concluyó que el uso de ácido húmico puede mejorar el rendimiento agronómico de hortalizas de hoja y fruto, cuando se aplica en etapas tempranas del desarrollo fenológico.

Baca-Luján (2017) en Trujillo, Perú, realizó un experimento en condiciones de invernadero para evaluar la influencia de los ácidos húmicos y fúlvicos sobre el crecimiento de la betarraga (*Beta vulgaris* L.). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con tres repeticiones y cinco tratamientos que incluyeron aplicaciones de ácido húmico en dosis de 0, 2, 4, 6 y 8 ml/L, aplicados vía riego. La aplicación se realizó en la etapa de

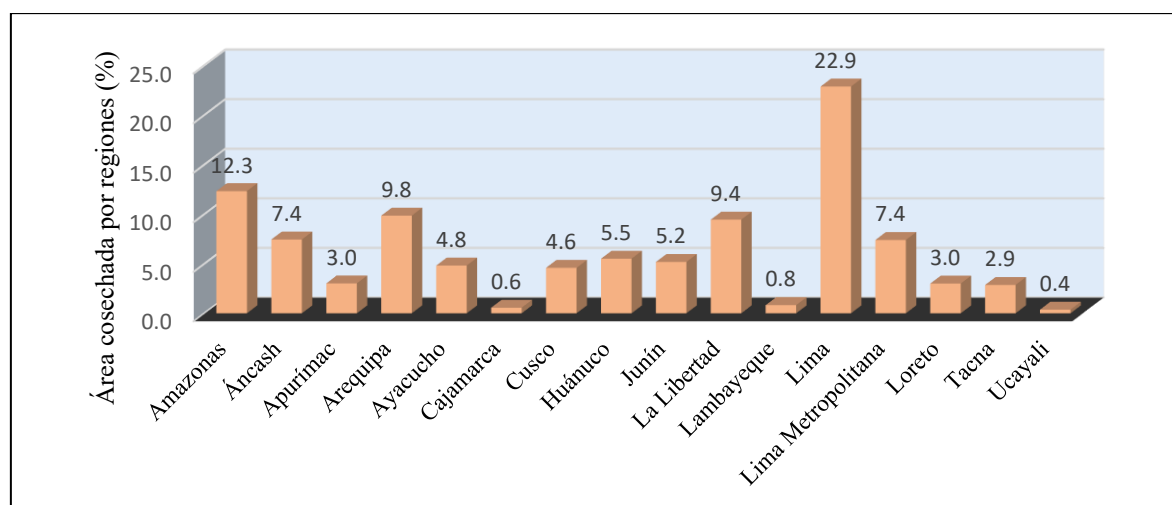
crecimiento vegetativo del cultivo, específicamente a los 15, 30 y 45 días después de la siembra, acumulando tres aplicaciones en total. Las variables evaluadas fueron altura de planta, número de hojas, diámetro del bulbo y peso fresco del bulbo. El autor reportó que la dosis de 6 ml/L de ácido húmico generó los mejores resultados, incrementando significativamente el diámetro del bulbo y el peso fresco, lo que sugiere una mejora en el rendimiento de la betarraga. El estudio concluyó que la incorporación de ácidos húmicos es una práctica viable para optimizar el desarrollo morfológico de cultivos de raíz.

1.2. El cultivo de col

La historia de la col empieza en el Mediterráneo oriental, al contrastar genomas de cultivares, poblaciones silvestres y formas ferales, los autores identifican a *Brassica cretica*, endémica del Egeo, como el pariente vivo más cercano de la col cultivada; esa relación sitúa el centro de origen de *Brassica oleracea* en la franja egeo-levantina y no en las costas atlánticas. Desde ese foco oriental, la especie se dispersó con la agricultura por el Mediterráneo y Europa, y más tarde por otros continentes. En el camino, los cultivos liberados o naturalizados establecieron cinturones ferales especialmente a lo largo de costas atlánticas y mediterráneas europeas; allí interactuaron con remanentes silvestres y con nuevas siembras, generando admixtura (mezclas genéticas) que explica el mosaico actual: cultivares, ferales y parientes silvestres coexisten y se entrecruzan, moldeando tanto la distribución geográfica como la estructura genética observada hoy en *B. oleracea* (Mabry et al., 2021).

Figura 1.1

Superficie de área cosechada de cultivo de col por regiones.

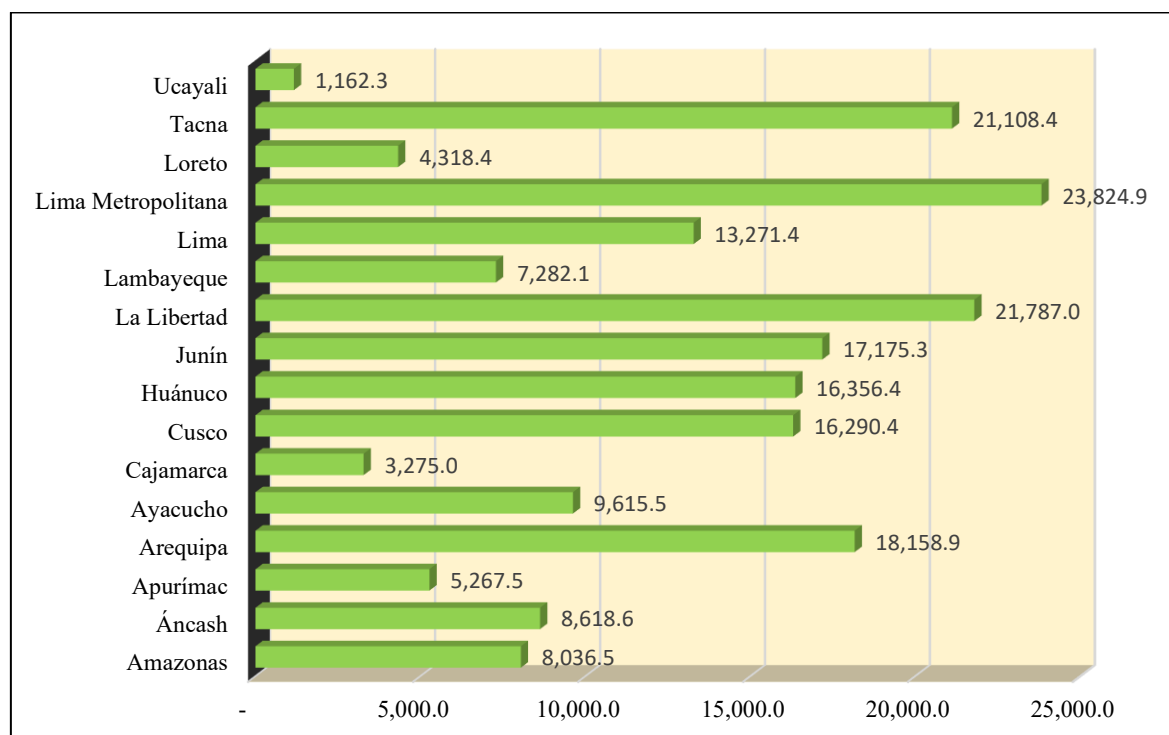


Fuente: (Ministerios de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2022).

En la figura 1.1 se muestra la superficie cosechada en las campañas agrícolas del 2021 y 2022, donde se aprecia que la región Lima aglomera el 22.9% de superficie cosecha en el Perú, seguido por región Amazonas (12.3%). La región Ayacucho solamente representa un área cosechada de 4.8%.

Figura 1.2

Rendimientos promedios del cultivo de col por regiones.



Fuente: (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2022).

En la figura 1.2 se muestra los rendimientos promedios de col por hectárea y por regiones en el Perú, donde Lima Metropolitana es superior a todas las regiones con 23,824.9 kg ha⁻¹, seguido por la región La Libertad con 21,787.0 kg ha⁻¹. Las regiones con rendimiento promedios más bajas fueron: Ucayali con 1,162.3 kg ha⁻¹ seguido por Cajamarca con 3,275.0 kg ha⁻¹. En la Región Ayacucho, los rendimientos promedios de col son de 9,615.5 kg ha⁻¹, según las encuestas de (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2022).

1.2.1. Importancia de la col

La col (*Brassica oleracea* var. Capitata) es uno de los cultivos más relevantes de Brassicaceae por su uso alimentario amplio (fresco, cocido y fermentado) y por su riqueza en compuestos bioactivos, conocer cómo varía el perfil fitoquímico entre formas (blanca, morada) y cultivares es clave tanto para consumidores (elección de alimentos más

saludables) como para la investigación y el mejoramiento (selección de genotipos con funciones específicas) e incluso para aplicaciones industriales, como colorantes naturales (antocianinas de col morada) y suplementos dietarios (Statilko et al., 2024).

1.2.2. Valor nutricional

El valor nutricional de la col depende sobre todo de su composición fitoquímica, dominada por glucosinolatos (y sus isotiocianatos bioactivos tras la hidrólisis), compuestos fenólicos (flavonoides y ácidos hidroxicinámicos), carotenoides y vitamina C. Señala que los fenólicos contribuyen fuertemente a la capacidad antioxidante; que los glucosinolatos se asocian con beneficios cardio-metabólicos y quimiopreventivos; que la vitamina C es un aporte consistente cuyo nivel varía por cultivar y ambiente; y que la distribución de nutrientes difiere por forma: La col morada tiende a concentrar más antocianinas/fenólicos, mientras que la blanca presenta mayor contenido de glucosinolatos (Statilko et al., 2024)

Tabla 1.1

Valor nutricional de la col (Brassica oleracea var. capitata).

Componente	Unidad	Col
Glucosinolatos totales	μmol/g	5.90 – 25.5
Fenoles totales	mg /100 g	170.53 – 174.38
Antocianinas (roja)	mg/g	≥10
Vitamina C	mg/100 g	36.57 – 129.90
Carotenoides totales	mg/100 g	0.014 – 0.016

Fuente: (Statilko et al., 2024).

1.2.3. Taxonomía

Según Snogerup et al. (1990) la escala taxonómica es de la siguiente manera:

- Reino : Plantae
- División : Magnoliophyta (Angiospermae)
- Clase : Magnoliopsida (Dicotyledoneae)
- Orden : Capparales
- Familia : Brassicaceae
- Tribu : Brassiceae
- Género : Brassica L.
- Especie : *Brassica oleracea* var. Capitata
- Nombre vulgar: Col

1.2.4. Requerimientos edafoclimáticos

La col prospera en climas frescos y húmedos, su desarrollo óptimo se observa cuando la temperatura media diaria ronda los 17 °C, con máximas medias cerca de 24 °C y mínimas alrededor de 10 °C; además, el cultivo rinde mejor con humedad relativa media entre 60-90 %. Tolera heladas cortas hasta -6 °C (algunas variedades incluso -10 °C), pero exposiciones prolongadas en torno a -5 °C perjudican la producción. Desde el punto de vista edáfico, el pH del suelo, indica un óptimo de 6.0-7.5, la col se adapta mejor a suelos francos; sin embargo, en zonas de alta pluviosidad conviene preferir arenosos o franco-arenosos por su mejor drenaje. Es un cultivo exigente en fertilización (N, P, K en dosis elevadas) y muestra sensibilidad moderada a la salinidad. En cuanto al agua, suele requerir 380-500 mm por ciclo y explora sobre todo los 0.4-0.5 m superficiales del suelo, por lo que el manejo del drenaje y de la lámina de riego es clave para sostener el crecimiento y evitar pérdidas de calidad (Vásquez et al., 2020).

1.2.5. Morfología del cultivo de la col

a) Raíz

La planta desarrolla una raíz principal de tipo pivotante que se hunde con fuerza para anclarla, de la cual parte un abundante sistema secundario o fasciculado encargado de captar agua y nutrientes; aproximadamente cuatro quintas partes de las raíces se ubican entre los 5 y 30 cm de profundidad (Ramos-Llanos, 2019).

b) Tallo

El tallo es herbáceo, erecto y corto, con escasa ramificación; rara vez supera los 30 cm porque el alargamiento se detiene de manera temprana en el ciclo, rasgo coherente con su hábito de formar cabeza (Ramos-Llanos, 2019).

c) Hojas

Presenta hojas alternas, simples y sin estípulas, a menudo lobuladas, de coloración verde glauca o rojiza; muestran bordes algo aserrados y forma tendiente a oval. En los tipos de Savoy (Milán) la superficie es áspera y con aspecto rizado (Ramos-Llanos, 2019).

d) Cabeza (pella)

Por hipertrofia de la yema apical y la disposición envolvente de las hojas superiores, se origina una cabeza compacta de hojas muy ceñidas que constituye la parte comestible.

Allí la planta acumula reservas; si no se cosecha, esas reservas se movilizan para sostener la emisión del escapo floral (Ramos-Llanos, 2019).

e) Flores

La floración ocurre en racimos terminales que emergen del tallo principal. Las flores son amarillas, hipóginas, con cuatro sépalos y cuatro pétalos en cruz, seis estambres (cuatro largos y dos cortos) y un estilo corto con estigma capitado; el ovario es súpero, bilocular por un falso tabique y porta un óvulo por celda (Ramos-Llanos, 2019).

f) Fruto (silicua)

El fruto es una silicua que se abre longitudinalmente al alcanzar la madurez fisiológica, gracias a una hendidura que recorre las paredes a lo largo de la línea placentaria; esta dehiscencia facilita la dispersión natural de las semillas (Ramos-Llanos, 2019).

g) Semilla

Produce semillas pequeñas, de 0.16 cm de diámetro, globulares, de superficie lisa y color pardo al madurar; la tesis también consigna el elevado conteo por unidad de masa, típico en la especie (Ramos-Llanos, 2019).

1.2.6. Fenología del cultivo de la col

a) Fase vegetativa

Este cultivo comienza primeramente con la fase del crecimiento, en donde se forman las radículas, hojas, su tallo corto y ancho variable que sirven como reserva para la planta. Las etapas fenológicas se describen a continuación (Ramos-Llanos, 2019):

- **Germinación:** Desde que emerge la plántula hasta que muestra 4-5 hojas, la prioridad es asentar el sistema radical y desplegar las primeras hojas verdaderas. Es además, punto óptimo de trasplante, cuando la planta tolera mejor el cambio de sitio (Ramos Llanos, 2019).
- **Pos-trasplante:** Una vez superado el estrés del trasplante, la planta entra en aceleración de biomasa: crecen con rapidez el área foliar, el sistema radical y el tallo. Es la rampa que prepara a la planta para el volumen de tejidos que exigirá la pella (Ramos-Llanos, 2019).

- **Preformación de cabeza:** La planta sigue emitiendo hojas con pecíolo alargado y lámina extendida hasta alcanzar unas 12 hojas. En este tramo esas hojas aún no integran la cabeza; solo algunas comienzan a doblarse ligeramente y funcionan como capa protectora externa (Ramos Llanos, 2019).
- **Encabezado / formación de pella:** Se inicia la producción de hojas sésiles que se superponen y van construyendo la “bola”. La cabeza engrosa con rapidez, incorpora hojas suculentas y crece hasta el tamaño propio del cultivar; al final, se compacta y se percibe firme al tacto. En condiciones de fuerte crecimiento, la presión interna puede provocar rajaduras (Ramos-Llanos, 2019).

b) Fase reproductiva (floración)

Después de la vernalización, es decir, exposición a bajas temperaturas, se activan los procesos que culminan con la emisión de uno o más tallos florales y la formación de la inflorescencia (Ramos-Llanos, 2019).

1.2.7. Principales enfermedades

a) Tizón negro (*Xanthomonas campestris* pv. *Campestris*)

Bacteria que suele venir en la semilla; entra por los bordes foliares y avanza en “V”, coloniza el sistema vascular y puede causar pérdidas severas si no se usan semilla sana y rotaciones (Greer et al., 2023).

b) Mildiu vellosa (*Hyaloperonospora* spp.)

Favorecido por tiempo fresco y húmedo; manchas angulares cloróticas y esporulación blanquecina en el envés, puede volverse sistémico en brócoli y coliflor (Greer et al., 2023).

c) Mancha negra (*Alternaria brassicae*)

Lesiones oscuras con anillos concéntricos; se maneja con semilla certificada, manejo de residuos y fungicidas cuando corresponda (Greer et al., 2023).

d) Podredumbre blanca (*Sclerotinia sclerotiorum*)

Podredumbre acuosa con micelio blanco y esclerocios; se agrava con humedad excesiva; rotación, ventilación y biocontrol ayudan a reducirla (Greer et al., 2023).

e) Fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *Conglutinans*)

Marchitez/amarillamiento unilateral y decoloración vascular; sobrevive en suelo, se mitiga con resistencia varietal y rotaciones (Greer et al., 2023).

f) Virus del mosaico (TuMV)

Mosaicos y enanismos transmitidos por áfidos; manejo enfocado en vectores, eliminación de malezas hospedantes y trasplantes sanos (Greer et al., 2023).

1.2.8. Principales plagas

a) Polilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*)

Defoliadora principal; el trabajo recalca manejo sostenible con bioplaguicidas y rotación de modos de acción por su alta resistencia (Lekamoi et al., 2025).

b) Áfido de la col (*Brevicoryne brassicae*)

Succión de savia y melaza; se prioriza IPM con control biológico y alternativas orgánicas para reducir dependencias de químicos (Lekamoi et al., 2025).

c) Gusano medidor (*Trichoplusia ni*)

Daño foliar y en cabeza; se recomiendan bioplaguicidas y prácticas culturales como parte del manejo (Lekamoi et al., 2025).

d) Mariposa blanca (*Pieris rapae*)

Orugas defoliadoras; enfoque en biocontrol y herramientas orgánicas compatibles con enemigos naturales (Lekamoi et al., 2025).

e) Pulguillas (*Phyllotreta* spp.)

Perforaciones en plántulas; combinación de barreras/mallas, manejo del hábitat y productos orgánicos selectivos (Lekamoi et al., 2025).

f) Mosca de la raíz (*Delia radicum*)

Larvas en raíces provocan marchitez; prevención y medidas no químicas (sanidad, rotaciones), apoyadas por bioplaguicidas (Lekamoi et al., 2025).

g) Mosca blanca (*Aleyrodes proletella*)

Daños por succión y melaza; insisten estrategias orgánicas y protección de enemigos naturales (Lekamoi et al., 2025).

h) Polilla tejedora de la col (*Hellula undalis*)

Minería o barrenado de tejidos; IPM con alternativas orgánicas y monitoreo fenológico (Lekamoi et al., 2025).

1.3. Biosilice

En las plantas, la sílice se deposita como un sólido amorfo dentro y fuera de las células, formando fitolitos: microestructuras de sílice biogénica que quedan integradas en los tejidos. Comprender cómo se originan implica seguir el camino del silicio desde el suelo hasta los sistemas de transporte de la planta y, finalmente, hasta los puntos donde se mineraliza. La diversidad de formas y tamaños de estos fitodepósitos refleja tanto el mecanismo de biosilicificación como los factores que lo condicionan en cada especie. Los fitolitos no solo actúan como barreras mecánicas y participan en la tolerancia frente a estreses bióticos y abióticos; también se han consolidado como herramientas taxonómicas y proxies para reconstruir floras antiguas, economías agrícolas, y condiciones de ambiente y clima del pasado. Al mismo tiempo, el descubrimiento de genes transportadores de silicio ha permitido enlazar la biología molecular del silicio con su función ecológica y con la interpretación histórica que ofrecen estos biominerales en los registros vegetales (Nawaz et al., 2019).

1.3.1. Aplicación en la agricultura

Según Batistič et al. (2025) probó polvos inertes en campos de col durante dos temporadas, entre ellos la tierra de diatomeas (sílice biogénica, SiO₂ amorfo) y, para comparación, otras fuentes locales. En la estación seca, la tierra de diatomeas redujo de forma consistente el daño de las plagas clave del repollo como chinches *Eurydema*, pulguitas y larvas de lepidópteros y esa menor presión de daño se tradujo en más kilos por cabeza, alcanzando el mayor rendimiento bruto y neto por planta del ensayo. Así mismo Kılıç (2022) prueba en laboratorio dos formulaciones de tierra de diatomeas (sílice amorfa biogénica): polvo y polvo mojable. Ambas muestran alta letalidad contra el ácaro (*Tyrophagus putrescentiae*), alcanzando 100% de mortalidad en <24 h según dosis y formulación; el polvo seco es el más eficaz (logra el control completo con 1 g/m² en

promedio de 21 h), mientras que el polvo mojable requiere concentraciones mayores para un efecto equivalente.

Los materiales silíceos naturales nanoestructurados (diatomita y zeolitas) sostienen la productividad de los cultivos por vías complementarias. La vía directa se debe a la liberación lenta de silicio soluble (principalmente ácido monosilícico) desde la diatomita hacia la rizosfera, que actúa como nutriente benéfico y fortalecedor: estimula la fotosíntesis, mejora la absorción y eficiencia de nutrientes; amortigua el estrés (sequía, salinidad, metales) al reducir el daño oxidativo y equilibrar las rutas de defensa como la ABA (ácido abscísico); además, el depósito subcuticular de sílice crea una barrera física frente a patógenos e insectos, lo que preserva tejido funcional y, con ello, rendimiento (Constantinescu-Aruxandei et al., 2020)

1.3.2. *Diatomea*

Las diatomeas son microalgas unicelulares cuyo “casco” externo es una biosilice con arquitectura micro-nanoporosa y jerárquica. Esa concha (frústulo) no es un simple recubrimiento mineral, su diseño fino determina propiedades mecánicas, ópticas y de intercambio de masa, y por eso despierta interés como biomaterial para liberación de fármacos, hemostáticos o biosensores (Sun et al., 2024).

La diatomea capta silicio del medio, lo transporta internamente y, en compartimentos especializados, polimeriza el precursor hasta modelar las piezas de la pared. El resultado son patrones porosos y costillas en escalas micro y nano, que emerge de una regulación biológica que integra señales ambientales (luz, pH, disponibilidad de sílice) con factores genéticos, de modo que el entorno y el programa celular “fabrican” el frústulo con la geometría deseada. Esta visión permite pasar de “buscar una especie con la forma ideal” a dirigir la biofabricación modulando esas condiciones para tallar la estructura durante su formación (Sun et al., 2024).

1.3.3. *Diatomea en el Perú*

Según Torres et al. (s. f.) precisa que los yacimientos de diatomita del país de Perú, se distribuyen en depósitos marinos de la Formación Zapallal en el departamento de Piura y de la Formación Pisco en Ica; mientras que los depósitos lacustres como Quicapata y

Tambillo pertenecen a la Formación Ayacucho, y en Arequipa las capas de diatomita alternan con sedimentos lacustres y cenizas volcánicas.

En el marco de la cuenca de Ayacucho, los yacimientos de diatomita de Tambillo, La Quinua y La Moya se ubican en la provincia de Huamanga (distritos de Tambillo, La Quinua y Acos Vinchos) y se inscriben estratigráficamente en el miembro superior de la Formación Ayacucho, un paquete volcano - sedimentario cuyo desarrollo se vincula al vulcanismo cenozoico y que alcanzó su mayor expresión durante el Mioceno, generando condiciones lacustres someras, ricas en nutrientes y sílice, favorables para la proliferación de diatomeas y la acumulación de sus frústulas (diatomitas) (Ramirez, 2013).

Tabla 1.2

Características fisicoquímicas de diatomita de Ayacucho.

Composición	Cantidad (%)
SiO ₂	79
Al ₂ O ₃	7.37
Fe ₂ O ₃	1.17
K ₂ O	0.63
Na ₂ O	0.85
CaO	0.88
P ₂ O ₅	0.04
MgO	2.01

Fuente: (Agramonte, 1983).

Tabla 1.3

Características fisicoquímicas de diatomita de Ayacucho, Arequipa, Piura y Ica.

Tipo de yacimiento	LACUSTRE					MARINO	
Región	Arequipa		Ayacucho		Tacna	Piura	Ica
Yacimiento	Maca	Tarucani	Quicapata	Tambillo	Tripartito	Bayovar	Ocucaje
SiO ₂	84.89	86.20	89.50	85.78	68.00	65.50	73.80
Al ₂ O ₃	2.62	5.90	2.70	2.71	8.15	2.00	9.70
Fe ₂ O ₃	1.04	1.70	0.90	1.22	3.00	1.30	3.00
CaO	0.94	1.20	1.40	0.64	2.00	9.60	2.90
MnO	0.03	-	-	0.01	0.56	-	-
MgO	0.50	0.60	0.50	0.55	2.57	3.30	1.20
TiO ₂	-	-	-	0.14	0.31	-	-
Na ₂ O	0.92	-	0.10	0.26	1.38	1.90	1.80
P ₂ O ₅	0.01	-	-	0.02	0.33	-	-
K ₂ O	0.58	-	0.40	0.39	1.45	0.50	1.30
PXC	7.34	3.80	4.45	8.29	11.20	14.75	4.66

Nota: PXC: Pérdida por calcinación, Fuente: (Bustamante, 1998)

1.4. Ácido húmico

Respecto al ácido húmico (AH) se entiende como la fracción de las sustancias húmicas con alta heterogeneidad química, rica en grupos carboxílicos (-COOH) y fenólicos (-OH) cuya estructura y composición dependen de su fuente (turba, lignito, compost, etc.). Esa arquitectura confiere partes hidrofílicas (con capacidad de completar cationes y retener nutrientes) e hidrofóbicas (asociadas a fenómenos de repulsión y agregación), de modo que el AH puede interactuar a la vez con el suelo y con la planta. En términos funcionales, esa dualidad explica por qué el AH participa en mejoras físicas y químicas del suelo y, al mismo tiempo, puede estimular procesos fisiológicos vegetales (Ampong et al., 2022).

El AH mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, favorece el crecimiento y rendimiento de los cultivos, en parte mediante la estimulación de hormonas como auxinas y citoquininas, una mayor asimilación de nutrientes. No obstante, la magnitud y consistencia de los efectos dependen de factores como origen del AH, estructura química y molecular, solubilidad, tamaño molecular, dosis, modo de aplicación, tipo de suelo y cultivo (Ampong et al., 2022).

1.5. Aplicación del ácido húmico en la agricultura

Según Ibrahim et al. (2024) estudió dos campañas de campo de brócoli, el cual se probó tres dosis de ácido húmico aplicadas al suelo como humato de potasio durante las tres primeras irrigaciones (0, 4.8 y 9.6 kg ha⁻¹) bajo riego normal y con déficit hídrico. El ácido húmico amortiguó los efectos del estrés por agua y mejoró el crecimiento y la productividad: con la dosis máxima (9.6 kg ha⁻¹) se alcanzaron los mayores pesos de pella principal y secundaria y el mayor rendimiento total, especialmente en plantas bien regadas.

Así mismo Mahmood y Al-Ubaidy (2019) evaluaron en campo la col morada, con cuatro niveles de fertilización química (0, 25, 50 y 100 % de la dosis N-P₂O₅-K₂O recomendada) y tres tratamientos foliares: Agua (H₀), AH = 5 mL L⁻¹ (H₁) y AH = 10 mL L⁻¹ (H₂), aplicados en tres aspersiones (la segunda dos semanas después de la primera y la tercera en inicio de formación de cabeza). El AH (ácido húmico) por sí solo ya impulsó la productividad frente al testigo sin AH; 10 mL L⁻¹ elevó el diámetro y altura de la cabeza, el peso de repollo y el rendimiento total. Estos incrementos se asociaron a un aparato foliar más desarrollado (más hojas, mayor área foliar) y más clorofila en hojas externas, rasgos

que los autores vinculan con el efecto bioestimulante del AH sobre división/elongación celular y procesos fisiológicos.

Por otra parte Al-Zahrani et al. (2021) evaluaron en dos temporadas consecutivas (2018 al 2019 y 2019 al 2020), cómo el ácido húmico (0, 50 y 100 L ha⁻¹) y el NPK (0, 600 y 900 kg ha⁻¹) y su interacción, modifican el crecimiento y el rendimiento de la col; el hallazgo central es que, a mayor dosis de ácido húmico, mayor área foliar, índice de área foliar y rendimiento, con incrementos muy marcados cuando se pasa de 0 a 100 L ha⁻¹

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Localización

2.1.1. *Ubicación política*

Departamento : Ayacucho

Provincia : Huamanga

Distrito : Andrés Avelino Cáceres Dorregaray

Localidad : Centro Experimental Canaán

2.1.2. *Ubicación geográfica*

Latitud : 13° 9' 20.85"S

Longitud : 74°13' 12.72"O

Altitud : 2750 msnm

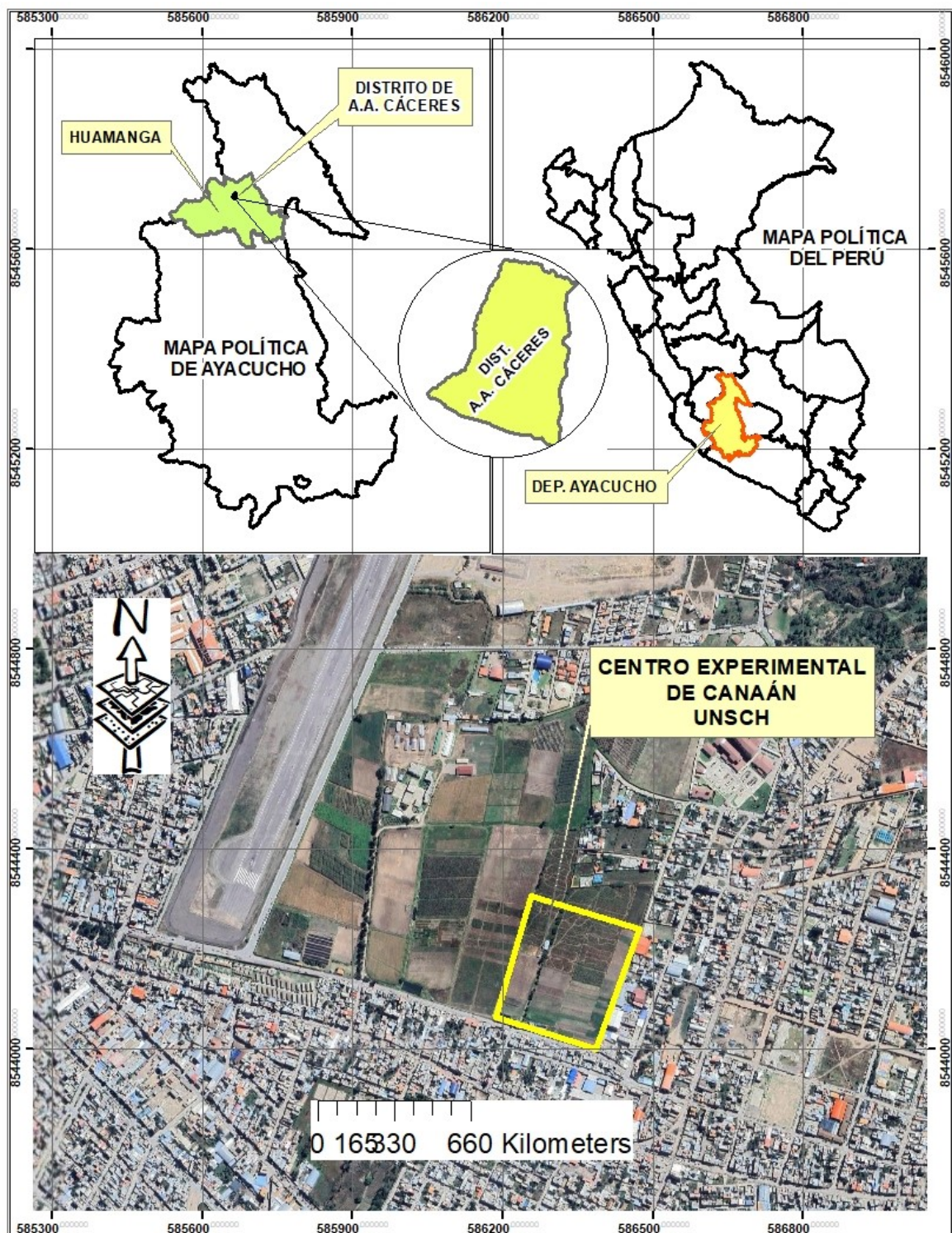
Región natural: Quechua

2.1.3. *Ubicación ecológica*

El Centro Experimental de Canaán, está ubicado en el distrito Andrés Avelino Cáceres-Huamanga-Ayacucho, en la región natural Quechua a 2750 msnm.

Figura 2.1

Mapa de ubicación del centro experimental de Canaán.



2.2. Antecedentes del terreno

El terreno anteriormente estuvo ocupado por cultivos orgánicos de hortalizas como la col y lechuga.

2.3. Condiciones climáticas

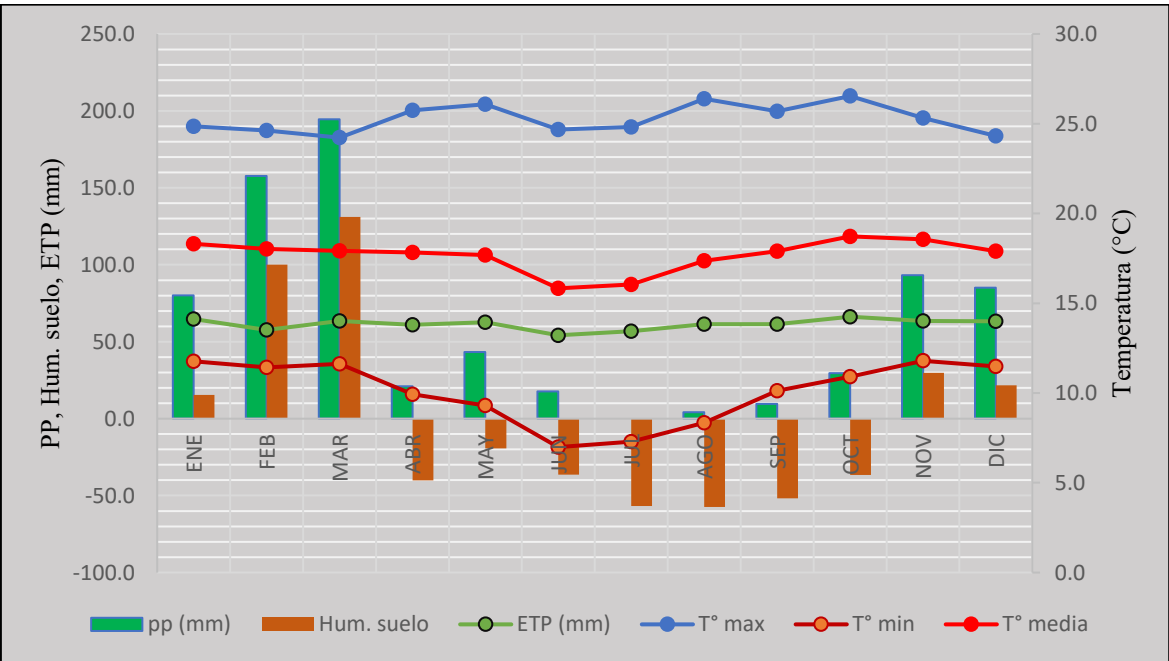
Tabla 2.1

Balance hídrico de los datos meteorológicos según la estación de INIA – Canaán, Ayacucho del año 2025.

ESTACIÓN : INIA-CANAÁN		DISTRITO : AYACUCHO	ALTITUD : 2735 msnm										
		PROVINCIA : HUAMANGA	LATITUD : 13° 10' 00.06" S										
		DEPARTAMENTO : AYACUCHO	LONGITUD : 74° 12' 22.92" W	Prom.									
DESCRIPCIÓN	UNID	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Días		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
T° max. Media mensual	°C	24.8	24.6	24.2	25.7	26.1	24.7	24.8	26.4	25.7	26.5	25.3	25.3
T° min. Media mensual	°C	11.8	11.4	11.6	9.9	9.3	7.0	7.3	8.3	10.1	10.9	11.8	10.1
T° media mensual	°C	18.3	18.0	17.9	17.8	17.7	15.8	16.1	17.4	17.9	18.7	18.6	17.7
Factor de multiplicacion		4.96	4.48	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96
ETP	mm	90.79	80.76	88.90	85.62	87.76	75.98	79.62	86.11	85.95	92.88	89.07	88.82
Precipitación	mm	80.1	157.8	194.6	21.0	43.3	17.8	0.0	4.1	9.6	29.6	93.3	85.1
ETP ajustado	mm	64.76	57.61	63.41	61.07	62.60	54.20	56.79	61.42	61.31	66.25	63.53	63.35
Humedad del suelo	mm	15.34	100.19	131.19	-40.07	-19.30	-36.40	-56.79	-57.32	-51.71	-36.65	29.77	21.75
Exceso	mm	15.34	100.19	131.19									21.75
Déficit	mm				-40.07	-19.30	-36.40	-56.79	-57.32	-51.71	-36.65		

Figura 2.2

Esquema de balance hídrico realizado a partir de la Tabla 2.1.



El balance hídrico de la tabla 2.1 y figura 2.2, muestra que el régimen es claramente estacional, donde el promedio anual de la temperatura media es 17,7°C, con máximos mensuales de 25,3°C y mínimos próximos de 10,1°C; evidenciando un clima templado frío.

La precipitación anual llega a tener 736,3 mm en promedio, marcando una época lluviosa en los meses de enero a marzo, con valor extremo máximo en marzo (194,6 mm) y con un mínimo crítico en mes de julio (0.0 mm). La ETP anual promedio es 1032,3 mm, superando ampliamente la precipitación, lo que provoca un déficit hídrico en los meses secos principalmente. Los excesos de agua se presentan principalmente entre enero y marzo, con un máximo en marzo (131,19 mm), cuando el suelo alcanza su capacidad de almacenamiento.

2.4. Características físicas y químicas del suelo

Tabla 2.2

Características fisicoquímicas del suelo experimental de Canaán, 2026.

Parámetro	Unidad	Resultado	Interpretación
Arena	%	43.2	
Limo	%	26.7	
Arcilla	%	30.1	
Clase textural	—		Franco arcilloso (Fr–Ar)
pH (H ₂ O, 1:2.5)	—	7.69	Ligeramente alcalino
Conductividad eléctrica (CE, 1:1)	dS·m ⁻¹	1.63	Suelo normal
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	%	0.0	Normal
Materia orgánica (M.O.)	%	1.86	Pobre
Nitrógeno total (Nt)	%	0.09	Pobre
Fósforo disponible (P)	Ppm	5.2	Bajo
Potasio disponible (K)	Ppm	202.4	Muy alto
Calcio intercambiable (Ca ²⁺)	cmol(+)·kg ⁻¹	10.1	Alto
Magnesio intercambiable (Mg ²⁺)	cmol(+)·kg ⁻¹	4.16	Alto
Potasio intercambiable (K ⁺)	cmol(+)·kg ⁻¹	1.04	Alto
Sodio intercambiable (Na ⁺)	cmol(+)·kg ⁻¹	0.68	Medio
Aluminio intercambiable (Al ³⁺)	cmol(+)·kg ⁻¹	0.0	--
Hidrógeno intercambiable (H ⁺)	cmol(+)·kg ⁻¹	0.0	--
(CIC)	cmol(+)·kg ⁻¹	15.98	Medio

Nota. El análisis de suelo fue realizado en el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNSCH), Ayacucho, el 01 de diciembre de 2024.

En la tabla 2.2 se presenta que la textura de suelo resultó franco arcilloso, con 43,2% de arena, 26,7% de limo y 30,1% de arcilla, lo que le da una capacidad de retención de agua y nutrientes en el suelo. Por otra parte, el pH resultó 7,69, que indica un suelo ligeramente alcalino, esta condición puede reducir la disponibilidad de P y algunos micronutrientes como

Fe y Zn. La CE clasifica al suelo como normal o no salino, por lo que no existen riesgos de estrés salino para cultivo de la col.

Uno de los aspectos más relevantes es la concentración de MO = 1,86% y Nt de 0.09% que están en condiciones de pobre, lo que evidencia una limitada capacidad de suministro de N y actividad microbiológica relativamente baja en el suelo. Por otra parte, tenemos P bajo y K alto, bajo estas condiciones, se suministró abonamiento constante de 2 t ha⁻¹ de supersuelo (gallinaza), este producto presenta una composición de 30% de materia orgánica, 2% de nitrógeno, 4% de fósforo y 5% de potasio, complementado con micronutrientes que favorecen el crecimiento de las plantas en todos los tratamientos.

2.5. Abono supersuelo

El abono supersuelo es estiércol de gallinaza procesada, tiene las siguientes composiciones nutricionales según su ficha técnica (<https://goo.su/H4ygmml>):

Macro Nutrientes

✓ Nitrógeno (N):	1.5 - 3.0 %
✓ Fósforo (P ₂ O ₅):	3.0 - 5.0 %
✓ Potasio (K ₂ O):	2.0 - 3.0 %
✓ Calcio (CaO):	9.0 - 13.0 %
✓ Magnesio (MgO):	1.4 - 2.4 %

Micro Nutrientes

✓ Hierro (Fe):	2 000 - 5000 ppm
✓ Zinc (Zn):	300 - 500 ppm
✓ Cobre (Cu):	50 - 75 ppm
✓ Boro (B):	50 - 100 ppm
✓ Manganeseo (Mn):	500 - 700 ppm

Prop. Químicas

✓ pH:	7.0 - 8.0
✓ Conductividad eléctrica:	15 - 20 dS/m

MO y sustancias húmicas

✓ Materia Orgánica:	25 - 47 %
✓ Ácidos fúlvicos:	5 - 6 %
✓ Ácidos húmicos:	2 - 3 %

Org. Patógenos

✓ <i>Escherichia coli</i> :	<10 UFC/g
✓ <i>Salmonella</i> spp:	<10 UFC/g
✓ Coliformes termotolerantes	<10 UFC/g

Prop. Físicas

✓ Apariencia	Gránulos finos
✓ Color	Marrón oscuro
✓ Olor	Característico a M.O. - no fétido

Nota: ficha técnica en: <https://goo.su/H4ygmml>

2.6. Materiales

2.6.1. Material biológico

Col:

El material biológico utilizado fue plántulas de col (*Brassica oleracea* L. variedad Capitata) “corazón de buey” adquiridas en el Centro Experimental de Canaán, cuyas semillas provienen del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

Tabla 2.3

Características de la col Corazón de Buey.

Característica	Detalle / Valor
Nombre común	Col Corazón de Buey (repollo puntiagudo)
Forma del cabezal	Cónica / puntiaguda / forma de corazón
Color de hojas / cabeza	Verde claro/medio intenso
Peso aproximado por cabeza	1.5 - 2.0 kg (hasta 3 kg en algunas semillas)
Diámetro del cabezal	20 - 25 cm
Ciclo / Maduración	Precoz, 65 - 70 días desde trasplante
Temperatura óptima cultivo	Temperada, 15 - 20 °C
Adaptación altitudinal	1500 - 2600 msnm
pH del suelo	6.5 - 7.0 (neutro)
Tipo de suelo	Profundo, fértil, buena retención de humedad sin encharcamiento
Siembra / densidad	300 - 400 g semillas ha ⁻¹ ; 49,000 plantas ha ⁻¹
Distanciamiento recomendado	45 cm x 45 cm entre plantas y surcos
Rendimiento orientativo	20 t ha ⁻¹
Hojas	Suaves, tiernas, con sabor suave/dulce
Usos culinarios	Consumo fresco, ensaladas, guisos, fermentados
Resistencia / tolerancia	Buena resistencia al frío, tolera heladas ligeras
Plagas / manejo	Puede presentar ataques de orugas y pulgones

Fuente: (Fronza.com, 2026; Agrosembal.com, 2026; Hierbajos, 2026).

Biosilice

El biosilice es proveniente de las diatomeas molidas finamente, el cual se adquirió de las tiendas agropecuarias de la ciudad de Lima (tienda hidropónica). La composición mineral de diatomea se encuentra en el marco teórico.

2.6.2. Materiales, equipos, herramientas

- Pala
- Pico

- Lampa
- Cinta métrica
- Mochila fumigadora
- Baldes
- Cámara fotográfico
- Cuchillo
- Mantas
- Costales
- Cuaderno de campo
- Lapiceros

2.7. Operacionalización de las variables

En la tabla 2.4 se muestra la operacionalización de las variables dependientes e independientes involucrados en este trabajo de investigación, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 2.4

Operacionalización de las variables independientes y dependientes.

Variables	Dimensión	Indicadores / Niveles	Escala de medición
Independientes	Dosis de biosilice	0.0% p/v (0.0 kg ha ⁻¹), 0.5% p/v (2.0 kg ha ⁻¹) y 1.0% p/v (4.0 kg ha ⁻¹)	Ordinal
	Dosis de ácido húmico	0.0% v/v (0.0 Lha ⁻¹), 0.25% v/v (0.0 Lha ⁻¹) y 0.50% v/v (0.0 Lha ⁻¹)	Ordinal
Dependientes	Factores agronómicos (productividad)	✓ Altura de planta a la cosecha (cm) ✓ Diámetro ecuatorial de repollo (cm) ✓ Diámetro polar de repollo (cm) ✓ Peso fresco de repollo por planta (kg) ✓ Rendimiento comercial de repollo (t ha ⁻¹) ✓ Cobertura foliar de repollo (%)	Cuantitativa (continuos)
	Rentabilidad (beneficio)	Beneficio económico (%), B/C	Cuantitativa (razón)

2.8. Factores en estudio

a) Dosis de biosilice (B)

b0: 0.0% p/v de biosilice (0.0 kg ha⁻¹)

b1: 0.5% p/v de biosilice (2.0 kg ha⁻¹)

b2: 1.0% p/v de biosilice (4.0 kg ha⁻¹)

b) Dosis de ácido húmico (AH)

AH0: 0.0% v/v de ácido húmico (0.0 Lha⁻¹)

AH1: 0.25% v/v de ácido húmico (1.0 Lha⁻¹)

AH2: 0.50% v/v de ácido húmico (2.0 Lha⁻¹)

2.9. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un arreglo factorial mediante Diseño Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones. El diseño contó con 9 tratamientos, donde las unidades experimentales estuvieron representadas por las plantas col.

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \tau_i + \alpha_j + \tau\alpha_{(ij)} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Es la observación de la i-ésimo del factor A y j-ésimo del factor B

μ = Es la media general.

β_k = Es el efecto de k-ésimo bloque

τ_i = Es el efecto principal de la i-ésimo del factor A (biosilice)

α_j = Es el efecto principal de la j-ésimo del factor B (ácidos húmicos)

τ_α(_{ij}) = Efecto de la interacción entre el j-ésimo de biosilice y el k-ésimo de dosis de ácidos húmicos

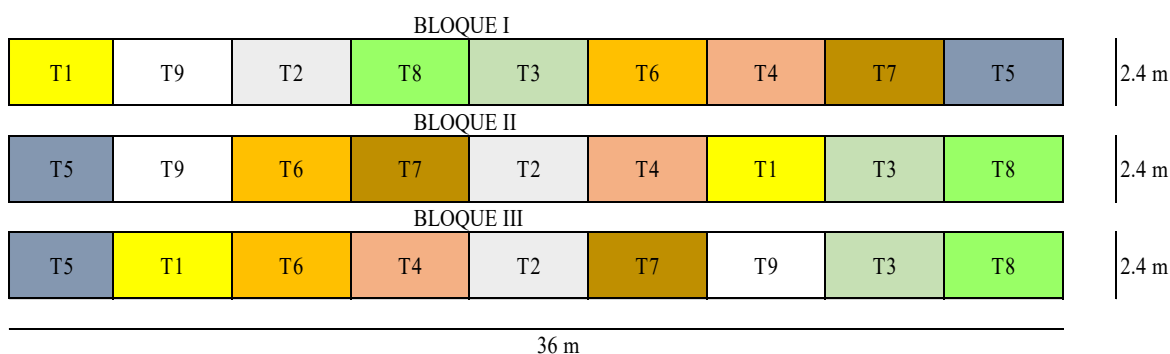
ε_{ijk} = Es el efecto del error experimental

2.10. Tratamientos

Los tratamientos estuvieron conformados por la combinación de 3 niveles de biosilice a base de diatomea y 3 niveles de ácidos húmicos (PHOS-HUMIC NK), resultando al final 9 tratamientos. Ambos productos fueron aplicados vía foliar en cuatro oportunidades durante la campaña agrícola, a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante, correspondiente a las fechas 02/10/2025, 17/10/2025, 02/11/2025 y 17/11/2025, respectivamente.

Tabla 2.5*Código y descripción de tratamientos.*

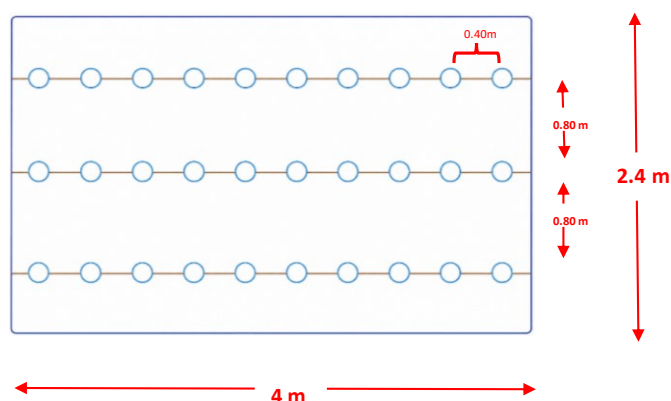
Tratamientos	Descripción	Código
T1	0.0% p/v de biosilice y 0.0 % v/v de ácido húmico	b0* AH0
T2	0.0% p/v de biosilice y 0.25 % v/v de ácido húmico	b0* AH1
T3	0.0% p/v de biosilice y 0.50 % v/v de ácido húmico	b0* AH2
T4	0.5% p/v de biosilice y 0.0 % v/v de ácido húmico	b1* AH0
T5	0.5% p/v de biosilice y 0.25 % v/v de ácido húmico	b1* AH1
T6	0.5% p/v de biosilice y 0.50 % v/v de ácido húmico	b1* AH2
T7	1.0% p/v de biosilice y 0.0 % v/v de ácido húmico	b2* AH0
T8	1.0% p/v de biosilice y 0.25 % v/v de ácido húmico	b2* AH1
T9	1.0% p/v de biosilice y 0.50 % v/v de ácido húmico	b2* AH2

Figura 2.3*Croquis de la distribución de los tratamientos.***Tabla 2.6***Características de las unidades experimentales.*

Descripción	Unidad	Medida
Largo de UE	m	4.0
Ancho de la UE	m	2.4
Largo del bloque	m	36
Ancho del bloque	m	2.4
Área de UE	m ²	9.6
Número de surcos por UE	und.	3.0
Número de plantas por UE	Und.	30
Distancia entre surcos	m	0.80
Distancia entre golpes	m	0.40

Figura 2.4

Croquis de la unidad experimental.



2.11. Análisis estadístico

Para evaluar las diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó análisis de varianza (ANVA) con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, comparación de medias mediante la prueba de Tukey (0,05) y correlación de Pearson. Los análisis estadísticos fueron ejecutados en el software R versión 4,4.2, mientras que los diagramas de caja (boxplot) y algunos gráficos se elaboraron en Excel. Asimismo, el fenotipado de cobertura foliar se realizó en Python.

2.12. Instalación y conducción del cultivo

2.12.1. Preparación de terreno

Primero se realizó limpieza general de terreno, retirándolos los restos de cosecha, piedras, malezas, etc. Luego se realizó el arado mecanizado y mullido a rastra dos pasadas. Finalmente, el surcado correspondiente con dimensiones de 0,80 m entre surcos (12/09/2025).

2.12.2. Replanteo de croquis

Consistió en realizar las marcaciones de las unidades experimentales utilizando yeso agrícola y pita según el planteamiento anticipado en el proyecto (16/09/2025).

2.12.3. Instalación de riego

Se instaló riego por goteo, para lo cual se empleó las cintas con goteros a cada 20 cm y con caudal de descarga de 2 L hora.

2.12.4. Trasplante

Se utilizó plántulas con tamaño promedio de 8 – 10 cm previamente aclimatadas para el trasplante correspondiente a 0,80 m entre surcos y 0.40 m entre plantas (16/09/2025).

2.12.5. Riego

Se realizó inter diario durante la dos primeras semanas, luego el riego fue dependiendo de las condiciones climáticas.

2.12.6. Recalce

Se realizó una semana después con la finalidad de reemplazar algunas plántulas muertas, en esta oportunidad las plántulas muertas fueron muy pocos (25/09/2025).

2.12.7. Abonamiento

El abonamiento se realizó con dosis constante para todos los tratamientos a base de fuentes orgánicas de supersuelo (gallinaza) a razón de 2 t ha⁻¹. Esta actividad se realizó en el primer apoque como abonado de fondo (18/10/2025). Cabe recalcar que, con el abonamiento el objetivo no fue suplir todas las necesidades nutricionales del cultivo, sino solamente una ayuda constante a todos los tratamientos, ya que la finalidad fue evaluar la respuesta de cultivo en condiciones no propicias nutricionalmente según los tratamientos aplicados.

Tanto el biosilice (Tierra de diatomea remojando con 24h de anticipación) y ácidos húmicos (PHOS-HUMIC NK) se aplicaron vía foliar 4 veces por campaña agrícola y estos fueron a los 15, 30, 45 y 60 días después de trasplante, primera aplicación (02/10/2025), segunda aplicación (17/10/2025), tercera aplicación (02/11/2025) y cuarta aplicación (17/11/2025), respectivamente. Las dosis aplicadas fueron de acuerdo a los tratamientos establecidos.

2.12.8. Aporque

Se realizó el primer aporque (18/10/2025) cuando las plántulas estuvieron con una altura de 15 – 20 cm en promedio, el cual tuvo la finalidad de mejorar el desarrollo radicular, anclaje de la planta y evitar el encharcamiento, mejorar la aireación y control de arvenses, el segundo aporque se realizó a los 04 días del mes de noviembre.

2.12.9. Control de arvenses

Se realizó durante el primer y segundo aporque, con la finalidad de evitar la competencia interespecífica y proliferación de enfermedades.

2.12.10. Control fitosanitario

Se realizó dos controles fitosanitarios durante la campaña contra insectos. El primer control se realizó el 16/09/25 con insecticida de nombre comercial “golgotrin” de principio activo “Cypermethrin” a razón de 0.4 L ha⁻¹, con la finalidad de prevenir daños por masticación ocasionados por grillos en las plántulas. El segundo control se realizó el 20/10/25 aplicando insecticida “Lancer” de principio activo “Imidacloprid” a razón de 50mL por cilindro, con la finalidad de controlar la presencia de pulguitas y gusano medidor.

2.12.11. Cosecha

Se realizó en madurez comercial, es decir, cuando el repollo estuvo duro y firme al tacto (al presionar con los dedos no se hunde fácilmente). Posteriormente se siguió con las evaluaciones correspondientes del rendimiento (12/12/2025).

2.13. Evaluaciones de las variables dependientes

2.13.1. Altura de planta a la cosecha (cm)

Se midió días antes de la cosecha en madurez comercial, la medida se realizó desde el suelo hasta el nivel de la hoja más alta en 10 plantas al azar.

2.13.2. Diámetro polar de repollo (cm)

Se midió después de la cosecha y estas fueron expresadas en cm, para ello se tomó al azar 10 plantas por cada tratamiento.

2.13.3. Diámetro ecuatorial de repollo (cm)

Se midió después de la cosecha, para ello se tomó al azar 10 plantas por cada tratamiento.

2.13.4. Peso fresco de repollo por planta

Se evaluó después de la cosecha, lo cual consistió en pesaje de forma independiente a los 10 repollos por tratamiento.

2.13.5. Rendimiento comercial de repollo ($t\ ha^{-1}$)

Se estimó mediante extrapolación a una hectárea a partir del peso promedio de una muestra de 10 plantas representativas y aptas comercialmente. Dicho cálculo permitió expresar la producción en términos de toneladas por hectárea.

2.13.6. Cobertura foliar de repollo (%)

Se evaluó la cobertura foliar verde (fotosintéticamente activa) a los 80 días después de la siembra cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica y fueron comercialmente aptas para la venta. Este parámetro tuvo como finalidad evaluar la cobertura foliar verde en cada tratamiento aplicado. Para ello, se tomaron fotografías a una altura constante (altura a la cintura), las cuales fueron recortadas al cuadrante o área que ocupa una planta (0.4 x 0.8 m). Finalmente, las fotografías fueron procesadas en Python mediante Visual Studio Code.

2.13.7. Rentabilidad económica de repollo (%)

Se realizó los cálculos correspondientes en función de una hectárea, para lo cual primero se estimó costos de producción por hectárea, luego se estimó el porcentaje de rentabilidad para cada tratamiento.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Altura de planta a la cosecha

Tabla 3.1

Análisis de varianza de altura de planta de repollo a la cosecha, bajo el efecto de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	28.210	14.105	2.987	0.0790 ns
Biosilíce (B)	2	24.710	12.355	2.616	0.1040 ns
Ácidos húmicos (AH)	2	55.180	27.590	5.842	0.0124*
Interacción (B*AH)	4	118.390	29.598	6.267	0.0031**
Biosilíce en 0 % de AH					
R. lineal	1	103.340	103.340	21.882	0.0003**
R. cuadrático	1	45.760	45.760	9.690	0.006**
Biosilíce en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	5.230	5.230	1.107	0.0384 *
R. cuadrático	1	18.400	18.400	3.896	0.0659 ns
Biosilíce en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	0.002	0.002	0.000	0.9852 ns
R. cuadrático	1	0.840	0.840	0.178	0.6779 ns
Error	16	75.560	4.723		
Total	26	302.050			
C. V (%)	6.81				

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**).

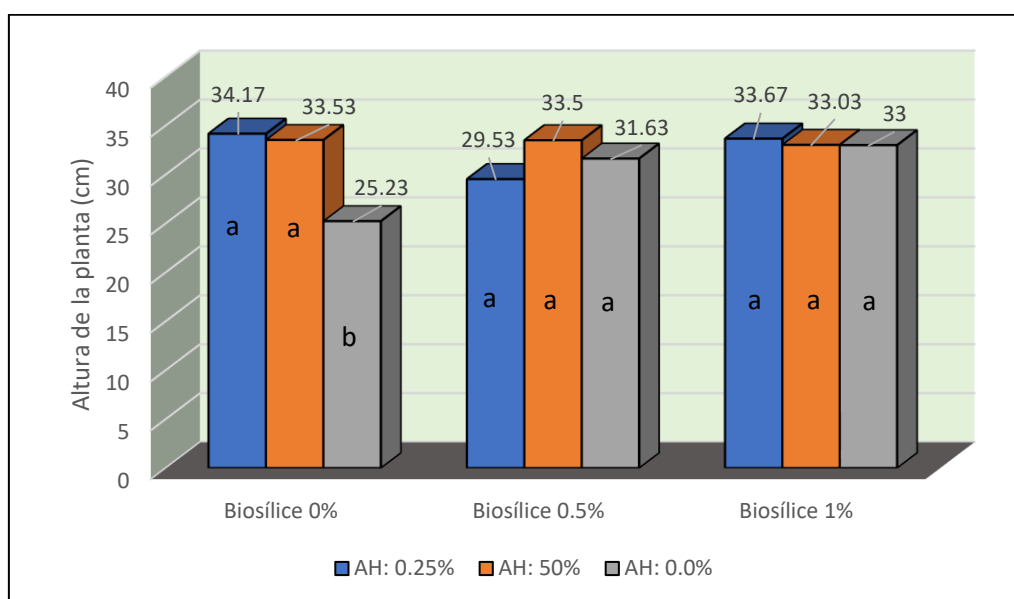
En la tabla 3.1 Se presenta el análisis de varianza de altura de planta de repollo a la cosecha, bajo el efecto de dosis de biosilíce (B) y ácidos húmicos (A). Los resultados indican que se encontró significancia estadística únicamente en efectos de ácidos húmicos y altamente significativo en la interacción (B x AH). Esto sugiere que, en las condiciones del experimento, la altura a la cosecha tuvo mejor respuesta principalmente a niveles de ácido húmico, así como al efecto combinado de ambos factores. Además, se obtuvo un coeficiente de variación (CV = 6.81%), lo cual refleja una precisión experimental aceptable y confiabilidad en la medición de esta variable.

En este ANVA una de las particularidades que se observa es que la interacción resultó significativo a pesar de la no significancia del otro factor (dosis de biosilíce), lo cual es aceptable en análisis de este tipo, tal como lo afirman Simundic (2012) y Herzog et al. (2019) en sus libros de estadística.

En el análisis de varianza de las regresiones, para 0% de ácido húmico los modelos lineales y cuadrático fueron significativos, indicando una tendencia definida de la altura frente a las dosis de biosilíce. Para 0.25 % y 0.50% los modelos lineal y cuadrático no presentaron significancia, confirmando que no hubo respuesta diferencial de la altura ante el incremento de biosilíce en ese nivel de ácido húmico.

Figura 3.1

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de altura de planta de repollo a la cosecha, bajo los efectos simples de dosis de ácido húmico en cada dosis de biosilíce.



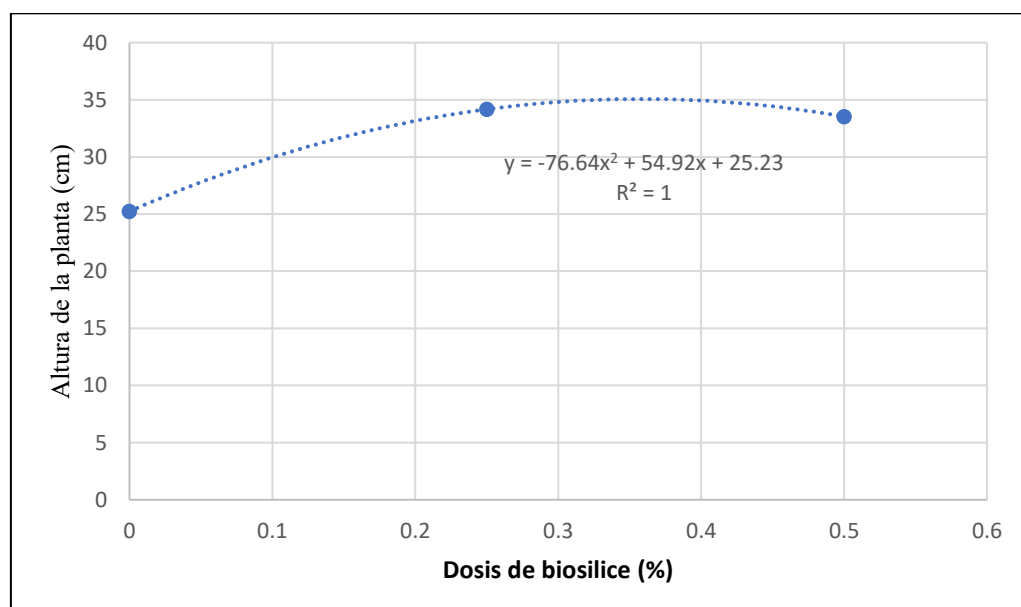
En la figura 3.1 se presenta la comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) de altura a la cosecha, bajo los efectos simples de dosis ácidos húmicos (A) en cada nivel de biosilíce. Una respuesta rescatable se encontró con la aplicación combinada de 0.25% y 0.50% de ácido húmico (AH) con 0% biosilíce, con promedio de 34.17 cm y 33.53cm de altura, respectivamente. Numéricamente, el 0.25% es mejor, superando al testigo con un incremento de 26.16%. Con la aplicación del efecto combinado de biosilíce 0.5% y 1.0% con cada dosis de ácido húmico las respuestas de la altura de col resultaron similares estadísticamente, es decir, sus efectos muestran altura pareja en las condiciones de Canaán. Donde, la altura mínima resultó 29.53 cm y la máxima de 33.67 cm.

En otros trabajos asociados en lechuga, Díaz-Juárez (2021) reportó que con 20% de ácido húmico se alcanzó 22 cm de altura, mientras que con 10% se logró 19 cm, mostrando una respuesta positiva del cultivo a ese insumo bajo sus condiciones de evaluación. Por otra parte, en betarraga, Baca-Luján (2017) también observó mejoras con ácidos húmicos: Registró 51.67 cm de altura con 6 mL L-1, frente a 45.42 cm en el testigo, además de incrementos en atributos vinculados al vigor. Sobre biosilice, Cartagena-Gamboa (2025) reportó en cebolla que una dosis foliar (0.5%) incrementó la altura a 61.47 cm, respecto a 57.38 cm del testigo.

Respecto al ácido húmico (AH), los hallazgos similares reportados por Mohammed y Al-Ubaidy (2019) en repollo morado, aplicados mediante pulverización foliar, corroboraron que este factor mejoró significativamente los parámetros de crecimiento como la altura de la planta, atribuyéndose este efecto a la mayor eficiencia en la asimilación de nutrientes. En la misma línea, Baca-Lujan (2017) observó que los ácidos húmicos y fúlvicos en betarraga incrementó el crecimiento en condiciones controladas de invernadero, destacando el rol de este bioestimulante en la división celular y elongación de tejidos. Estos antecedentes respaldan la respuesta positiva del repollo a los AH, especialmente cuando se aplican en dosis óptimas y en condiciones de suelo con materia orgánica media (1.86%), como la de nuestro estudio.

Figura 3.2

Tendencia del comportamiento de altura de planta de repollo a la cosecha, según la dosis de biosilice con 0% de ácido húmico.



En la figura 3.2 se evidencia una tendencia cuadrática de la altura de col, del cual deducimos que con cierto nivel de biosilice se podría encontrar altura máxima, y luego los niveles más altos tiende a tener efectos decrecientes. Resolviendo la ecuación se tiene que, con 0.36% de biosilice se maximiza la altura, encontrando 35.07 cm. El valor de coeficiente de determinación R^2 indica que este modelo explica el 100% de la variabilidad de la altura.

3.2. Diámetro polar de repollo

Tabla 3.2

Análisis de varianza de diámetro polar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	15.880	7.940	2.392	0.1234 ns
Biosilice (B)	2	6.890	3.445	1.038	0.3771 ns
Ácidos húmicos (A)	2	3.890	1.945	0.586	0.5684 ns
Interacción (B*A)	4	38.230	9.558	2.879	0.0568 ns
Biosilice en 0 % de AH					
R. lineal	1	27.950	27.950	8.420	0.0104*
R. cuadrático	1	7.930	7.930	2.389	0.1417 ns
Biosilice en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	1.310	1.310	0.395	0.5393 ns
R. cuadrático	1	4.010	4.010	1.208	0.2878 ns
Biosilice en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	0.540	0.540	0.163	0.6921 ns
R. cuadrático	1	0.380	0.380	0.114	0.7410 ns
Error	16	53.110	3.319		
Total	26	118.000			
C. V (%)	8.09				

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**).

En la tabla 3.2 se presenta el análisis de varianza del diámetro polar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice (B) y ácidos húmicos (A). Los resultados evidencian que los factores biosilice y ácidos húmicos, así como su interacción (B x AH), no mostraron significancia estadística, sugiriendo que, en las condiciones del experimento, los niveles evaluados de estos factores no generaron cambios diferenciados en el diámetro polar, ni se presentó una respuesta dependiente de la combinación biosilice y ácido húmico. Según los resultados, se realizarán análisis descriptivo para obtener mayor información de los tratamientos, más no se realizarán comparaciones múltiples.

El coeficiente de variación (CV = 8.09%) refleja una precisión experimental aceptable, lo que respalda la confiabilidad de los resultados para esta variable.

En el análisis de varianza de las regresiones, los modelos evaluados para describir la tendencia del diámetro polar frente a las dosis de biosilíce dentro de cada nivel de ácido húmico, únicamente el modelo lineal resultó estadísticamente significativo con la aplicación de 0% de AH. Por otra parte, 0.25% de ácido húmico y en 0.50% de ácido húmico, los modelos lineal y cuadrático también resultaron no significativos, evidenciando que el diámetro polar no presentó una respuesta polinómica frente a las dosis de biosilíce en ninguno de los niveles de ácido húmico evaluados.

Tabla 3.3

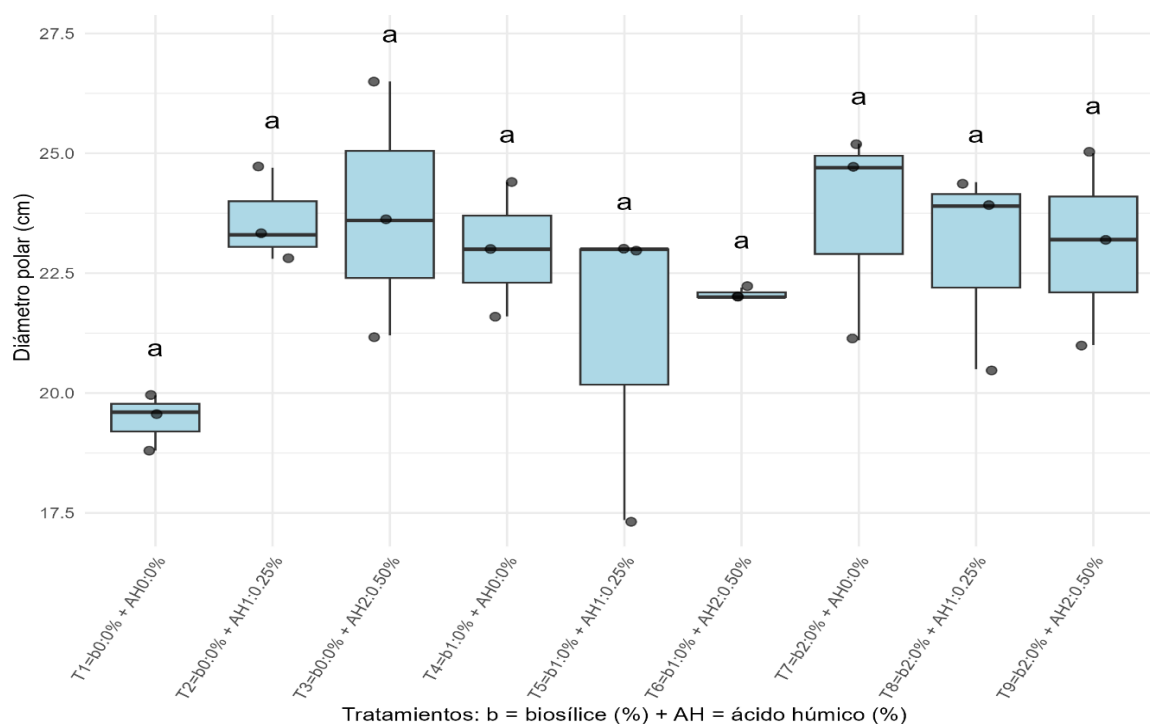
Análisis descriptivo del diámetro polar de repollo, bajo los efectos principales de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.

Trat.	Promedio $\pm$ DE (cm)	Mín. (m)	Máx. (m)	Q25	Q50	Q75
T3	23.77 $\pm$ 2.66	21.20	26.50	22.40	23.60	25.05
T7	23.67 $\pm$ 2.24	21.10	25.20	22.90	24.70	24.95
T2	23.60 $\pm$ 0.98	22.80	24.70	23.05	23.30	24.00
T9	23.07 $\pm$ 2.00	21.00	25.00	22.10	23.20	24.10
T4	23.00 $\pm$ 1.40	21.60	24.40	22.30	23.00	23.70
T8	22.93 $\pm$ 2.12	20.50	24.40	22.20	23.90	24.15
T6	22.07 $\pm$ 0.12	22.00	22.20	22.00	22.00	22.10
T5	21.12 $\pm$ 3.26	17.35	23.00	20.18	23.00	23.00
T1	19.45 $\pm$ 0.59	18.80	19.95	19.20	19.60	19.78

Nota. DE: desviación estándar, Q25, Q50 y Q75 (cuartiles)

Figura 3.3

Boxplot del diámetro polar de repollo, bajo el efecto combinado de dosis de biosilíce y ácido húmico.



En la tabla 3.3 y figura 3.3 el análisis descriptivo muestra que el T3 (0% biosilice + 0.5% ácido húmico) presentó mayor promedio (27.77 ± 2.66 cm), superando claramente al resto, lo que indica un efecto favorable sobre el desarrollo morfológico del repollo. Luego siguen los tratamientos T7 (biosilice 1% + AH 0%) con 23.67 ± 2.24 cm y T2 (1% biosilice + 0.25% AH) con 25.00 ± 1.4 cm.

Por otra parte, los tratamientos más estables fueron T2 con una desviación estándar (DE) de ± 0.90 cm, lo que indica que la col en su diámetro polar responde con cierta estabilidad en condiciones del experimento. Asimismo, el tratamiento T5 resultó menos estable con DE ± 3.26 cm, lo que demuestra variación en su respuesta, es decir, el rango de respuesta es amplia, por lo que agronómicamente no torna de mucha importancia.

Los rangos intercuartiles indican la variabilidad o estabilidad de respuesta en cada tratamiento, cuando Q75-Q25 es pequeño, refleja más estabilidad; mientras, ese rango es más amplio, refleja mayor rango de variabilidad en la respuesta.

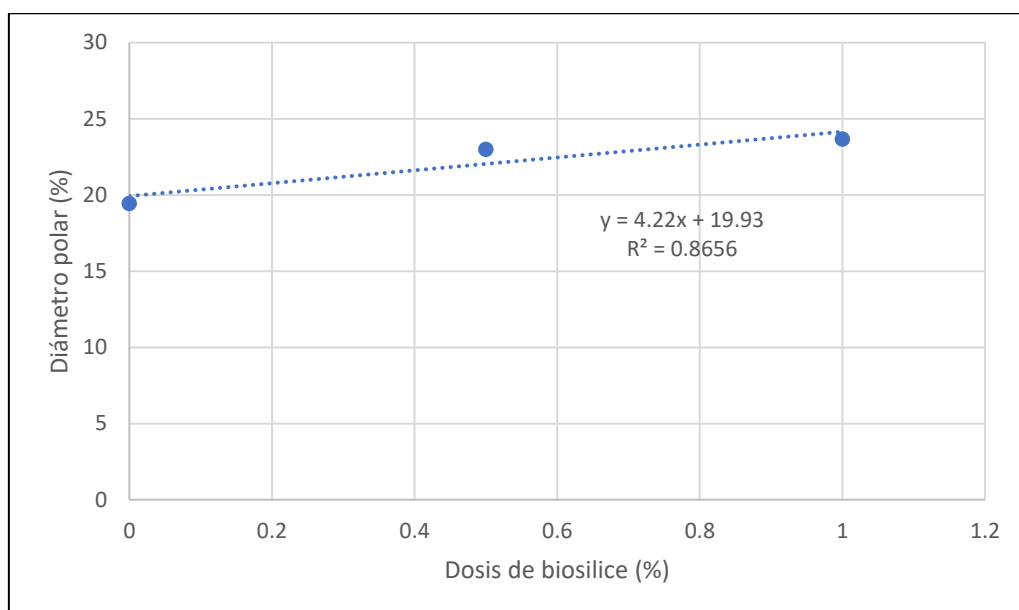
Según Telles et al. (2019), en un ensayo de campo con aplicaciones foliares de silicio y estrategias de manejo en col/repollo, registraron incrementos importantes en masa fresca de cabeza, alcanzando 1041.6 g en uno de los tratamientos frente a 602.0 g en el control; además, el perímetro de cabeza llegó a 53.1 cm versus 37.3 cm en el control.

El efecto superior de T3 podría atribuirse al efecto conocido de ácidos húmicos de actuar como bioestimulantes. Los hallazgos como de Canales-Almendares et al. (2024) demostraron que la aplicación de ácido húmico mejoró sustancialmente parámetros de repollo, debido a que este tiende a mejorar las composiciones iónicas del suelo, por lo que indirectamente también influye en forma positiva. En suelo experimental de Canaán se encontró un pH de 7.69 (ligeramente alcalino) y un nivel de fósforo disponible de 5.2 ppm (considerado bajo), bajo este contexto, la capacidad quelante de ácido húmico pudo haber actuado para suplir deficiencias solubilizando nutrientes. Este resultado concuerda con Mahmood y Al-Ubaidy (2019), quienes demostraron en col roja influencia positiva en ensanchamiento de repollos. Por su parte, Mahmood y Al-Ubaidy (2019) reportaron que el ácido húmico también mejoró la morfometría de la cabeza: El diámetro de cabeza subió a 14.55 cm frente a 12.67 cm, y la altura de cabeza pasó a 14.17 cm frente a 12.27 cm.

En cuanto a la combinación de biosilice y ácidos húmicos, T2: 1% biosilice + 0.25% AH; T7: 1% biosilice + 0% AH mostraron promedios del diámetro polar inferiores. Si bien la biosilice es reconocida por sus beneficios, como el fortalecimiento de la pared celular y la mitigación de estrés abiótico (Arkadiusz Artyszak et al., 2025; Hassan & Obaid, 2020), su interacción con los ácidos húmicos en la mezcla T2 pudo no haber sido óptima.

Figura 3.4

Tendencia del diámetro polar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice sin la aplicación de ácido húmico (0%).



En la figura 3.4 se muestra la tendencia del diámetro de repollo, donde por cada unidad de biosilice proporcionado la tasa de crecimiento del diámetro es creciente linealmente siguiendo la ecuación: $y = 4.22x + 19.93$. Esto sugiere que por cada dosis de biosilice el diámetro se incrementó en 4.22 cm. El coeficiente de determinación R^2 muestra que esta ecuación explica el 86.56% de variabilidad, por lo que es muy consistente y confiable.

3.3. Diámetro ecuatorial de repollo

Tabla 3.4

Análisis de varianza de diámetro ecuatorial de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	160.390	80.195	14.164	0.0003**
Biosilíce (B)	2	4.510	2.255	0.398	0.6778 ns
Ácidos húmicos (AH)	2	2.910	1.455	0.257	0.7765 ns
Interacción (B*AH)	4	35.360	8.840	1.561	0.2325 ns
Biosilíce en 0 % de AH					
R. lineal	1	15.750	15.750	2.782	0.1148 ns
R. cuadrático	1	2.980	2.980	0.526	0.4789 ns
Biosilíce en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	0.140	0.140	0.025	0.8792 ns
R. cuadrático	1	17.410	17.410	3.075	0.0987 ns
Biosilíce en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	1.600	1.600	0.283	0.6021 ns
R. cuadrático	1	0.400	0.400	0.071	0.7925 ns
Error	16	90.590	5.662		
Total	26	293.760			
C. V (%)	12.25				

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**).

En la tabla 3.4 se presenta el análisis de varianza del diámetro ecuatorial de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilíce (B) y ácidos húmicos (A). Los factores biosilíce y ácidos húmicos, así como su interacción (B x AH), no presentaron significancia estadística, lo cual indica que, en las condiciones evaluadas, los niveles de biosilíce y de ácido húmico no generaron diferencias detectables en el diámetro ecuatorial, ni se observó un efecto combinado entre ambos factores sobre esta variable.

El coeficiente de variación (CV = 12.25%) sugiere una variabilidad experimental moderada, aunque dentro de rangos aceptables para variables de crecimiento, respaldando la interpretación general del ensayo.

En el análisis de varianza de las regresiones, los modelos probados para describir la respuesta del diámetro ecuatorial frente a las dosis de biosilíce dentro de cada nivel de ácido húmico no fueron significativos. En 0% de ácido húmico, tanto el componente lineal como el cuadrático no evidenciaron ajuste significativo, indicando ausencia de tendencia del

diámetro ecuatorial ante el incremento de biosilíce. De manera similar, en 0.25% de ácido húmico y en 0.50% de ácido húmico, los modelos lineal y cuadrático también resultaron no significativos, confirmando que el diámetro ecuatorial no presentó respuesta polinómica frente a las dosis de biosilíce en ninguno de los niveles de ácido húmico evaluados.

Tabla 3.5

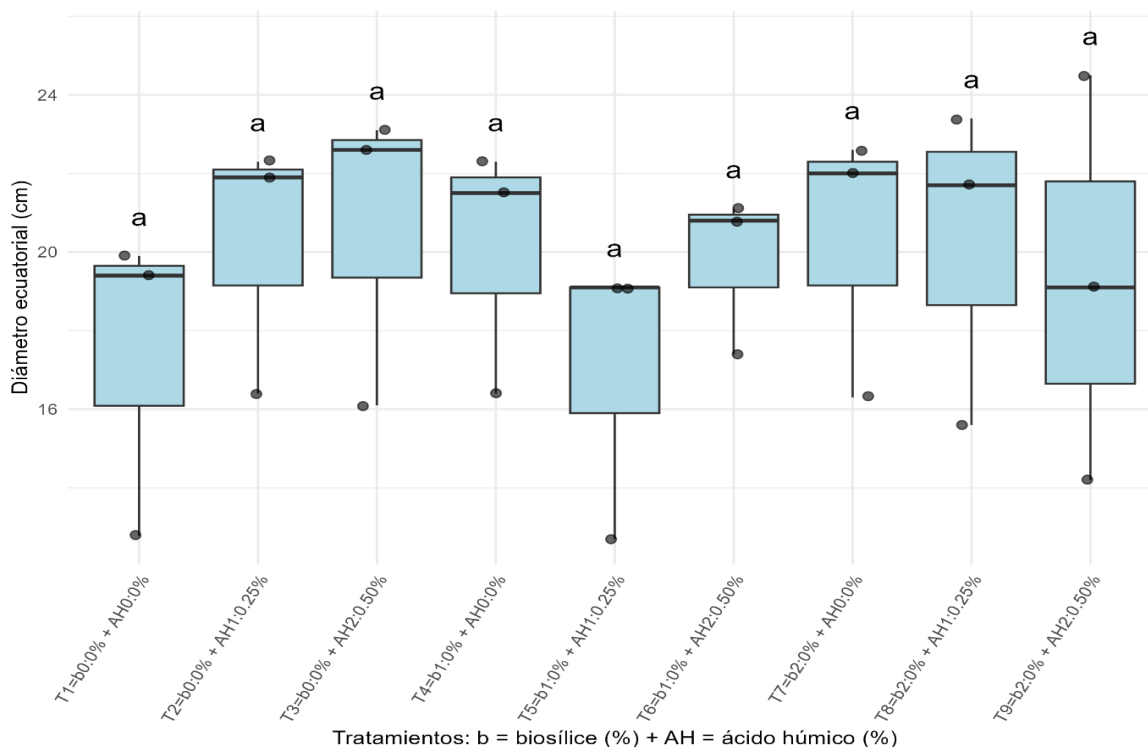
Análisis descriptivo del diámetro ecuatorial de repollo, bajo los efectos principales de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.

Trat.	Promedio $\pm$ DE (cm)	Mín. (m)	Máx. (m)	Q25	Q50	Q75
T3	20.60 $\pm$ 3.91	16.1	23.1	19.35	22.60	22.85
T7	20.30 $\pm$ 3.47	16.3	22.6	19.15	22.00	22.30
T8	20.23 $\pm$ 4.10	15.6	23.4	18.65	21.70	22.55
T2	20.20 $\pm$ 3.30	16.4	22.3	19.15	21.90	22.10
T4	20.07 $\pm$ 3.20	16.4	22.3	18.95	21.50	21.90
T6	19.77 $\pm$ 2.06	17.4	21.1	19.10	20.80	20.95
T9	19.27 $\pm$ 5.12	14.2	24.5	16.65	19.10	21.80
T1	17.36 $\pm$ 3.97	12.78	19.9	16.09	19.40	19.65
T5	16.97 $\pm$ 3.70	12.7	19.1	15.90	19.10	19.10

Nota. DE: desviación estándar, Q25, Q50 y Q75 (cuartiles).

Figura 3.5

Boxplot del diámetro ecuatorial de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.



En la tabla 3.5 y figura 3.5 el tratamiento T3 (0% de biosilice + 0.5% ácido húmico) presentó mayor influencia con 20.60 ± 3.91 cm de diámetro ecuatorial de repollo, siendo este el promedio más alto. Por otra parte, el diámetro de repollo con los tratamientos T7 (1% biosilice + 0% AH), T8 (1% biosilice + 0.25% AH), T2 (0% biosilice + 0.25% AH) y T4 (0.5% biosilice + 0% AH) fueron muy similares que varían entre 20 – 20.3 cm en promedio. No obstante, los tratamientos T8 y T7 tuvieron mayor DE, ± 4.10 y ± 3.47 cm, lo que refleja mayor variabilidad.

Por otra parte, el tratamiento T6 (0.5% biosilice + 0.5% AH) con DE 19.77 ± 2.06 cm, lo que muestra mayor uniformidad y estabilidad en diámetro de repollo, aunque el diámetro es ligeramente menos que algunos tratamientos.

En el efecto superior de T3 (0% de biosilice + 0.5% ácido húmico), podría atribuirse a la capacidad de ácido húmico de actuar en forma directa e indirecta. Los hallazgos de Canales-Almendares et al. (2024) demuestran en repollo rojo que mejora el contenido nutricional de la planta, además de que tiene el poder quelante en el suelo. El suelo experimental tenía pH de 7.69 y nivel bajo de fósforo ($P = 5.2$ ppm); bajo este contexto, los factores de estudio pudieron haber actuado favorablemente, como en solubilización de nutrientes para suplir las necesidades, por lo que observamos respuestas superiores en col. Por otra parte, Mohammed y Al-Ubaidy (2019) describe las bondades de ácido húmico luego de haber visto su efecto favorable en col roja en cuanto al incremento de rendimiento y ensanchamiento de repollos.

3.4. Peso fresco de repollo por planta

Tabla 3.6

Análisis de varianza de peso fresco de repollo por planta, bajo el efecto de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	0.200	0.100	2.286	0.1308 ns
Biosilíce (B)	2	0.370	0.185	4.229	0.0322 *
Ácidos húmicos (A)	2	0.440	0.220	5.029	0.0201 *
Interacción (B*A)	4	0.690	0.173	3.943	0.0204 *
Biosilíce en 0 % de AH					
R. lineal	1	0.780	0.780	17.829	0.0006**
R. cuadrático	1	0.070	0.070	1.600	0.2164 ns
Biosilíce en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	0.030	0.030	0.686	0.4023 ns
R. cuadrático	1	0.240	0.240	5.486	0.0335*
Biosilíce en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	0.002	0.002	0.046	0.8324 ns
R. cuadrático	1	0.010	0.010	0.229	0.6818 ns
Error	16	0.700	0.044		
Total	26	2.400			
C. V (%)	14.68				

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**).

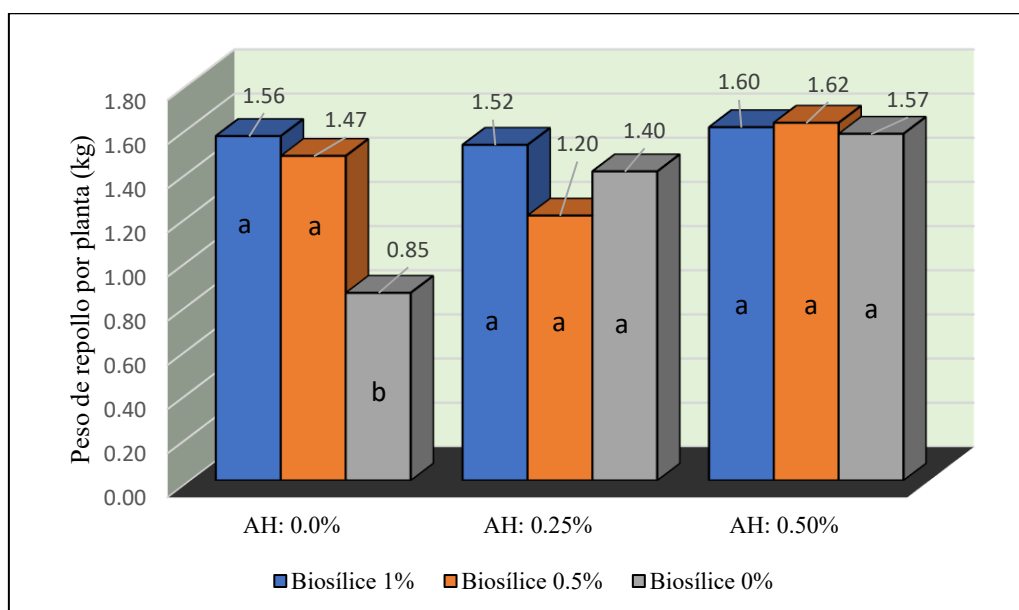
En la tabla 3.6 se presenta el análisis de varianza del peso fresco de repollo por planta, bajo el efecto de dosis de biosilíce (B) y ácidos húmicos (A). Los resultados muestran diferencias estadísticas para las fuentes de variación biosilíce, ácidos húmicos y la interacción (B x AH). Esto indica que, en las condiciones del experimento, el peso fresco respondió de forma diferenciada a los efectos independientes de biosilíce y ácidos húmicos aplicados, así como a la interacción de ambos factores de estudio. La significancia de la interacción biosilíce por ácido húmico sugiere que la respuesta del cultivo a la biosilíce dependió del nivel de ácido húmico aplicado, observándose un efecto sinérgico cuando ambos insumos, no obstante, el biosilíce por sí solo no tiene efecto trascendente.

El coeficiente de variación (CV = 14.68%) sugiere una variabilidad experimental moderada, aunque dentro de rangos aceptables para variables de crecimiento, respaldando la interpretación general del ensayo.

Únicamente el modelo lineal en 0% de ácido húmico (AH) resultó significativo; mientras, con 0.25% de AH resultó el cuadrático estadísticamente significativo, indicando presencia de tendencia del peso fresco ante el incremento de biosilice. Por otra parte, en 0.50% de ácido húmico, no hay significancia, lo que confirma que el peso fresco tuvo comportamiento casi uniforme.

Figura 3.6

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de peso fresco de repollo por planta, bajo los efectos simples de biosilice en cada dosis de ácido húmico.



En la figura 3.6 se presenta comparación múltiple de efectos simples, donde, al aplicar 0% de ácido húmico (AH) y 1% de biosilice se encontró un peso máximo de 1.56 kg por planta de repollo, el cual es superior estadísticamente respecto al testigo, con un incremento de 45.51%.

Por otro lado, al aplicar 0.25% de AH y 1.0% de biosilice se encontró un peso máximo de 1.52 kg por planta, no obstante, este resultado se mantiene muy similar estadísticamente en el efecto de 0.5 y 0% de biosilice, donde cuyos valores resultaron 1.20 y 1.40 kg, respectivamente.

Por último, al aplicar 0.50% de AH y 0.50% de biosilice se encontró peso más alto, equivalente a 1.62 kg, aunque este es similar estadísticamente respecto al efecto de los demás niveles de biosilice.

En este estudio se encontró peso máximo de 1.62 kg con la aplicación de 0.5% de ácido húmico, lo cual es inferior a los hallazgos de estudios similares como de Juškevičienė et al., (2025) en col blanca (ensayos con productos bioestimulantes comerciales), quienes reportaron incrementos mayores: El peso de cabeza pasó de 1.84 kg en el control a 2.44 kg en el tratamiento con ácidos húmicos/fúlvicos + aminoácidos. Además, en el trabajo de Telles et al., (2019), el tratamiento destacado alcanzó 1.04 kg de masa fresca (1041.6 g), menor al promedio encontrado en Canaán; esto sugiere que, aun sin diferencias estadísticas, los tratamientos aplicados en Canaán incrementaron pesos comerciales altos. Asimismo, el incremento notorio del peso de repollo (1.62 kg) de col encontrado en este trabajo de podría atribuirse a los mecanismos de acción de ácidos húmicos como menciona Ampong et al. (2022), quienes explican que los ácidos húmicos tienen esa característica de mejorar la arquitectura del sistema radicular y aumentar la disponibilidad de nutrientes, actuando que quemadores de iones metálicos y estimulando la actividad microbiana.

El papel de la biosilice como agente bioestimulante es explicado por Constantinescu-Aruxandei et al. (2020), quienes destacan que estos pueden actuar como biorracionales, es decir, remediadores de la planta en general para la resistencia a los estreses abióticos, de tal manera que este elemento tiende a depositarse en las paredes celulares, creando una barrera protectora, lo que se refleja regularmente en rendimiento de cultivos como la col; como afirman Batistič et al. (2025), además de las estructuras celulares, el biosilice de diatomea mejora la eficiencia fotosintética, lo que se traduce en el incremento de biomasa de cultivos como la col. En consecuencia, estos explican los incrementos de peso de col en condiciones de Canaán.

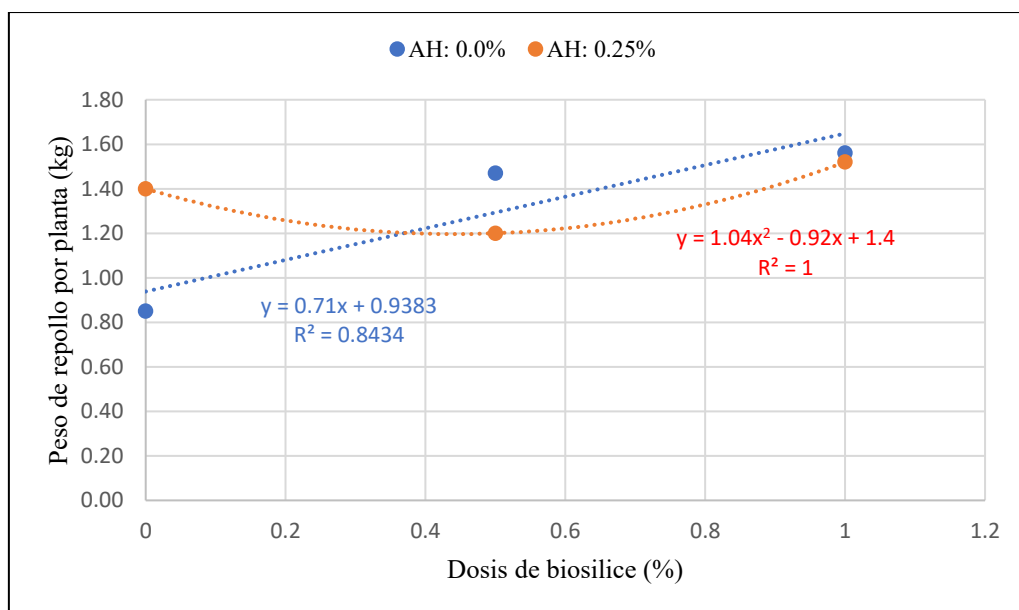
Referente a la interacción, en los resultados encontrados es particularmente interesante; El tratamiento con 0.50% de AH y 0.50% de biosilice, que produjo el máximo peso (1.62 kg), sugiere un equilibrio óptimo. Canales-Almendares et al. (2024) en sus estudios similares en col, demostraron que la aplicación de ácidos húmicos modifica la composición iónica del suelo lo que se refleja en mayor disponibilidad de nutrientes para la planta; en Canaán, es posible que haya sucedido lo mismo, favoreciendo en el incremento de biomasa de la col.

Contextualizando las condiciones edáficas en este estudio, el pH resultó 7.69 que es ligeramente alcalino y una disponibilidad de fósforo bajo (5.2 ppm). Al respecto, Sarkar et

al. (2021) demostraron en cultivo de cebolla que la bioestimulación puede optimizar la eficiencia en el uso de nutrientes. Caso similar, en nuestro caso los ácidos húmicos pudieron actuar en forma similar, aumentando la disponibilidad de nutrientes como el P, de tal manera que eso ha suplido algunas deficiencias.

Figura 3.7

Tendencia de peso fresco de repollo por planta, bajo el efecto de las dosis de biosilice con la aplicación de 0 y 0.25% de ácido húmicos.



En la figura 3.7 observamos tendencia lineal ($y = 0.71x + 0.9383$) en el efecto combinado de dosis de biosilice y 0% de AH, el cual sugiere un incremento de 0.71 kg de peso por cada unidad de incremento de las dosis de biosilice; además, el coeficiente de determinación indica que este modelo explica el 84.34% de variabilidad.

Por otra parte, con 0.25% de AH se encontró tendencia cuadrática ($y = 1.04x^2 - 0.92x + 1.4$), lo cual sugiere un declive con una dosis intermedia, luego a medida que se incrementa biosilice tiende a incrementar el peso de repollo. Este expone el comportamiento un poco complejo en las condiciones del experimento.

3.5. Rendimiento comercial de repollo

Tabla 3.7

Análisis de varianza de rendimiento comercial de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	198.010	99.005	2.333	0.1291 ns
Biosilíce (B)	2	368.840	184.420	4.345	0.0311 *
Ácidos húmicos (A)	2	430.570	215.285	5.072	0.0197 *
Interacción (B*A)	4	667.420	166.855	3.931	0.0208 *
Biosilíce en 0 % de AH					
R. lineal	1	755.550	755.550	17.801	0.0007**
R. cuadrático	1	70.530	70.530	1.662	0.2157 ns
Biosilíce en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	32.110	32.110	0.757	0.3973 ns
R. cuadrático	1	230.120	230.120	5.422	0.0333*
Biosilíce en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	2.280	2.280	0.054	0.8196 ns
R. cuadrático	1	7.400	7.400	0.174	0.6819 ns
Error	16	679.120	42.445		
Total	26	2343.960			
C. V (%)	14.73				

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**).

En la tabla 3.7 se muestra análisis de varianza de rendimiento comercial de repollos de col por hectárea. Los resultados muestran que los factores de biosilíce, ácidos húmicos y la interacción tuvieron efecto significativo, lo que indica que el rendimiento no depende de un solo factor, son de la combinación entre ambos.

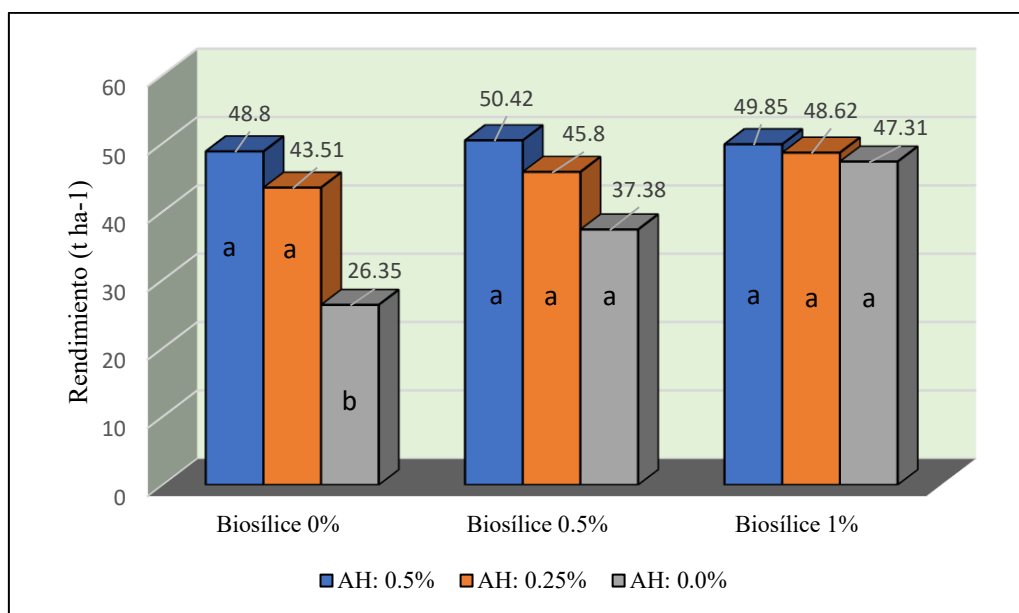
A partir de ello, no basta comparar tratamientos de forma general, son que es necesario analizar cada nivel de ácidos húmicos por separado. En este sentido, cuando no se aplicaron ácidos húmicos (0%), biosilíce mostró una respuesta lineal significativa, lo que significa que al aumentar la dos, el rendimiento también aumenta.

En cambio, con 0.25% de AH, la respuesta fue cuadrática significativa, indicando que existe un punto óptimo de dosis de biosilíce donde se alcanza el mayor rendimiento, y luego este puede disminuir.

Finalmente, con 0.50% de AH no se encontraron diferencias significativas, y el coeficiente de variación (CV=14.73%) lo que indica una variabilidad moderada entre las unidades experimentales.

Figura 3.8

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de rendimiento comercial de repollo, bajo los efectos simples de ácidos húmicos en cada dosis de biosilíce.



En la figura 3.8 se evidencia que al aplicar 0.5% de ácido húmico (AH) en 0% de biosilíce, se encontró una respuesta máxima estadísticamente, con un promedio de 48.8 t ha⁻¹, el cual tiene un incremento de 46.0%, en comparación con el testigo (0% AH). En segundo lugar, con 0.25% de AH con el mismo nivel de biosilíce, se logró encontrar 43.51 t ha⁻¹, muy similar a la anterior respuesta mencionada “a”.

Al aplicar 0.5% de AH en 0.5% de biosilíce se logró encontrar una respuesta máxima de 50.42 t ha⁻¹, seguido por 45.8 t ha⁻¹ con 0.25% AH y 37.38 t ha⁻¹ con 0% AH, estos no se diferencian a nivel estadístico. Al aplicar 0.5% de AH con 1.0% de biosilíce se logró encontrar un promedio máximo de 49.85 t ha⁻¹, seguido por 48.62 t ha⁻¹ con 0.25% AH.

En general, con la aplicación de 0.5% de AH más 0.5% de biosilíce se logró encontrar un rendimiento más alto que el resto, equivalente a 50.42 t ha⁻¹, lo que convendría y es agrónomicamente más rentable.

Los resultados mostrados de la figura 3.8 en el rendimiento en contraste con los hallazgos de Wang et al. (2025) son similares en cuanto se refiere al incremento en comparación de los testigos respectivos, quienes en cultivo de tomate (aireación + ácido húmico) también encontraron incrementos hasta 234.26 t ha⁻¹ frente a 200.72 t ha⁻¹ del control (sin aireación y sin ácido húmico).

Con respecto al biosilice, en el experimento en Canaán en col una concentración del 0.5% fue más influyente, en contraste, Roca-Molina (2024) en tomate Cherry también demostró influencia positiva de biosilice, logrando obtener un rendimiento de 42.31 t ha⁻¹ con una combinación foliar que incluía biosilice (junto con micronutrientes), mostrando que el efecto puede reflejarse en rendimiento y calidad dependiendo del paquete tecnológico. Asimismo, Pillaca-Quispe (2024) en aguaymanto demostró que el biosilice tiene efectos positivos en rendimiento, reportando un rendimiento de 18,321 kg ha⁻¹ y valores altos de clorofila (54.93 SPAD); no obstante, cabe recalcar que en su trabajo utilizó una combinación de biosilice con humato, más no ácido húmico. Para complementar, Kunicki et al. (2024) evaluaron dos cultivares de col y reportaron que, dependiendo del cultivar y del producto, el rendimiento comercial se incrementó en cultivar “Alfredo” desde 47.89 t ha⁻¹ (control) hasta 56.05 t ha⁻¹ con Optysil (silicio); en “Kamenna Głowa” los valores variación en el rango de 40.98 - 45.76 t ha⁻¹ según el biostimulante. En una línea todavía más marcada en col, Juškevičienė et al. (2025) reportaron rendimientos totales desde 57.5 t ha⁻¹ (control) hasta 76.8 t ha⁻¹ en el tratamiento con ácidos húmicos/fúlvicos + aminoácidos; además, su rendimiento comercial también aumentó a 69.6 t ha⁻¹ en el tratamiento más alto frente a 49.9 t ha⁻¹ en el control.

En condiciones de Canaán, el rendimiento máximo encontrado (50.42 t ha⁻¹) es superior a otros antecedentes similares. Ramos-Llanos (2019) en Puno en col encontró rendimientos de 30 – 40 t ha⁻¹ con abonos orgánicos, mientras que Sarkar et al. (2021) en repollo rojo encontraron alrededor de 35 t ha⁻¹ con fertilización mineral y biopriming. Fan et al. (2022) en repollo chino reportaron rendimientos cercanos a 60 t ha⁻¹ con optimización de N, lo que evidencia que el potencial productivo es dependiente de los ajustes que se realiza de los insumos.

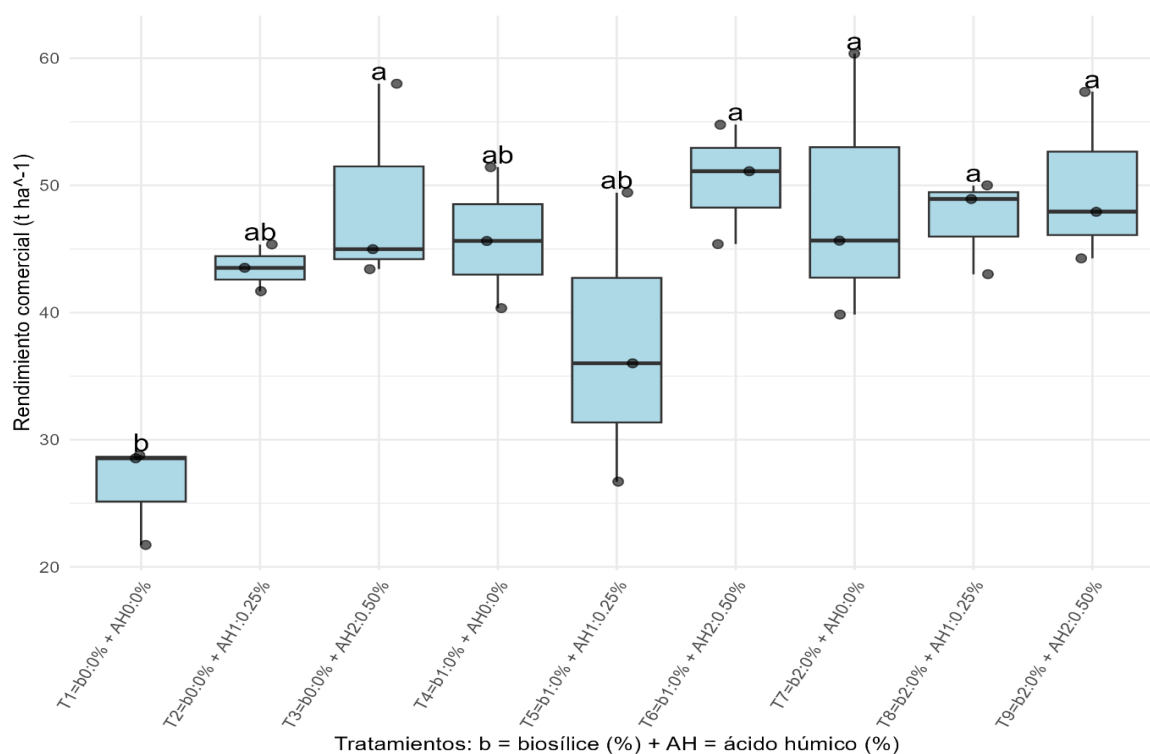
Referente a los efectos en interacción de los biosilice y de ácidos húmicos en los rendimientos, Zavarzina et al. (2025) afirman que tiene actividad antioxidante, lo cual se

logra potenciar bajo ciertas condiciones, lo que sugiere que podría modularse. Al combinarse con biosilíce, afirma que es posible que se potencie su capacidad para reducir el estrés en los cultivos, lo que se pudo haber traducido en rendimiento como se muestra en el cultivo de Col en Canaán. Por otra parte, Wang et al. (2025) también coincide con las afirmaciones de Zavarzina et al. En esta misma línea, Xu et al. (2024) observaron que el silicio dinamiza el suelo, donde ellos mostraron este fenómeno en cultivo de girasol. En nuestro estudio, con 0.5% tanto en ácido húmico y biosilíce maximizó el rendimiento sin llegar a efectos inhibitorios por exceso.

El análisis del suelo de parcela experimental de Canaán, muestra limitaciones en P (5.20 ppm) y materia orgánica de 1.86%, lo que podría de alguna manera haber restringido el rendimiento, sin embargo, la aplicación de ácidos húmicos y biosilíce probablemente mejoró esas condiciones de déficit. En esta línea, Zhang et al. (2024) demostró que la co-inoculación de fertilizante fosfatado y ácidos húmicos aumentó la disponibilidad de P en suelo; esto evidencia y justifica lo encontrado en Canaán.

Figura 3.9

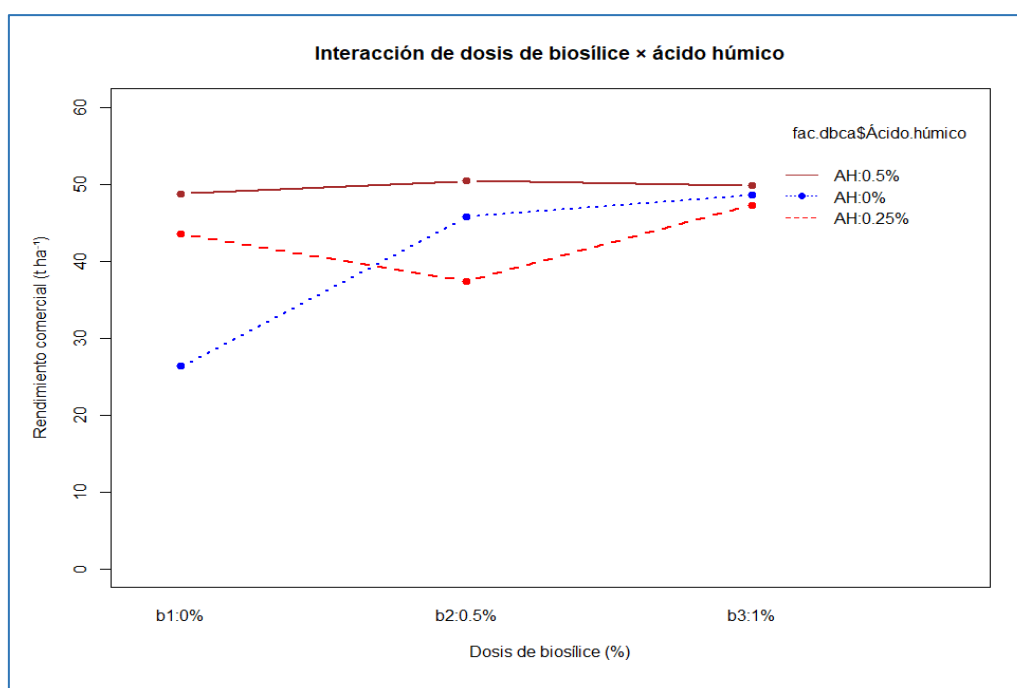
Boxplot del rendimiento comercial de repollo, bajo el efecto de biosilíce y ácido húmico.



En la figura 3.9 el tratamiento T6 (0.5% de biosilíce + 0.5% ácido húmico) muestra un rendimiento mayor a todos, y una de las características más relevantes es que presenta una desviación estándar (DE) muy moderado, es decir, la respuesta de col a este tratamiento es más estable en las condiciones del experimento. Bajo este contexto, el T6 es agronómicamente rentable por las características antes descritas. Por otra parte, los tratamientos con una variación en sus efectos fueron T7 y T5, lo que significa respuesta muy inestable por parte del cultivo.

Figura 3.10

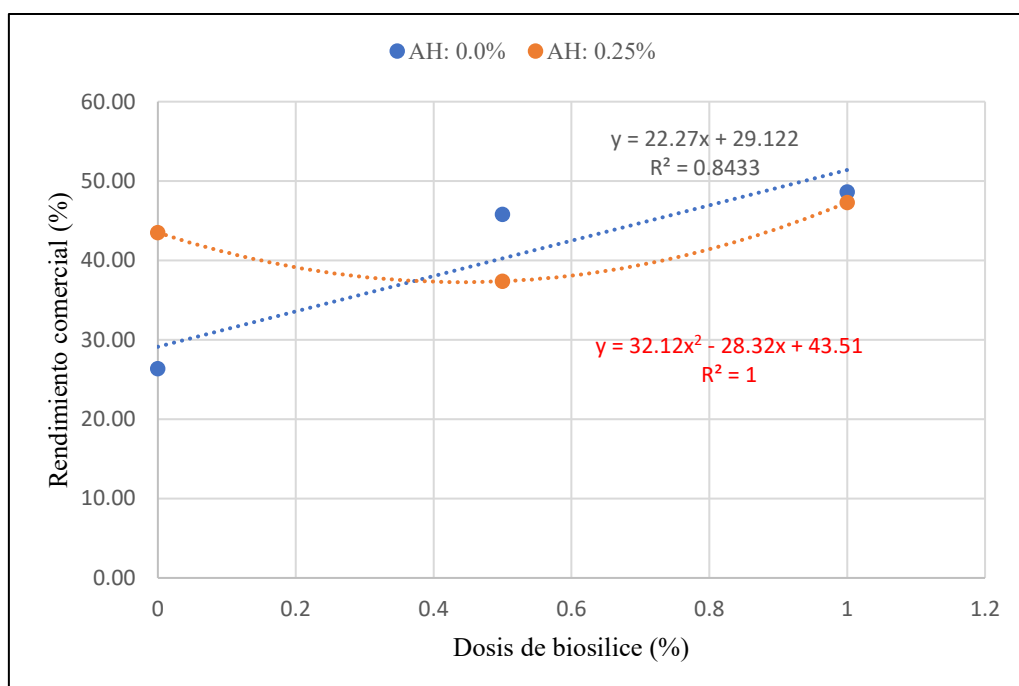
Interacción de dosis de biosilíce y ácido húmico en el rendimiento comercial de repollo.



En la figura 3.10 se evidencia claramente la existencia de interacción, principalmente entre las dosis de 0% y 0.25% de ácido húmico con 0.5% de biosilíce, lo que sugiere un quiebre positivo en el rendimiento de la col bajo estas combinaciones de los factores investigados. El resultado de ANVA del rendimiento comercial se refleja en esta figura.

Figura 3.11

Tendencia del rendimiento comercial de repollo, bajo el efecto de biosilice con 0% y 0.25% de ácido húmico.



En la figura 3.11 observamos tendencia lineal del rendimiento comercial ($y = 0.22x + 29.122$) en el efecto combinado de dosis de biosilice y 0% de AH, el cual sugiere un incremento de 0.22 toneladas de peso por cada unidad de incremento de las dosis de biosilice; además, el coeficiente de determinación indica que este modelo explica el 84.33% de variabilidad, lo cual es muy relevante.

Por otra parte, con 0.25% de AH se encontró tendencia cuadrática ($y = 32.12x^2 - 28.32x + 43.51$), lo cual sugiere un declive con una dosis intermedia (0.4 – 0.6% biosilice), luego a medida que se incrementa biosilice tiende a incrementar el rendimiento de repollo. Este expone el comportamiento un poco complejo en las condiciones del experimento.

3.6. Cobertura foliar de repollo

Tabla 3.8

Análisis de varianza de cobertura foliar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	164.100	82.050	1.870	0.1864 ns
Biosilice (B)	2	228.100	114.050	2.599	0.1054 ns
Ácidos húmicos (AH)	2	29.730	14.865	0.339	0.7177 ns
Interacción (B*AH)	4	315.630	78.908	1.798	0.1786 ns
Biosilice en 0 % de AH					
R. lineal	1	184.370	184.370	4.201	0.0572 ns
R. cuadrático	1	26.840	26.840	0.612	0.4456 ns
Biosilice en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	11.290	11.290	0.257	0.6190 ns
R. cuadrático	1	53.840	53.840	1.227	0.2844 ns
Biosilice en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	31.790	31.790	0.724	0.4073 ns
R. cuadrático	1	37.240	37.240	0.849	0.3707 ns
Error	16	702.210	43.888		
Total	26	1439.770			
C. V (%)	13.43				

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

En la tabla 3.8 se presenta el análisis de varianza de la cobertura foliar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilice (B) y ácidos húmicos (AH). Los resultados muestran que no se detectaron diferencias estadísticas para las fuentes de variación Bloques, biosilice, ácidos húmicos ni para la interacción (B x AH). Esto indica que, en las condiciones del experimento, la cobertura no fue afectado de manera significativa por las dosis evaluadas de biosilice, por los niveles de ácido húmico, ni por la combinación de ambos factores, evidenciando una respuesta similar del cultivo entre tratamientos.

El coeficiente de variación (CV = 13.43%) sugiere una variabilidad experimental moderada, aunque dentro de rangos aceptables para variables de crecimiento, respaldando la interpretación general del ensayo.

En el análisis de varianza de las regresiones, con 0% de ácido húmico, los componentes lineal y cuadrático no evidenciaron ajuste, indicando ausencia de tendencia de la cobertura foliar ante el incremento de biosilice. De manera similar, en 0.25% de ácido

húmico y en 0.50% de ácido húmico, los modelos lineal y cuadrático tampoco mostraron significancia, confirmando que la cobertura foliar no presentó una respuesta polinómica frente a las dosis de biosilíce en ninguno de los niveles de ácido húmico evaluados.

Tabla 3.9

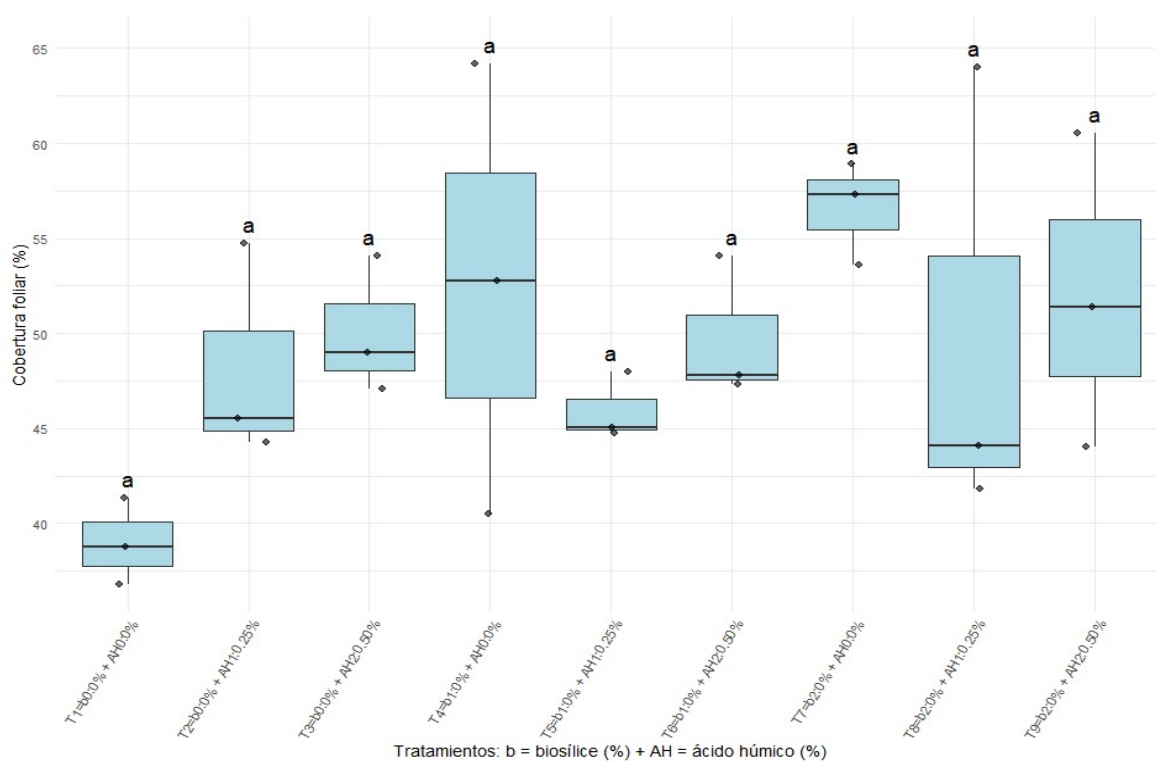
Análisis descriptivo de cobertura foliar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.

Trat.	Promedio $\pm$ DE (%)	Mín. (m)	Máx. (m)	Q25	Q50	Q75
T7	56.60 $\pm$ 2.72	53.60	58.91	55.45	57.29	58.10
T4	52.49 $\pm$ 11.84	40.53	64.20	46.64	52.74	58.47
T9	51.99 $\pm$ 8.27	44.03	60.54	47.73	51.42	55.98
T3	50.06 $\pm$ 3.61	47.10	54.08	48.06	49.01	51.55
T8	49.98 $\pm$ 12.20	41.84	64.01	42.97	44.10	54.06
T6	49.74 $\pm$ 3.77	47.33	54.09	47.58	47.82	50.96
T2	48.18 $\pm$ 5.72	44.25	54.75	44.90	45.55	50.15
T5	45.93 $\pm$ 1.77	44.75	47.97	44.91	45.07	46.52
T1	38.97 $\pm$ 2.29	36.78	41.36	37.79	38.79	40.08

Nota. DE: desviación estándar, Q25, Q50 y Q75 (cuartiles).

Figura 3.12

Boxplot de cobertura foliar de repollo, bajo los efectos principales de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.



En la tabla 3.9 y figura 3.12 se muestra el análisis descriptivo de cobertura foliar de repollo en función de los tratamientos aplicados. Los tratamientos T7 (1% biosilice + 0% AH), T4 (0.5% biosilice + 0% AH), T9 (1% biosilice + 0.5% AH) y T3 (0% de biosilice + 0.5% AH) influyeron con mayor cobertura de área de cobertura foliar de la col, con promedios $56.60 \pm 2.72\%$, $52.49 \pm 11.84 \%$, 51.99 ± 8.27 y $50.06 \pm 3.61 \%$, respectivamente. En contraste, de estos tratamientos mencionados, solo los T7, T9 y T3 son más estables, lo que sugiere que podrían ser las alternativas rescatables.

Por otra parte, el testigo absoluto, T1 (0% biosilice + 0% AH) tuvo la influencia más baja que el resto de los tratamientos (combinaciones de biosilice y ácido húmico), cuyo promedio resultante fue $38.97 \pm 2.29\%$, lo que sugiere que las dosis aplicadas de biosilice y ácido húmico sí influyó en incremento de cobertura foliar de la planta.

También se muestran los valores de los cuartiles en la tabla 3.9, lo que se refleja en la figura 3.10, los cuales simplemente indican los rangos de fluctuación del porcentaje de cobertura foliar, es decir, si $Q75 - Q25$ es cercano a cero, el tratamiento tiene mayor estabilidad, como es el caso de T7. Al contrario, si el $Q75 - Q25$ es más alejado de cero, sugiere mayor variabilidad como es el caso del T4 y T8, estos últimos, agrónomicamente no conviene por el mismo hecho de que es inestable.

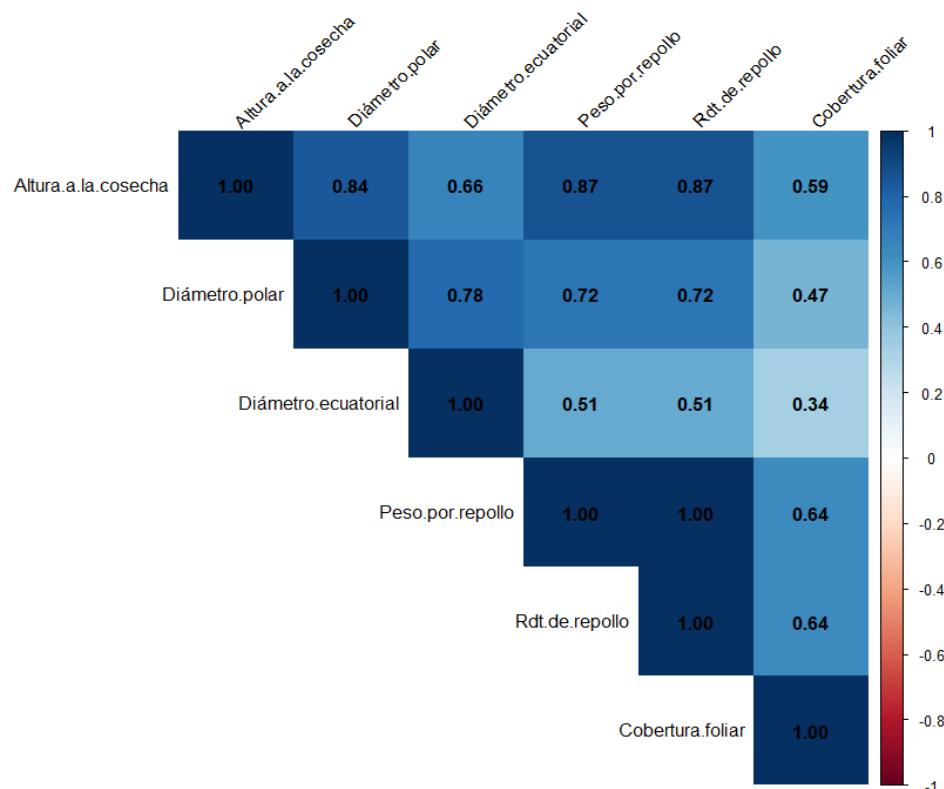
Las tenencias observadas en mayor cobertura foliar tras la aplicación de biosilice y ácidos húmicos es consistente con los principios del fenotipado de alto rendimiento, al respecto, Aguilar-Ariza et al. (2023) demostraron en un estudio en el cultivo de repollo chino (*Brassica rapa* subsp. *Pekinensis*), que es posible predecir el peso promedio de las plantas utilizando imágenes tomadas con equipos sofisticados como el dron. Por otra parte, destacaron que la cobertura foliar verde está estrechamente relacionada con el rendimiento del cultivo.

Por otra parte, Shen et al. (2024) realizando un fenotipado avanzado en colza (*Brassica napus*), donde estimaron la cobertura foliar con una eficiencia de 97.6% utilizando tecnologías modernas de fenotipado. Aunque en nuestro caso, las imágenes solo han sido tomadas con celulares comunes, aun así, según la correlación, la cobertura foliar estuvo relacionado con rendimiento en $r = 0.64$.

3.7. Correlación de las variables

Figura 3.13

Valores de los coeficientes de correlación Pearson de las variables.



En la figura 3.13 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables. En general, se observa que predominan correlaciones positivas entre las variables de crecimiento, tamaño y rendimiento. Se evidencian asociaciones altas entre la altura antes de cosecha y el diámetro polar ($r = 0.84$), así como con el peso de repollo ($r = 0.87$) y el rendimiento de repollo ($r = 0.87$), indicando que plantas con mayor desarrollo vegetativo tienden a presentar mejores características productivas. Asimismo, el diámetro polar mostró asociación positiva con el diámetro ecuatorial ($r = 0.78$), el peso de repollo ($r = 0.72$) y el rendimiento de repollo ($r = 0.72$), lo que sugiere una relación directa entre el tamaño del órgano comercial y el rendimiento obtenido.

La variable del incremento de cobertura foliar, es un método de fenotipado actual muy utilizado en agricultura de precisión, lo cual se asocia con el rendimiento de manera positiva ($r = 0.64$), lo que sugiere que este tipo de análisis es válido y rescata como se podría detectar asociatividad de cobertura foliar en el rendimiento.

3.8. Rentabilidad económica

Tabla 3.10

Rentabilidad económica financiera porcentaje de rentabilidad.

Trt	Descripción	Núm. repollos/ha	Precio Unitario (s/.)	Costo de prod. (S/.)	Valor bruto de prod. (S/xha)	Valor neto de prod. (S/ x ha)	Rentabilidad (%)
T6	0.5 % biosilice + 0.50 % ácido húmicos	31123	1.10	14733.6	34235.3	19501.7	132.4
T4	0.5 % biosilice + 0 % ácido húmicos	31156	1.00	14434.0	31156.0	16722.0	115.9
T7	1.0 % biosilice + 0 % ácido húmicos	31167	1.00	14583.8	31167.0	16583.2	113.7
T8	1.0 % biosilice + 0.25 % ácido húmicos	31125	1.00	14626.6	31125.0	16498.4	112.8
T9	1.0 % biosilice + 0.50 % ácido húmicos	31156	1.00	14669.4	31156.0	16486.6	112.4
T5	0.5 % biosilice + 0.25 % ácido húmicos	31150	0.90	14155.8	28035.0	13879.2	98.0
T2	0% biosilice + 0.25 % ácido húmicos	31079	0.90	14327.0	27971.1	13644.1	95.2
T3	0% biosilice + 0.50 % ácido húmicos	31083	0.90	14583.8	27974.7	13390.9	91.8
T1	0% biosilice + 0 % ácido húmicos	31000	0.80	13856.2	24800.0	10943.8	79.0

En la tabla 3.10 se presentan los indicadores de rentabilidad económica-financiera de los tratamientos evaluados con diferentes niveles de biosilice y ácido húmico, para lo cual se fijó diferentes precios unitarios: Al testigo se le consideró S/ 0.80 soles porque resultaron de calidad inferior a simple observación en campo, S/ 0.90 para sin aplicación de biosilice (T2 y T3), S/ 1.0 para repollos con peso homogéneo y S/ 1.10 para repollos con peso superior (T6) porque tiene mayor acumulación de biomasa. La variación en la rentabilidad responde principalmente a los cambios en el rendimiento (unidades ha⁻¹) y, en menor medida, a las diferencias en el costo de producción (Soles ha⁻¹), lo que se refleja directamente en el valor neto (Soles ha⁻¹) obtenido por tratamiento.

Según el porcentaje de rentabilidad, el tratamiento T6 (0.5% biosilice + 0.5% ácido húmico) alcanzó el mejor desempeño económico con 132.4%, asociado a un rendimiento de 31123 Und. ha⁻¹, un costo de producción de S/ 14,733.6 y un valor neto de S/ 19,501.7. Esto significa que, en T6, por cada S/ 1 invertido se obtuvo una ganancia neta aproximada de S/ 1.32 (132.4% del costo), posicionándolo como el tratamiento más rentable. En cambio, el que tuvo rentabilidad más baja fue el testigo T1, con 79.0%, con lo que se obtiene una ganancia de 0.79 soles por cada sol invertido.

En repollo, Telles et al. (2019) demostraron que el silicio foliar, especialmente al combinarse con *Bacillus thuringiensis*, puede elevar el peso de cabeza a 1041.6 g frente al control (602.0 g) y mejorar el aspecto comercial, lo cual tiene implicancia directa en la rentabilidad por incremento de producción vendible y potencial reducción de pérdidas por plagas. En repollo morado, Sarkar et al., (2021) encontraron que una estrategia integrada

(microorganismos + 75% de fertilización recomendada) produjo los mayores indicadores económicos, con rendimiento neto = US\$ 13877 ha⁻¹ y B:C = 6.45, superando esquemas más “altos” en fertilización. Para complementar Fan et al., (2022), en un sistema de col china, reportaron que ciertos manejos de N aumentaron el beneficio neto respecto al convencional, llegando a incrementos de US\$ 1004 ha⁻¹ frente al control económico comparado.

CONCLUSIONES

1. Las dosis aplicadas de biosilice influyen significativamente en el rendimiento comercial y peso de repollo por planta de col, evidenciando incrementos sustanciales en comparación con el testigo. Con 1% de biosilice en ausencia de ácido húmicos se logró incremento de 45.51% en peso de repollo respecto al testigo. Asimismo, con 0.5% de biosilice combinado con 0.5% de ácido húmico se logró encontrar el mayor rendimiento de 50.42 t ha⁻¹.
2. Los ácidos húmicos mostraron efecto significativo principalmente en el peso por planta y rendimiento comercial, destacando una dosis de 0.5%, lo cual permitió alcanzar 48.8 t ha⁻¹ de rendimiento en ausencia de biosilice. Además, en altura de la planta, se registraron incrementos notables con 0.25% de ácido húmico sin biosilice, equivalente a incremento de 26.16% respecto al testigo.
3. En la rentabilidad económica, con el tratamiento T6 (0.5% biosilice + 0.5% ácido húmico) alcanzó la mayor rentabilidad comercial de 132.4%, con un valor neto de S/ 19,501.7 y un costo de producción de S/ 14,733.6.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar la aplicación foliar de 0.5% de biosilice combinado con 0.5% de ácido húmico en el cultivo de col, debido a que permitió obtener mejores resultados agronómicos en rendimiento comercial y rentabilidad económica, constituyéndose el más eficiente bajo condiciones de Canaán, Ayacucho.
- Realizar la réplica de estos estudios mostrados en otras condiciones de suelo y ambiente, así como evaluar más ciclos o campañas agrícolas para validar la estabilidad productiva y optimizar las dosis económicamente más rentables.
- Se recomienda continuar investigaciones relacionadas con la cobertura foliar en el cultivo de col, debido a que esta variable permite evaluar el desarrollo vegetativo y la respuesta de la planta frente a la aplicación de biosilice y ácido húmico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agramonte, J. (1983). Las diatomitas de Ayacucho y su paralelo con las de Tarucani y Bayovar. *Bol Soc Geol Perú*, 259-269. <https://goo.su/wvlj>
- Aguilar-Ariza, A., Ishii, M., Miyazaki, T., Saito, A., Khaing, H. P., Phoo, H. W., Kondo, T., Fujiwara, T., Guo, W., & Kamiya, T. (2023). Predicción del peso individual de la col china mediante drones utilizando datos multitemporales. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47431-y>
- Al-Zahrani, M. Z., Al-Moshileh, A. M., & Al-Solaimani, S. G. (2021). Production of Cabbage (*Brassica Oleracea* L.) Efectos del ácido húmico y del fertilizante NPK complejo. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 10(4). <https://doi.org/10.17577/IJERTV10IS040280>
- Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Comprender el papel de los ácidos húmicos en el rendimiento de los cultivos y la salud del suelo. *Frontiers in Agronomy*, 4. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Agrosembal (2026). Repollo Corazón de Buey. https://agrosemval.com/producto/repollo-corazon-buey/?utm_source
- Arkadiusz-Artyszak, Dariusz, Jonczak, J., Krzysztof, P., Rafał Popielec, & Ahmad, Z. (2025). Rendimiento y calidad del grano de maíz en respuesta a la fertilización del suelo con silicio, calcio, magnesio y manganeso, y a la aplicación foliar de silicio y calcio. Preliminary Results. *Agronomy*, 15(4), 837–837. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040837>
- Añibarro-Ortega, M., Pereira, A., Pinela, J., Liava, V., Chaski, C., Alexopoulos, A. A., Barros, L., & Petropoulos, S. A. (2025). Mejora del crecimiento y la calidad del tomate bajo riego deficitario mediante la aplicación de silicio. *Agronomy*, 15(3), 682. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030682>
- Batistič, L., Bohinc, T., Novljan, M., Indihar, E., Košir, I. J., Šilc, U., Horvat, A., & Trdan, S. (2025). Control de plagas de repollo con polvos inertes locales: ¿La tierra de diatomeas y la ceniza de madera tienen el mayor potencial. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science*, 75(1). <https://doi.org/10.1080/09064710.2025.2466448>
- Baca-Lujan, E. E. (2017). Influencia de los ácidos húmicos y fúlvicos en el crecimiento y desarrollo en betarraga (*Beta vulgaris* L.) en condiciones de invernadero.

<https://repositorio.upao.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/7b1b96c6-200e-f7ab-e050-010a1c030756/content>

- Bustamante, J. (1998). *Geología, evaluación comparativa y cuantificación de reservas de los depósitos de diatomitas en la región de Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín. Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Arequipa, 100 p.
- Canales-Almendares, J. E., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Juárez-Maldonado, A., Francisco-Francisco, N., Canales-Almendares, J. E., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Juárez-Maldonado, A., & Francisco-Francisco, N. (2024). Impacto de los ácidos húmicos y el quitosano en la composición iónica de la solución del suelo y el contenido nutricional de la col (*Brassica oleracea* L.) Under Greenhouse. *Terra Latinoamericana*, 42. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1785>
- Cartagena-Gamboa, Y. (2025). *Biosilice foliar y levadura de panificación al suelo en el rendimiento de cebolla (Allium cepa L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/97d43ee5-7080-42a9-934e-ce0b08dc024e>
- Constantinescu-Aruxandei, D., Lupu, C., & Oancea, F. (2020). Nanomateriales naturales silíceos como biorracionales: protectores vegetales y potenciadores de la salud de las plantas. *Agronomy*, 10(11), 1791. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111791>
- Díaz-Juárez, C. A. (2021). Evaluación del crecimiento de hortalizas de lechuga (*lactuca sativa* l.) y pepino (*cucumis sativus* l.) utilizando ácido húmico y humus orgánico proveniente de la pila de composta. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4135>
- El-Tahan, A. M., Emran, M., Safhi, F. A., Wali, A. M., Sobhy, S. E., & Ibrahim, O. M. (2024). Modelización de los efectos del riego y su interacción con el silicio en el rendimiento de las semillas de quinua y la eficiencia del uso del agua en regiones áridas. *Agronomy*, 14(9), 2088–2088. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092088>
- Fan, D., Wang, X., Song, D., Shi, Y., Chen, Y., Wang, J., Cao, B., Zou, G., & He, W. (2022). Optimización del manejo del nitrógeno para mitigar las pérdidas gaseosas y mejorar los beneficios netos de un sistema de cultivo de col china a cielo abierto. *Journal of Environmental Management*, 318, 115583. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115583>
- Fronda (enero, 2026) Col corazón de buey - Planta de huerto. Fronda.com. https://www.fronda.com/productos/col-corazon-de-buey-ecologico?utm_source

- Greer, S. F., Surendran, A., Grant, M., & Lillywhite, R. (2023). Situación actual, retos y perspectivas de futuro para el manejo de las enfermedades de las brasicáceas. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1209258. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1209258>
- Guido, P. L., Luca Marchiol, & Enrico Braidot. (2021). Herramientas para la agricultura basada en nanotecnología: fertilizantes a base de nanoestructuras de fosfato de calcio, silicio y quitosano. *Agronomy*, *11*(6), 1239–1239. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061239>
- Hafez, E. M., Osman, H. S., Gawayed, S. M., Okasha, S. A., Omara, A. E.-D., Sami, R., Abd, A. M., & Usama A. Abd El-Razek. (2021). Minimizar los efectos adversos del déficit hídrico y la salinidad del suelo sobre el crecimiento y la productividad del maíz mediante la aplicación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y nanopartículas de sílice. *Agronomy*, *11*(4), 676–676. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040676>
- Hassan, I. F., & Obaid, A. K. (2020). Efecto de la pulverización con silicio y extracto de hoja de moringa sobre algunos indicadores de crecimiento y rendimiento de la planta de repollo. (*Brassica oleracea* var. capitata). *Euphrates Journal of Agriculture Science*, *12*(2), 356–364.
- Hierbajos. (enero, 2026). Col repollo Corazón de Buey Grande – 1000 semillas. Hierbajos.com. https://hierbajos.com/producto/col-repollo-corazon-de-buey-grande-1000-semillas/?utm_source
- Ibrahim, E. A., Ebrahim, N. E. S., & Mohamed, G. Z. (2024). Mitigación del estrés hídrico en el brócoli mediante la aplicación de ácido húmico al suelo. *Scientific Reports*, *14*(1), 2765. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53012-4>
- Juškevičienė, D., Radzevičius, A., Karklelienė, R., Juškevičienė, D., Radzevičius, A., & Karklelienė, R. (2025). Efecto de los bioestimulantes sobre la productividad y el valor nutricional de la col blanca (*Brassica oleracea* L. var. Capitata). *Horticulturae*, *11*(9). <https://doi.org/10.3390/horticulturae11091020>
- Kılıç, N. (2022). Eficacia de la formulación en polvo y en polvo humectable de tierra de diatomeas (Detech®) en el control de *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acari: Acaridae). *Insects*, *13*(10), 857. <https://doi.org/10.3390/insects13100857>
- Kunicki, E., Capecka, E., Wojciechowicz-Żytka, E., Kunicki, E., Capecka, E., & Wojciechowicz-Żytka, E. (2024). Efecto de determinados bioestimulantes en el

- rendimiento de la col blanca. *Agriculture*, 14(10).
<https://doi.org/10.3390/agriculture14101700>
- Lekamoi, U., Philipo, M., Laizer, H., Mpumi, N., & Mbega, E. (2025). Manejo sostenible de plagas de insectos en la producción de repollo en el África subsahariana: desafíos, alternativas orgánicas e impactos del cambio climático. *South African Journal of Botany*, 185, 80-97. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.07.025>
- Mabry, M. E., Turner-Hissong, S. D., Gallagher, E. Y., McAlvay, A. C., An, H., Edger, P. P., Moore, J. D., Pink, D. A. C., Teakle, G. R., Stevens, C. J., Barker, G., Labate, J., Fuller, D. Q., Allaby, R. G., Beissinger, T., Decker, J. E., Gore, M. A., & Pires, J. C. (2021). La historia evolutiva de los animales salvajes, domesticados y asilvestrados *Brassica oleracea* (Brassicaceae). *Molecular Biology and Evolution*, 38(10), 4419-4434. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab183>
- Mahmood, M., & Al-Ubaidy, R. (2019a). Influencia de los fertilizantes químicos y la pulverización foliar con ácido húmico en el crecimiento y el rendimiento de la col lombarda. *Biochemical and Cellular Archives*, 19.
- Mahmood, M., & Al-Ubaidy, R. (2019b). Influencia de los fertilizantes químicos y la pulverización foliar con ácido húmico en el crecimiento y el rendimiento de la col lombarda. *Biochemical and Cellular Archives*, 19.
- Mariana de Carvalho, Ganga, A., Cattanio, I. S., Martins, A. R., Alves, R. S., Frediani, G., Pereira, H. S., Galindo, F. S., Carvalho, M., Cassio Hamilton Abreu-Junior, Capra, G. F., Jani, A. D., & Assis, T. (2024). Efecto residual de la aplicación de agrominerales de silicato sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de minerales y la anatomía de la soja.. *Agronomy*, 15(1), 5–5.
<https://doi.org/10.3390/agronomy15010005>
- Ma, Y., Cheng, X., & Zhang, Y. (2024). El impacto de los fertilizantes de ácido húmico en el rendimiento de los cultivos y la eficiencia en el uso del nitrógeno: un metaanálisis. *Agronomy*, 14(12), 2763–2763. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122763>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDRAGRI], (2022). Datos agrícolas 2021. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-diarios?download=1639:agricola-2021>
- Nawaz, M. A., Zakharenko, A. M., Zemchenko, I. V., Haider, M. S., Ali, M. A., Imtiaz, M., Chung, G., Tsatsakis, A., Sun, S., & Golokhvast, K. S. (2019). Formación de fitolitos en las plantas: del suelo a la célula. *Plants*, 8(8), 249.
<https://doi.org/10.3390/plants8080249>

- Patrignani, A., & Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: Una nueva y potente herramienta para medir la cobertura vegetal fraccionada. *Agronomy Journal*, 107(6), 2312–2320. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0150>
- Pillaca-Quispe, L. (2024). *Tres dosis de humato y biosilice foliar en el contenido de clorofila y rendimiento de aguaymanto (Physalis peruviana L.), Ayacucho-2019*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/a77eb602-0e89-4ad7-9511-c98419440655>
- Ramirez, J. (2013). *Caracterización de las diatomitas de Tambillo, La Quinua, y La Moya (cuenca Ayacucho)*. 107. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 107, 185–188. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/INGEMMET_c95e622f95c2726e340a77c26f2a6057/Details?utm
- Ramos-Llanos, V. (2019). Efecto del abonamiento de guano de islas y humus de lombriz en el rendimiento del repollo morado (*Brassica oleracea* L.var. Capitata-Rubra) en el C.I.P. Camacani-Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11464>
- Raoudha Baioui, Rabaa Hidri, Slim Zouari, Mounir Hajji, Falouti, M., Bounaouara, F., Moufida Borni, Hamzaoui, A. H., Chedly Abdelly, Walid Zorrig, & Slama, I. (2025). Aplicación foliar de silicio: una estrategia innovadora y eficaz para mejorar el rendimiento del tomate en sistemas hidropónicos. *Agronomy*, 15(7), 1553–1553. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071553>
- Roca-Molina, G. A. (2024). *Niveles de biosilice, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad de tomate cherry (Lycopersicum esculentum) var. cerasiforme. Ayacucho-2022*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/cb67c2f8-5ea9-497d-bd3e-1a60ec4e9bdb>
- Sarkar, D., Sankar, A., Devika, O. S., Singh, S., Shikha, Parihar, M., Rakshit, A., Sayyed, R. Z., Gafur, A., Ansari, M. J., Danish, S., Fahad, S., & Datta, R. (2021). Optimización de la eficiencia en el uso de nutrientes, la productividad, la energética y la economía de la col lombarda tras la fertilización mineral y el biocebado con microorganismos rizosféricos compatibles. *Scientific Reports*, 11(1), 15680. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95092-6>
- Snogerup, S., Gustafsson, M., & Bothmer, R. V. (1990). Brassica sect. Brassica (Brassicaceae) I. Taxonomy and Variation. *Willdenowia*, 19(2), 271-365.

- Statilko, O., Tsiaka, T., Sinanoglou, V. J., & Strati, I. F. (2024). Descripción general de la composición fitoquímica de los cultivares de *Brassica oleracea* var. Capitata. *Foods*, 13(21), 3395. <https://doi.org/10.3390/foods13213395>
- Simundic, A.-M. (2012). Recomendaciones prácticas para el análisis estadístico y la presentación de datos en la revista Biochemia Medica. *Biochemia Medica*, 15–23. <https://doi.org/10.11613/bm.2012.003>
- Sun, X., Zhang, M., Liu, J., Hui, G., Chen, X., & Feng, C. (2024). El arte de explorar biomateriales de biosilice de diatomeas: desde la perspectiva de la biofabricación. *Advanced Science (Weinheim, Baden-Wurttemberg, Germany)*, 11(6), e2304695. <https://doi.org/10.1002/advs.202304695>
- Shen, Y., Zhou, H., Yang, X., Lu, X., Guo, Z., Jiang, L., He, Y., & Cen, H. (2024). Fenotipado de biomasa de colza mediante imágenes oblicuas multivista con UAV utilizando 3DGS y el modelo SAM. ArXiv.org. <https://arxiv.org/abs/2411.08453?utm>
- Telles, C. C., Freitas, L. M. de, Junqueira, A. M. R., & Mendonça, R. S. de. (2019). Aplicación de silicio como método auxiliar para controlar la polilla del repollo en plantas de repollo. *Horticultura Brasileira*, 37, 390-394. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190405>
- Torres, J. C. R., de Oliveira, J. F., & Vásquez, Y. H. (s. f.). *Caracterización de diatomitas en depósito marino en el norte del Perú*. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CNM9-005.pdf?utm>
- Vásquez, E. J. Z., Melgar, J. R. T., & Platero, A. A. A. (2020). Zonificación agroclimática de los cultivos de fresa (*Fragaria chiloensis* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y repollo (*Brassica oleracea* var. Capitata L.) en el departamento de Chalatenango, El Salvador. *Revista Agrociencia*, 3(15), 87-98.
- Wang, C., Lu, Y., Song, L., Wang, J., Zhu, Y., Ma, J., & Zheng, J. (2025). Efectos combinados del calentamiento del riego, la aireación y el ácido húmico sobre el rendimiento, la calidad y las emisiones de gases de efecto invernadero en el procesamiento de tomates en Xinjiang. *Agronomy*, 15(6), 1353. <https://doi.org/10.3390/agronomy15061353>
- Xu, T., Ke, J., Wang, Y., Zhang, Y., Xi, J., Wei, X., Ma, Y., & Lin, Y. (2024). La fertilización con silicio mejora la estructura de la comunidad microbiana de la rizosfera del girasol y reduce el parasitismo causado por *Orobanche cumana* Wallr. *Agronomy*, 14(6), 1312. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061312>

Zavarzina, A., Davydova, I., Kulikova, N., Anastasiya Nikolaeva, & Philippova, O. (2025).

La extracción alcalina en presencia de aire mejora las actividades antioxidantes y biológicas de los ácidos húmicos. *Agronomy*, 15(3), 689–689.
<https://doi.org/10.3390/agronomy15030689>

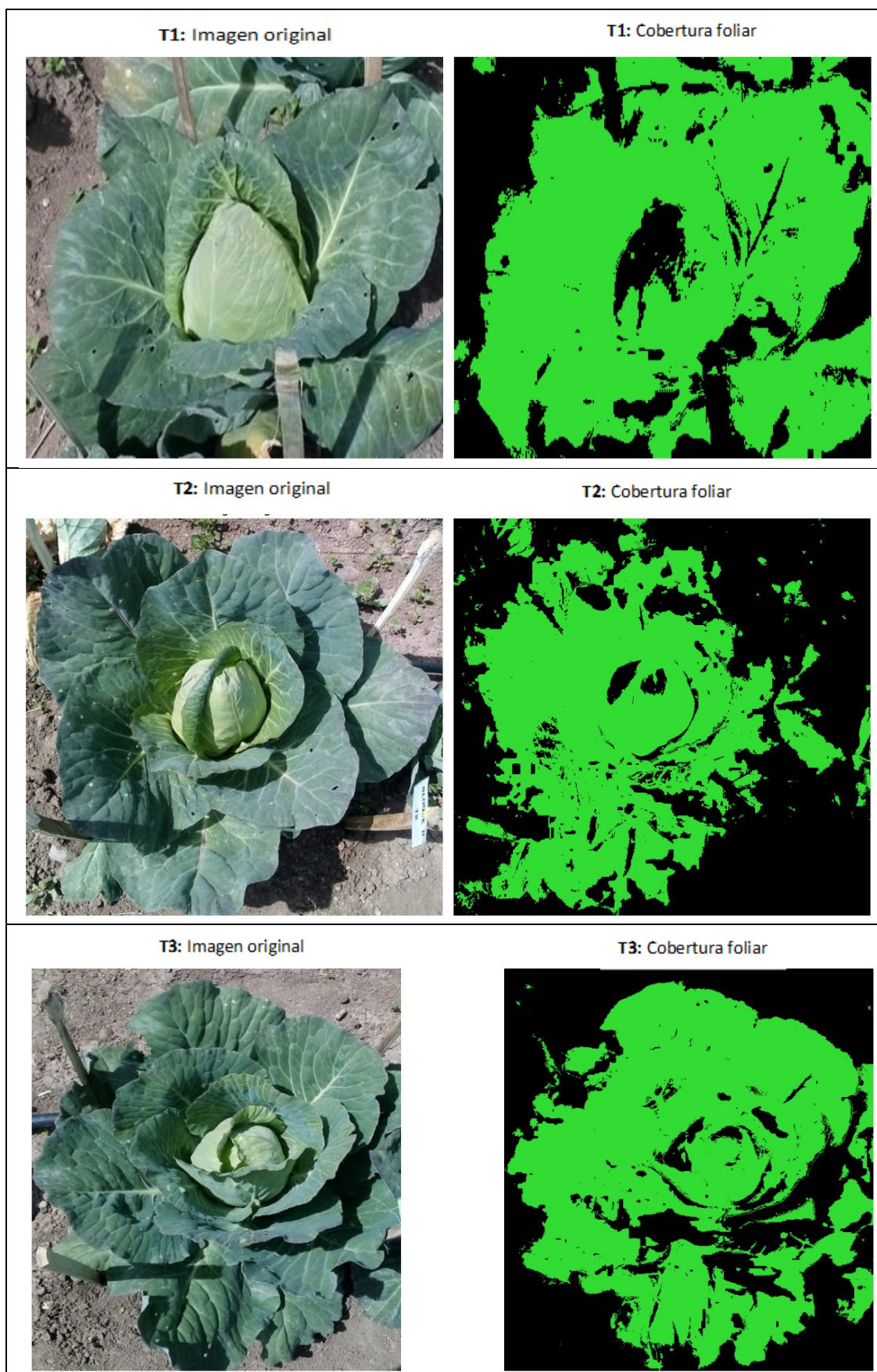
Zhang, Z., Ma, Y., Tian, Y., Liu, P., Zhang, M., Liu, Z., Zhu, X., Wang, C., Zhuang, Y., Zhang, W., Feng, Z., Wang, J., & Chen, Q. (2024). Aplicación conjunta de fertilizante fosfatado recubierto y ácido húmico para la producción de trigo y el transporte de nutrientes al suelo. *Agronomy*, 14(8), 1621.
<https://doi.org/10.3390/agronomy14081621>

ANEXOS

Anexo 1. Datos evaluados en campo.

Bloque	Biosilice	Ácido hum.	Altura a la cosecha	Diámetro polar	D. ecuatorial	Peso repollo	Rdt de repollo	Cobertura foliar
I	b0:0%	AH0:0%	25.10	19.95	12.78	0.70	21.73	38.79
I	b0:0%	AH1:0.25%	32.40	22.80	16.40	1.40	43.51	54.75
I	b0:0%	AH2:0.5%	30.30	21.20	16.10	1.45	44.98	47.1
I	b1:0.5%	AH0:0%	28.90	21.60	16.40	1.30	40.34	40.53
I	b1:0.5%	AH1:0.25%	33.60	23.00	19.10	1.59	49.43	47.97
I	b1:0.5%	AH2:0.5%	33.10	22.00	17.40	1.64	51.11	47.82
I	b2:1%	AH0:0%	30.90	21.10	16.30	1.28	39.84	53.6
I	b2:1%	AH1:0.25%	30.50	20.50	15.60	1.38	43.01	44.1
I	b2:1%	AH2:0.5%	30.90	21.00	14.20	1.54	47.93	51.42
II	b0:0%	AH0:0%	25.50	18.80	19.40	0.92	28.54	36.78
II	b0:0%	AH1:0.25%	35.90	24.70	21.90	1.46	45.35	44.25
II	b0:0%	AH2:0.5%	37.50	26.50	23.10	1.86	57.99	49.01
II	b1:0.5%	AH0:0%	33.10	24.40	22.30	1.65	51.42	64.2
II	b1:0.5%	AH1:0.25%	26.70	17.35	12.70	0.86	26.71	45.07
II	b1:0.5%	AH2:0.5%	34.30	22.00	21.10	1.76	54.78	54.09
II	b2:1%	AH0:0%	34.10	24.70	22.00	1.94	60.35	57.29
II	b2:1%	AH1:0.25%	36.60	23.90	23.40	1.61	49.99	64.01
II	b2:1%	AH2:0.5%	34.50	23.20	19.10	1.84	57.36	60.54
III	b0:0%	AH0:0%	25.10	19.60	19.90	0.93	28.79	41.36
III	b0:0%	AH1:0.25%	34.20	23.30	22.30	1.34	41.68	45.55
III	b0:0%	AH2:0.5%	32.80	23.60	22.60	1.40	43.42	54.08
III	b1:0.5%	AH0:0%	32.90	23.00	21.50	1.47	45.63	52.74
III	b1:0.5%	AH1:0.25%	28.30	23.00	19.10	1.16	36.01	44.75
III	b1:0.5%	AH2:0.5%	33.10	22.20	20.80	1.46	45.38	47.33
III	b2:1%	AH0:0%	34.10	25.20	22.60	1.47	45.66	58.91
III	b2:1%	AH1:0.25%	33.90	24.40	21.70	1.57	48.93	41.84
III	b2:1%	AH2:0.5%	33.60	25.00	24.50	1.42	44.26	44.03

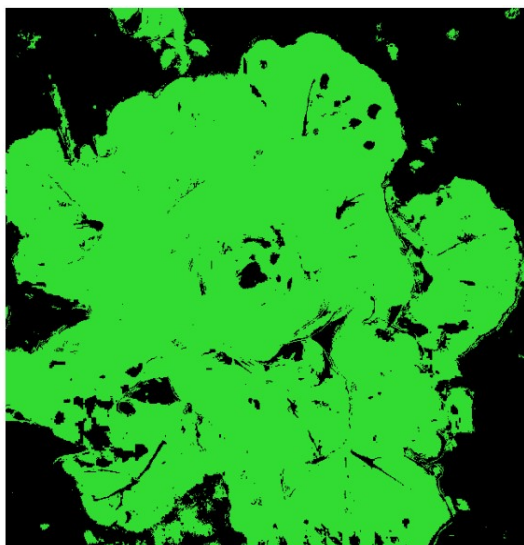
Anexo 2. Evaluación del porcentaje de cobertura foliar de repollo.



T4: Imagen original



T4: Cobertura foliar



T5: Imagen original



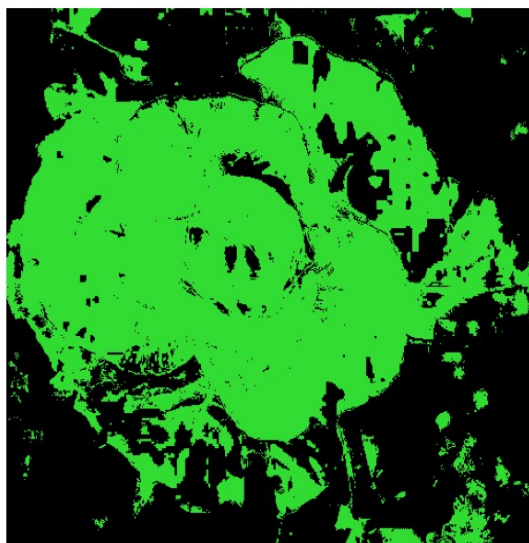
T5: Cobertura foliar



T6: Imagen original



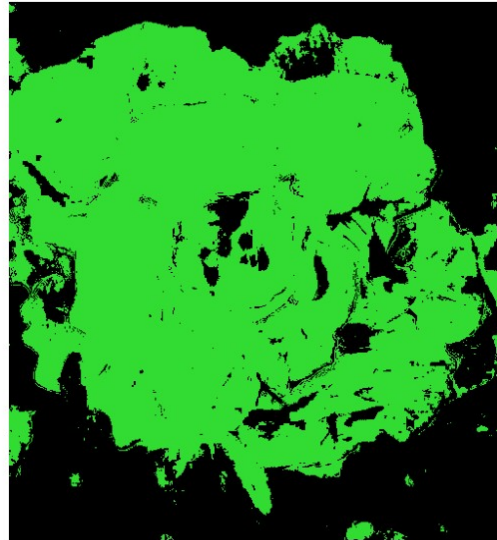
T6: Cobertura foliar



T7: Imagen original



T7: Cobertura foliar



T8: Imagen original



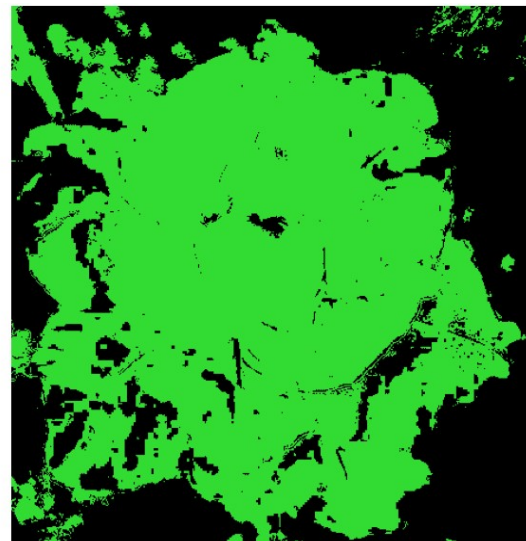
T8: Cobertura foliar



T9: Imagen original



T9: Cobertura foliar



Anexo 3. Reporte de análisis del suelo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR
Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996
Ayacucho – Perú

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

Región : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Andrés A. Cáceres Dorregaray
Localidad : C. E. Canaán Bajo
Proyecto : “TESIS”
Solicitante : Sr. Jaime Pariona Toledo

HR: 00601

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H ₂ O) 1:2.5	C. E. (dS/m.) 1:1	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiabiles (Cmol(+)/Kg)						C. I. C. (Cmol(+)/Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺	
01	43.2	26.7	30.1	Fr-Ar	7.69	1.63	0.0	1.86	0.09	5.2	202.4	10.1	4.16	1.04	0.68	0.0	0.0	21.3

Ayacucho, 01 de Diciembre del 2024.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELO
PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
RESPONSABLE

Juan B. Girón Molina
C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenoso; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso; FrAr: Franco arcillosos; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

Anexo 4. Reporte de prueba de supuestos de normalidad Shapiro test y Levene test para homogeneidad de varianzas.

Hipótesis de normalidad:

- ✓ H0: Los datos de la variable evaluada siguen una distribución normal ($p > 0.05$).
- ✓ H1: Los datos de la variable evaluada no siguen una distribución normal ($p < 0.05$).

Hipótesis de homogeneidad:

- ✓ H0: Las varianzas entre tratamientos son iguales (homogéneas: $p > 0.05$)
- ✓ H1: Al menos una varianza es diferente (heterogénea: $p < 0.05$).

Altura a la cosecha

```
1. > shapiro.test(residuals(m_factorial))
2.
3.      Shapiro-Wilk normality test
4.
5. data:  residuals(m_factorial)
6. W = 0.92658, p-value = 0.05699
7.
8. > leveneTest(altura_1 ~ interaction(biosilice, acido.hum))
9. Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
10.      Df F value Pr(>F)
11. group  8  0.6001 0.7658
12.      18
```

Diámetro polar

```
13. > shapiro.test(residuals(m_factorial))
14.
15.      Shapiro-Wilk normality test
16.
17. data:  residuals(m_factorial)
18. W = 0.95346, p-value = 0.2598
19.
20. > leveneTest(diam_p ~ interaction(biosilice, acido.hum))
21. Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
22.      Df F value Pr(>F)
23. group  8  0.4483 0.876
24.      18
```

Diámetro ecuatorial

```
25. > shapiro.test(residuals(m_factorial))
26.
27.      Shapiro-Wilk normality test
28.
29. data:  residuals(m_factorial)
30. W = 0.89316, p-value = 0.09363
31.
32. > leveneTest(diam_ec ~ interaction(biosilice, acido.hum))
```

```

33. Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
34.      Df F value Pr(>F)
35. group  8  0.1047 0.9985
36.      18

```

Peso de repollo por planta

```

37. > shapiro.test(residuals(m_factorial))
38.
39.      shapiro-wilk normality test
40.
41. data:  residuals(m_factorial)
42. w = 0.93505, p-value = 0.092
43.
44. > leveneTest(peso_repo ~ interaction(biosilice, acido.hum))
45. Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
46.      Df F value Pr(>F)
47. group  8  0.5525 0.8021
48.      18

```

Rendimiento total

```

49. > shapiro.test(residuals(m_factorial))
50.
51.      shapiro-wilk normality test
52.
53. data:  residuals(m_factorial)
54. w = 0.93625, p-value = 0.09845
55.
56. > leveneTest(rdt ~ interaction(biosilice, acido.hum))
57. Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
58.      Df F value Pr(>F)
59. group  8  0.5488 0.8049
60.      18

```

Cobertura foliar

```

61. > shapiro.test(residuals(m_factorial))
62.
63.      shapiro-wilk normality test
64.
65. data:  residuals(m_factorial)
66. w = 0.98446, p-value = 0.9463
67.
68. > leveneTest(cobertura~ interaction(biosilice, acido.hum))
69. Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
70.      Df F value Pr(>F)
71. group  8  0.7551 0.6448
72.      18

```

Anexo 5. Estimación de costos de producción por cada tratamiento.

Tratamiento 01: 0% biosilíce + 0 % ácido húmicos

ACTIVIDADES: T1	Unidad de medida	Veces	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS					11,463.75
LABORES CULTURALES					4,900.00
PREPARACIÓN DEL TERENO					850.00
Limpieza del terreno	Jornal		1	50.00	50.00
Aradura mecanizada	HM		4	80.00	320.00
Rastra o mullido	HM		2	70.00	140.00
Surcado	HM		2	70.00	140.00
Nivelado	Jornal		4	50.00	200.00
ALMACIGADO Y SIEMBRA					250.00
Almacigado de col	Jornal	1	1	50	50.00
Manejo de almácigo (global)	Jornal		4	50	200.00
ABONAMIENTO					400.00
Aplicación de biosilíce y ácido húmico (global)	Jornal	4	2	50.00	400.00
RIEGO Y TRASPLANTE					900.00
Riegos periódicos por goteo (global)	Jornal		10	50.00	500.00
Trasplante	Jornal	1	6	50.00	300.00
Replante	Jornal	1	2	50.00	100.00
CONTROL DE ARVENSES Y TUTORADO					800.00
Deshierbos	Jornal	4	4	50.00	800.00
APORQUES					500.00
Primer aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
Segundo aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
CONTROL FITOSANITARIO Y COSECHA					1,200.00
Aplicación de remedios	Jornal	2	2	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	2	10.00	50.00	1,000.00
INSUMOS					1,366.25
INSUMOS					1,366.25
Fertilizantes, semillas y bioestimulantes:					
Biosilíce	kg		0	20.00	-
Ácido húmico	L		0	40.00	-
Abono orgánico supersuelo	kg		2000	0.40	800.00
Plantines de col	und		3125	0.09	281.25
Control fitosanitario					-
Golgotrin	L		3	25.00	75.00
Lancor	L		3	25.00	75.00
Oncol	L		3	45.00	135.00
MATERIALES Y EQUIPOS					5,197.50
Cordel de nylon	und		12	15.00	180.00
Mantas	und		5	2.50	12.50
Costales			20	2.50	50.00
Yeso para señalizaciones	kg		20	0.50	10.00
Timbo para remdios	und		1	80.00	80.00
Mochila fumigadora	und		1	350.00	350.00
Implementos de riego por goteo	global		1	4,000.00	4,000.00
Balde de 10 L	global		2	10.00	20.00
Picos	und		5	45.00	225.00
Rastrillos	und		2	35.00	70.00
Azadones	unid		5	40.00	200.00
COSTOS INDIRECTOS					2,392.46
Análisis del suelo			1	90.00	90.00
Alquilar de terreno	has		1	1500.00	1,500.00
Gastos administrativos 5% CD				5%	573.19
Imprevistos 2% CD				2%	229.28
COSTOS TOTALES					13,856.21

Tratamiento 02: 0% biosilice + 0.25 % ácido húmicos

ACTIVIDADES: T2	Unidad de medida	Veces	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS					11,903.75
LABORES CULTURALES					5,300.00
PREPARACIÓN DEL TERENO					850.00
Limpieza del terreno	Jornal		1	50.00	50.00
Aradura mecanizada	HM		4	80.00	320.00
Rastra o mullido	HM		2	70.00	140.00
Surcado	HM		2	70.00	140.00
Nivelado	Jornal		4	50.00	200.00
ALMACIGADO Y SIEMBRA					250.00
Almacigado de col	Jornal	1	1	50	50.00
Manejo de almácigo (global)	Jornal		4	50	200.00
ABONAMIENTO					400.00
Aplicación de biosilíce y ácido húmico (global)	Jornal	4	2	50.00	400.00
RIEGO Y TRASPLANTE					900.00
Riegos periódicos por goteo (global)	Jornal		10	50.00	500.00
Trasplante	Jornal	1	6	50.00	300.00
Replante	Jornal	1	2	50.00	100.00
CONTROL DE ARVENSES Y TUTORADO					800.00
Deshierbos	Jornal	4	4	50.00	800.00
APORQUES					500.00
Primer aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
Segundo aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
CONTROL FITOSANITARIO Y COSECHA					1,600.00
Aplicación de remedios	Jornal	2	2	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	2	14.00	50.00	1,400.00
INSUMOS					1,406.25
INSUMOS					1,406.25
Fertilizantes, semillas y bioestimulantes:					
Biosilíce	kg		0	20.00	-
Ácido húmico	L		1	40.00	40.00
Abono orgánico supersuelo	kg		2000	0.40	800.00
Plantines de col	und		3125	0.09	281.25
Control fitosanitario					-
Golgotrin	L		3	25.00	75.00
Lancor	L		3	25.00	75.00
Oncol	L		3	45.00	135.00
MATERIALES Y EQUIPOS					5,197.50
Cordel de nylon	und		12	15.00	180.00
Mantas	und		5	2.50	12.50
Costales			20	2.50	50.00
Yeso para señalizaciones	kg		20	0.50	10.00
Timbo para remdios	und		1	80.00	80.00
Mochila fumigadora	und		1	350.00	350.00
Implementos de riego por goteo	global		1	4,000.00	4,000.00
Balde de 10 L	global		2	10.00	20.00
Picos	und		5	45.00	225.00
Rastrillos	und		2	35.00	70.00
Azadones	unid		5	40.00	200.00
COSTOS INDIRECTOS					2,423.26
Análisis del suelo			1	90.00	90.00
Alquilar de terreno	has		1	1500.00	1,500.00
Gastos administrativos 5% CD				5%	595.19
Imprevistos 2% CD				2%	238.08
COSTOS TOTALES					14,327.01

Tratamiento 03: 0% biosilíce + 0.5 % ácido húmicos

ACTIVIDADES: T3	Unidad de medida	Veces	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS					12,143.75
LABORES CULTURALES					5,500.00
PREPARACIÓN DEL TERENO					850.00
Limpieza del terreno	Jornal		1	50.00	50.00
Aradura mecanizada	HM		4	80.00	320.00
Rastra o mullido	HM		2	70.00	140.00
Surcado	HM		2	70.00	140.00
Nivelado	Jornal		4	50.00	200.00
ALMACIGADO Y SIEMBRA					250.00
Almacigado de col	Jornal	1	1	50	50.00
Manejo de almácigo (global)	Jornal		4	50	200.00
ABONAMIENTO					400.00
Aplicación de biosilíce y ácido húmico (global)	Jornal	4	2	50.00	400.00
RIEGO Y TRASPLANTE					900.00
Riegos periódicos por goteo (global)	Jornal		10	50.00	500.00
Trasplante	Jornal	1	6	50.00	300.00
Replante	Jornal	1	2	50.00	100.00
CONTROL DE ARVENSES Y TUTORADO					800.00
Deshierbos	Jornal	4	4	50.00	800.00
APORQUES					500.00
Primer aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
Segundo aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
CONTROL FITOSANITARIO Y COSECHA					1,800.00
Aplicación de remedios	Jornal	2	2	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	2	16.00	50.00	1,600.00
INSUMOS					1,446.25
INSUMOS					1,446.25
Fertilizantes, semillas y bioestimulantes:					
Biosilíce	kg		0	20.00	-
Ácido húmico	L		2	40.00	80.00
Abono orgánico supersuelo	kg		2000	0.40	800.00
Plantines de col	und		3125	0.09	281.25
Control fitosanitario					-
Golgotrin	L		3	25.00	75.00
Lancor	L		3	25.00	75.00
Oncol	L		3	45.00	135.00
MATERIALES Y EQUIPOS					5,197.50
Cordel de nylon	und		12	15.00	180.00
Mantas	und		5	2.50	12.50
Costales			20	2.50	50.00
Yeso para señalizaciones	kg		20	0.50	10.00
Timbo para remdios	und		1	80.00	80.00
Mochila fumigadora	und		1	350.00	350.00
Implementos de riego por goteo	global		1	4,000.00	4,000.00
Balde de 10 L	global		2	10.00	20.00
Picos	und		5	45.00	225.00
Rastrillos	und		2	35.00	70.00
Azadones	unid		5	40.00	200.00
COSTOS INDIRECTOS					2,440.06
Análisis del suelo			1	90.00	90.00
Alquilar de terreno	has		1	1500.00	1,500.00
Gastos administrativos 5% CD				5%	607.19
Imprevistos 2% CD				2%	242.88
COSTOS TOTALES					14,583.81

Tratamiento 04: 0.5% biosilice + 0.0 % ácido húmicos

ACTIVIDADES: T4	Unidad de medida	Veces	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS					12,003.75
LABORES CULTURALES					5,400.00
PREPARACIÓN DEL TERENO					850.00
Limpieza del terreno	Jornal		1	50.00	50.00
Aradura mecanizada	HM		4	80.00	320.00
Rastra o mullido	HM		2	70.00	140.00
Surcado	HM		2	70.00	140.00
Nivelado	Jornal		4	50.00	200.00
ALMACIGADO Y SIEMBRA					250.00
Almacigado de col	Jornal	1	1	50	50.00
Manejo de almácigo (global)	Jornal		4	50	200.00
ABONAMIENTO					400.00
Aplicación de biosilíce y ácido húmico (global)	Jornal	4	2	50.00	400.00
RIEGO Y TRASPLANTE					900.00
Riegos periódicos por goteo (global)	Jornal		10	50.00	500.00
Trasplante	Jornal	1	6	50.00	300.00
Replante	Jornal	1	2	50.00	100.00
CONTROL DE ARVENSES Y TUTORADO					800.00
Deshierbos	Jornal	4	4	50.00	800.00
APORQUES					500.00
Primer aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
Segundo aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
CONTROL FITOSANITARIO Y COSECHA					1,700.00
Aplicación de remedios	Jornal	2	2	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	2	15.00	50.00	1,500.00
INSUMOS					1,406.25
INSUMOS					1,406.25
Fertilizantes, semillas y bioestimulantes:					
Biosilíce	kg		2	20.00	40.00
Ácido húmico	L		0	40.00	-
Abono orgánico supersuelo	kg		2000	0.40	800.00
Plantines de col	und		3125	0.09	281.25
Control fitosanitario					-
Golgotrin	L		3	25.00	75.00
Lancor	L		3	25.00	75.00
Oncol	L		3	45.00	135.00
MATERIALES Y EQUIPOS					5,197.50
Cordel de nylon	und		12	15.00	180.00
Mantas	und		5	2.50	12.50
Costales			20	2.50	50.00
Yeso para señalizaciones	kg		20	0.50	10.00
Timbo para remdios	und		1	80.00	80.00
Mochila fumigadora	und		1	350.00	350.00
Implementos de riego por goteo	global		1	4,000.00	4,000.00
Balde de 10 L	global		2	10.00	20.00
Picos	und		5	45.00	225.00
Rastrillos	und		2	35.00	70.00
Azadones	unid		5	40.00	200.00
COSTOS INDIRECTOS					2,430.26
Análisis del suelo			1	90.00	90.00
Alquilar de terreno	has		1	1500.00	1,500.00
Gastos administrativos 5% CD				5%	600.19
Imprevistos 2% CD				2%	240.08
COSTOS TOTALES					14,434.01

Tratamiento 05: 0.5% biosilice + 0.25 % ácido húmicos

ACTIVIDADES: T5	Unidad de medida	Veces	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS					11,743.75
LABORES CULTURALES					5,100.00
PREPARACIÓN DEL TERENO					850.00
Limpieza del terreno	Jornal		1	50.00	50.00
Aradura mecanizada	HM		4	80.00	320.00
Rastra o mullido	HM		2	70.00	140.00
Surcado	HM		2	70.00	140.00
Nivelado	Jornal		4	50.00	200.00
ALMACIGADO Y SIEMBRA					250.00
Almacigado de col	Jornal	1	1	50	50.00
Manejo de almácigo (global)	Jornal		4	50	200.00
ABONAMIENTO					400.00
Aplicación de biosilíce y ácido húmico (global)	Jornal	4	2	50.00	400.00
RIEGO Y TRASPLANTE					900.00
Riegos periódicos por goteo (global)	Jornal		10	50.00	500.00
Trasplante	Jornal	1	6	50.00	300.00
Replante	Jornal	1	2	50.00	100.00
CONTROL DE ARVENSES Y TUTORADO					800.00
Deshierbos	Jornal	4	4	50.00	800.00
APORQUES					500.00
Primer aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
Segundo aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
CONTROL FITOSANITARIO Y COSECHA					1,400.00
Aplicación de remedios	Jornal	2	2	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	2	12.00	50.00	1,200.00
INSUMOS					1,446.25
INSUMOS					1,446.25
Fertilizantes, semillas y bioestimulantes:					
Biosilíce	kg		2	20.00	40.00
Ácido húmico	L		1	40.00	40.00
Abono orgánico supersuelo	kg		2000	0.40	800.00
Plantines de col	und		3125	0.09	281.25
Control fitosanitario					-
Golgotrin	L		3	25.00	75.00
Lancor	L		3	25.00	75.00
Oncol	L		3	45.00	135.00
MATERIALES Y EQUIPOS					5,197.50
Cordel de nylon	und		12	15.00	180.00
Mantas	und		5	2.50	12.50
Costales			20	2.50	50.00
Yeso para señalizaciones	kg		20	0.50	10.00
Timbo para remdios	und		1	80.00	80.00
Mochila fumigadora	und		1	350.00	350.00
Implementos de riego por goteo	global		1	4,000.00	4,000.00
Balde de 10 L	global		2	10.00	20.00
Picos	und		5	45.00	225.00
Rastrillos	und		2	35.00	70.00
Azadones	unid		5	40.00	200.00
COSTOS INDIRECTOS					2,412.06
Análisis del suelo			1	90.00	90.00
Alquilar de terreno	has		1	1500.00	1,500.00
Gastos administrativos 5% CD				5%	587.19
Imprevistos 2% CD				2%	234.88
COSTOS TOTALES					14,155.81

Tratamiento 06: 0.5% biosilice + 0.50 % ácido húmicos

ACTIVIDADES: T6	Unidad de medida	Veces	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS					12,283.75
LABORES CULTURALES					5,600.00
PREPARACIÓN DEL TERENO					850.00
Limpieza del terreno	Jornal		1	50.00	50.00
Aradura mecanizada	HM		4	80.00	320.00
Rastra o mullido	HM		2	70.00	140.00
Surcado	HM		2	70.00	140.00
Nivelado	Jornal		4	50.00	200.00
ALMACIGADO Y SIEMBRA					250.00
Almacigado de col	Jornal	1	1	50	50.00
Manejo de almácigo (global)	Jornal		4	50	200.00
ABONAMIENTO					400.00
Aplicación de biosilíce y ácido húmico (global)	Jornal	4	2	50.00	400.00
RIEGO Y TRASPLANTE					900.00
Riegos periódicos por goteo (global)	Jornal		10	50.00	500.00
Trasplante	Jornal	1	6	50.00	300.00
Replante	Jornal	1	2	50.00	100.00
CONTROL DE ARVENSES Y TUTORADO					800.00
Deshierbos	Jornal	4	4	50.00	800.00
APORQUES					500.00
Primer aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
Segundo aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
CONTROL FITOSANITARIO Y COSECHA					1,900.00
Aplicación de remedios	Jornal	2	2	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	2	17.00	50.00	1,700.00
INSUMOS					1,486.25
INSUMOS					1,486.25
Fertilizantes, semillas y bioestimulantes:					
Biosilíce	kg		2	20.00	40.00
Ácido húmico	L		2	40.00	80.00
Abono orgánico supersuelo	kg		2000	0.40	800.00
Plantines de col	und		3125	0.09	281.25
Control fitosanitario					-
Golgotrin	L		3	25.00	75.00
Lancor	L		3	25.00	75.00
Oncol	L		3	45.00	135.00
MATERIALES Y EQUIPOS					5,197.50
Cordel de nylon	und		12	15.00	180.00
Mantas	und		5	2.50	12.50
Costales			20	2.50	50.00
Yeso para señalizaciones	kg		20	0.50	10.00
Timbo para remdios	und		1	80.00	80.00
Mochila fumigadora	und		1	350.00	350.00
Implementos de riego por goteo	global		1	4,000.00	4,000.00
Balde de 10 L	global		2	10.00	20.00
Picos	und		5	45.00	225.00
Rastrillos	und		2	35.00	70.00
Azadones	unid		5	40.00	200.00
COSTOS INDIRECTOS					2,449.86
Análisis del suelo			1	90.00	90.00
Alquilar de terreno	has		1	1500.00	1,500.00
Gastos administrativos 5% CD				5%	614.19
Imprevistos 2% CD				2%	245.68
COSTOS TOTALES					14,733.61

Tratamiento 07: 1.0% biosilice + 0.0 % ácido húmicos

ACTIVIDADES: T7	Unidad de medida	Veces	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS					12,143.75
LABORES CULTURALES					5,500.00
PREPARACIÓN DEL TERENO					850.00
Limpieza del terreno	Jornal		1	50.00	50.00
Aradura mecanizada	HM		4	80.00	320.00
Rastra o mullido	HM		2	70.00	140.00
Surcado	HM		2	70.00	140.00
Nivelado	Jornal		4	50.00	200.00
ALMACIGADO Y SIEMBRA					250.00
Almacigado de col	Jornal	1	1	50	50.00
Manejo de almácigo (global)	Jornal		4	50	200.00
ABONAMIENTO					400.00
Aplicación de biosilíce y ácido húmico (global)	Jornal	4	2	50.00	400.00
RIEGO Y TRASPLANTE					900.00
Riegos periódicos por goteo (global)	Jornal		10	50.00	500.00
Trasplante	Jornal	1	6	50.00	300.00
Replante	Jornal	1	2	50.00	100.00
CONTROL DE ARVENSES Y TUTORADO					800.00
Deshierbos	Jornal	4	4	50.00	800.00
APORQUES					500.00
Primer aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
Segundo aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
CONTROL FITOSANITARIO Y COSECHA					1,800.00
Aplicación de remedios	Jornal	2	2	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	2	16.00	50.00	1,600.00
INSUMOS					1,446.25
INSUMOS					1,446.25
Fertilizantes, semillas y bioestimulantes:					
Biosilíce	kg		4	20.00	80.00
Ácido húmico	L		0	40.00	-
Abono orgánico supersuelo	kg		2000	0.40	800.00
Plantines de col	und		3125	0.09	281.25
Control fitosanitario					-
Golgotrin	L		3	25.00	75.00
Lancor	L		3	25.00	75.00
Oncol	L		3	45.00	135.00
MATERIALES Y EQUIPOS					5,197.50
Cordel de nylon	und		12	15.00	180.00
Mantas	und		5	2.50	12.50
Costales			20	2.50	50.00
Yeso para señalizaciones	kg		20	0.50	10.00
Timbo para remdios	und		1	80.00	80.00
Mochila fumigadora	und		1	350.00	350.00
Implementos de riego por goteo	global		1	4,000.00	4,000.00
Balde de 10 L	global		2	10.00	20.00
Picos	und		5	45.00	225.00
Rastrillos	und		2	35.00	70.00
Azadones	unid		5	40.00	200.00
COSTOS INDIRECTOS					2,440.06
Análisis del suelo			1	90.00	90.00
Alquilar de terreno	has		1	1500.00	1,500.00
Gastos administrativos 5% CD				5%	607.19
Imprevistos 2% CD				2%	242.88
COSTOS TOTALES					14,583.81

Tratamiento 08: 1.0% biosilice + 0.25 % ácido húmicos

ACTIVIDADES: T8	Unidad de medida	Veces	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS					12,183.75
LABORES CULTURALES					5,500.00
PREPARACIÓN DEL TERENO					850.00
Limpieza del terreno	Jornal		1	50.00	50.00
Aradura mecanizada	HM		4	80.00	320.00
Rastra o mullido	HM		2	70.00	140.00
Surcado	HM		2	70.00	140.00
Nivelado	Jornal		4	50.00	200.00
ALMACIGADO Y SIEMBRA					250.00
Almacigado de col	Jornal	1	1	50	50.00
Manejo de almácigo (global)	Jornal		4	50	200.00
ABONAMIENTO					400.00
Aplicación de biosilíce y ácido húmico (global)	Jornal	4	2	50.00	400.00
RIEGO Y TRASPLANTE					900.00
Riegos periódicos por goteo (global)	Jornal		10	50.00	500.00
Trasplante	Jornal	1	6	50.00	300.00
Replante	Jornal	1	2	50.00	100.00
CONTROL DE ARVENSES Y TUTORADO					800.00
Deshierbos	Jornal	4	4	50.00	800.00
APORQUES					500.00
Primer aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
Segundo aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
CONTROL FITOSANITARIO Y COSECHA					1,800.00
Aplicación de remedios	Jornal	2	2	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	2	16.00	50.00	1,600.00
INSUMOS					1,486.25
INSUMOS					1,486.25
Fertilizantes, semillas y bioestimulantes:					
Biosilíce	kg		4	20.00	80.00
Ácido húmico	L		1	40.00	40.00
Abono orgánico supersuelo	kg		2000	0.40	800.00
Plantines de col	und		3125	0.09	281.25
Control fitosanitario					-
Golgotrin	L		3	25.00	75.00
Lancor	L		3	25.00	75.00
Oncol	L		3	45.00	135.00
MATERIALES Y EQUIPOS					5,197.50
Cordel de nylon	und		12	15.00	180.00
Mantas	und		5	2.50	12.50
Costales			20	2.50	50.00
Yeso para señalizaciones	kg		20	0.50	10.00
Timbo para remdios	und		1	80.00	80.00
Mochila fumigadora	und		1	350.00	350.00
Implementos de riego por goteo	global		1	4,000.00	4,000.00
Balde de 10 L	global		2	10.00	20.00
Picos	und		5	45.00	225.00
Rastrillos	und		2	35.00	70.00
Azadones	unid		5	40.00	200.00
COSTOS INDIRECTOS					2,442.86
Análisis del suelo			1	90.00	90.00
Alquilar de terreno	has		1	1500.00	1,500.00
Gastos administrativos 5% CD				5%	609.19
Imprevistos 2% CD				2%	243.68
COSTOS TOTALES					14,626.61

Tratamiento 09: 1.0% biosilice + 0.5 % ácido húmicos

ACTIVIDADES: T9	Unidad de medida	Veces	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS					12,223.75
LABORES CULTURALES					5,500.00
PREPARACIÓN DEL TERENO					850.00
Limpieza del terreno	Jornal		1	50.00	50.00
Aradura mecanizada	HM		4	80.00	320.00
Rastra o mullido	HM		2	70.00	140.00
Surcado	HM		2	70.00	140.00
Nivelado	Jornal		4	50.00	200.00
ALMACIGADO Y SIEMBRA					250.00
Almacigado de col	Jornal	1	1	50	50.00
Manejo de almácigo (global)	Jornal		4	50	200.00
ABONAMIENTO					400.00
Aplicación de biosilíce y ácido húmico (global)	Jornal	4	2	50.00	400.00
RIEGO Y TRASPLANTE					900.00
Riegos periódicos por goteo (global)	Jornal		10	50.00	500.00
Trasplante	Jornal	1	6	50.00	300.00
Replante	Jornal	1	2	50.00	100.00
CONTROL DE ARVENSES Y TUTORADO					800.00
Deshierbos	Jornal	4	4	50.00	800.00
APORQUES					500.00
Primer aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
Segundo aporque	Jornal	1	5	50.00	250.00
CONTROL FITOSANITARIO Y COSECHA					1,800.00
Aplicación de remedios	Jornal	2	2	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	2	16.00	50.00	1,600.00
INSUMOS					1,526.25
INSUMOS					1,526.25
Fertilizantes, semillas y bioestimulantes:					
Biosilíce	kg		4	20.00	80.00
Ácido húmico	L		2	40.00	80.00
Abono orgánico supersuelo	kg		2000	0.40	800.00
Plantines de col	und		3125	0.09	281.25
Control fitosanitario					-
Golgotrin	L		3	25.00	75.00
Lancor	L		3	25.00	75.00
Oncol	L		3	45.00	135.00
MATERIALES Y EQUIPOS					5,197.50
Cordel de nylon	und		12	15.00	180.00
Mantas	und		5	2.50	12.50
Costales			20	2.50	50.00
Yeso para señalizaciones	kg		20	0.50	10.00
Timbo para remdios	und		1	80.00	80.00
Mochila fumigadora	und		1	350.00	350.00
Implementos de riego por goteo	global		1	4,000.00	4,000.00
Balde de 10 L	global		2	10.00	20.00
Picos	und		5	45.00	225.00
Rastrillos	und		2	35.00	70.00
Azadones	unid		5	40.00	200.00
COSTOS INDIRECTOS					2,445.66
Análisis del suelo			1	90.00	90.00
Alquilar de terreno	has		1	1500.00	1,500.00
Gastos administrativos 5% CD				5%	611.19
Imprevistos 2% CD				2%	244.48
COSTOS TOTALES					14,669.41

Anexo 6. Panel fotográfico del proceso de elaboración de tesis.



Foto 1. Preparación de surcos, instalación de cintas de riego y delimitación de unidades experimentales



Fotografía 2. Prueba de riego por goteo en los surcos



Fotografía 3. Insecticidas utilizados en el cultivo de col



Fotografía 4. Primer aporque de col



Fotografía 5. Instalación completa de siembra de col



Fotografía 6. Abonamiento de col con supersuelo gallinaza, fuente orgánica



Fotografía 7. Abonamiento de col con supersuelo (gallinaza), fuente orgánica



Fotografía 8. Ácido húmico empleado en los tratamientos



Fotografía 9. Aplicación de remedios contra insectos y hongos



Fotografía 10. Cosecha y evaluación de los parámetros del rendimiento

Anexo 7. Ficha técnica de PHOS-HUMIC NK.

	FICHA TÉCNICA	Revisión: 04 Aprobado: JDN Fecha: 27-01-2023 Página 1 de 3
	 Greenzit PHOS-HUMIC NK FERTILIZANTE FOLIAR	

Producto	:	GREENZIT® PHOS-HUMIC NK
Composición	:	Fósforo (P_2O_5) 40.0 % p/v
	:	Nitrógeno (N) 2.0 % p/v
	:	Potasio (K_2O) 3.0 % p/v
	:	Extracto Húmico 5.0 % p/v
Formulación	:	Concentrado Soluble
Clase de uso	:	Fertilizante Foliar
Distribuidor	:	NEOAGRUM S.A.C.

CARACTERÍSTICAS

GREENZIT® PHOS-HUMIC NK es un fertilizante foliar altamente concentrado en fósforo asimilable, complementado con nitrógeno, potasio y extracto húmico, que en su conjunto permite al cultivo potenciar los procesos fisiológicos de desarrollo radical, floración y formación de semillas y frutos. Además, mejora significativamente la retención de frutos, por ende, mayor productividad.

GREENZIT® PHOS-HUMIC NK, por su alto contenido de fósforo, será fundamental en la formación de la molécula transportadora de alta energía ATP, la cual participa en todos los procesos metabólicos de la planta; asimismo, interviene en la formación de nucleoproteínas, ácidos nucleicos y fosfolípidos. El fósforo también participa en la producción y transporte de azúcares, grasas y proteínas.

GREENZIT® PHOS-HUMIC NK, posee una importante cantidad de extracto húmico que está compuesto por moléculas que funcionan como quelatantes de los elementos nutritivos del producto, aumentando la permeabilidad de la membrana celular y facilitando la absorción de los nutrientes; asimismo, favorecen la asimilación y traslocación de los agroquímicos vía foliar.

GREENZIT® PHOS-HUMIC NK, tiene un efecto vigorizante en las plantas, aumentando la resistencia y recuperación a diversos tipos de estrés; entre ellas, estrés al post-trasplante, a la falta de agua y al exceso o déficit de temperatura.

COMPATIBILIDAD

GREENZIT® PHOS-HUMIC NK es compatible con los pesticidas, fertilizantes foliares y bioestimulantes de uso frecuente; sin embargo, se recomienda realizar antes una prueba de compatibilidad. No es recomendable mezclar con producto que contengan calcio libre, debido a que puede reaccionar con el fósforo soluble de este producto; asimismo, evitar mezclas con compuestos de fuerte reacción alcalina.

	FICHA TÉCNICA		Revisión: 04 Aprobado: JDN Fecha: 27-01-2023 Página 2 de 3
	 Greenzit PHOS-HUMIC NK PERTEJIZANTE FOLIAR		

EFFECTO SOBRE LOS CULTIVOS

GREENZIT® PHOS-HUMIC NK no es fitotóxico para los cultivos si se siguen las recomendaciones dadas en el cuadro de usos.

RECOMENDACIONES DE USO

CULTIVO	DOSIS		MOMENTOS DE APLICACIÓN
	(L/ha)	(L/200L)	
AJÍ, TOMATE Y OTRAS SOLANÁCEAS	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	1.º 7 días después del trasplante. 2.º Al inicio de la floración.
ALCACHOFA	2.0 - 3.0	0.5 - 1.0	1.º 7 días después del trasplante. 2.º Al inicio de la formación del capítulo.
ARÁNDANO	2.0 - 3.0	0.5 - 1.0	1.º Después del trasplante. 2.º Durante la prefloración y floración.
ARROZ	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	1.º 7 días después del trasplante. 2.º Inicio de espigado.
BRÓCOLI, COLIFLOR Y COL	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	1.º 7 días después del trasplante 2.º 15 días después de la primera aplicación.
CEBOLLA Y AJO	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	1.º 7 días después del trasplante. 2.º Al inicio de bulbificación.
ESPÁRRAGO	2.0 - 3.0	0.5 - 1.0	1.º En el primer brotamiento. 2.º Al inicio del segundo brotamiento. 3.º A los 30 días antes del chapodo.
FRESA	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	1.º 7 días después del trasplante. 2.º Al inicio de la formación del botón floral.
FRIJOL, ARVEJA Y HOLANTAO	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	1.º A partir de 4 hojas verdaderas. 2.º Al inicio de la formación del botón floral.
FRUTALES CADUCIFOLIOS: MANZANO, MELOCOTÓN Y GRANADO	3.0 - 5.0	0.5 - 1.0	1.º Al inicio de la floración. 2.º 15 días después de la primera aplicación.
FRUTALES SIEMPREVERDES: MANGO, PALTO, OLIVO, CÍTRICOS, MARACUYÁ, GRANADILLA	3.0 - 5.0	0.5 - 1.0	1.º Al inicio de la floración. 2.º Al inicio de desarrollo del fruto.
HORTALIZAS DE HOJAS	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	1.º A partir de 3 hojas verdaderas. 2.º Repetir cada 15 días.

	FICHA TÉCNICA		Revisión: 04 Aprobado: JDN Fecha: 27-01-2023 Página 3 de 3
	 Greenzit PHOS-HUMIC NK FERTILIZANTE POLIAR		

MAÍZ, TRIGO Y CEBADA	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	1.º A partir de 4 hojas verdaderas. 2.º 15 días después de la primera aplicación
PAPA, OTRAS RAÍCES Y TUBEROSAS	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	1.º 10 días después del brotamiento. 2.º Antes del aporque.
PEPINO, SANDÍA Y MELÓN	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	1.º A partir de 6 hojas verdaderas. 2.º Durante la prefloración y floración.
VID	3.0 - 5.0	0.5 - 1.0	1.º Al inicio de la floración. 2.º Al inicio de crecimiento de bayas.

MANEJO Y DISPOSICIÓN DE DESECHOS Y ENVASES VACÍOS

Realizar obligatoriamente el triple lavado del presente envase.

- Después de usar el contenido, enjuague tres veces el envase y vierta la solución en la mezcla de aplicación y luego inutilícelo, triturándolo o perforándolo y depositelo en el lugar destinado por las autoridades locales para este fin.
- Devuelva el envase triple lavado al centro de acopio autorizado.



Anexo 8. Ficha técnica de super suelo-Gallinaza.



Guano orgánico de gallinas ponedoras de La Calera, que asegura alta calidad y pureza al 100%. Certificado como insumo para la Producción Orgánica por Control Union Services, según estándares de USDA (Estados Unidos) y JAS (Japón). Su fuente de materia orgánica mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, permitiendo mejorar su estructura, optimizar la disponibilidad de nutrientes y favorecer su biodiversidad, gracias al estímulo de la actividad biológica.

CONTENIDO NUTRICIONAL		
Macro Nutrientes	Nitrógeno (N)	1.5 - 3.0 %
	Fósforo (P_2O_5)	3.0 - 5.0 %
	Potasio (K_2O)	2.0 - 3.0 %
	Calcio (CaO)	9.0 - 13.0 %
	Magnesio (MgO)	1.4 - 2.4 %
Micro Nutrientes	Hierro (Fe)	2 000 - 5000 ppm
	Zinc (Zn)	300 - 500 ppm
	Cobre (Cu)	50 - 75 ppm
	Boro (B)	50 - 100 ppm
	Manganeso (Mn)	500 - 700 ppm
Prop. Químicas	pH	7.0 - 8.0
	Conductividad eléctrica	15 - 20 dS/m
M.O. y sustancias tóxicas	Materia Orgánica	25 - 47 %
	Ácidos fúlvicos	5 - 6 %
	Ácidos húmicos	2 - 3 %
Org. Patógenos	Escherichia coli	<10 UFC/g
	Salmonella spp	<10 UFC/g
	Coliformes termotolerantes	<10 UFC/g
Prop. Físicas	Apariencia	Gránulos finos
	Color	Marrón oscuro
	Olor	Característico a M.O. - no fétido

Metales pesados por debajo de los límites máximos permitidos en la NTP 311.538

Producto aprobado para ser usado en **AGRICULTURA ORGÁNICA**



CARACTERÍSTICAS



Mejora la agregación y estructuración de suelo aumentando la porosidad y respiración de raíces.



Aumenta la retención de humedad y disponibilidad de nutrientes en el suelo.



Estimula la actividad biológica del suelo facilitando el desarrollo de microfauna.

RECOMENDACIONES

(Consultar dosis y aplicación con el EXSS responsable)



Mantener el envase cerrado, en un lugar fresco y seco



Envase: Saco plastificado de alta densidad, sellado.



Encuentra esta ficha técnica en www.vidaalsuelo.com/portafolio

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. DEISI YUCRA QUISPE
R.D. N° 209-2026-UNSCH-FCA-D

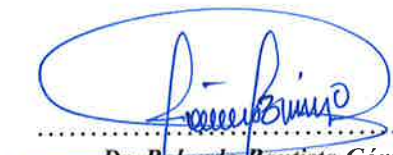
En la ciudad de Ayacucho, a los veintiséis días del mes de mayo del año dos mil veintiséis, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva, Dr. Rolando Bautista Gómez como asesor, M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo y el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Dosis de biosilice y ácidos húmicos en el rendimiento de col (*Brassica oleracea* L. var. *Capitata*), Canaán 2750 msnm, Ayacucho, 2025**, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrónoma, presentado por la Bachiller **DEISI YUCRA QUISPE**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva	16	15	15	15
Dr. Rolando Bautista Gómez	16	15	16	16
M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo	16	15	16	16
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza	15	16	15	15
PROMEDIO GENERAL				16

Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva
Presidente


.....
Dr. Rolando Bautista Gómez
Asesor


.....
M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por la R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-D; hace constar que el trabajo titulado:

Dosis de biosilice y ácidos húmicos en el rendimiento de col (*Brassica oleracea* L. var. Capitata), Canaán 2750 msnm, Ayacucho, 2025

Autor : Deisi YUCRA QUISPE
Asesor : Rolando BAUTISTA GÓMEZ

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobando mediante de RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de once por ciento **(11%)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajo estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 2984662993

Ayacucho, 16 de junio de 2026



Jorge Luis Huamancusi Morales

M.Sc. en Producción Agrícola
E.P. Agronomía

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Dosis de biosilice y ácidos
húmicos en el rendimiento de
col (*Brassica oleracea* L. var.
Capitata), Canaán 2750 msnm,
Ayacucho, 2025
por Deisi Yucra Quispe

Fecha de entrega: 16-jun-2026 08:02p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2984662993

Nombre del archivo: TESIS_DEISI_YUCRA_QUISPE_EPA.pdf (6.98M)

Total de palabras: 25697

Total de caracteres: 130790

Dosis de biosilice y ácidos húmicos en el rendimiento de col
(Brassica oleracea L. var. Capitata), Canaán 2750 msnm,
Ayacucho, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%	11%	2%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	6%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.unsch.edu.pe	5%
	Fuente de Internet	
3	vidaalsuelo.com	<1%
	Fuente de Internet	
4	Jesús del Rosario Ruelas-Islas, Hernán Celaya-Michel, Celia S. Romero-Félix, Ernesto Sifuentes-Ibarra et al. "Respuesta Agronómica de Frijol Común "Azufrado Reyna" a Diferentes Fuentes de Fertilización", REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 2024	<1%
	Publicación	

Dosis de biosilíce y ácidos húmicos en el rendimiento de col (*Brassica oleracea* L. var. Capitata), Canaán 2750 msnm, Ayacucho, 2025

Doses of biosilica and humic acids on the yield of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata), Canaan 2750 m.a.s.l., Ayacucho, 2025

Deisi Yucra Quispe¹,
deisi.yucra.01@unsch.edu.pe

Rolando Bautista Gómez²
rolando.bautista@unsch.edu.pe

Áreas de investigación: Medio Ambiente
Línea de investigación: Sistemas de Producción Agrícola

RESUMEN

Este estudio se realizó en el Centro Experimental Canaán de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ubicado en el distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Provincia Huamanga y región Ayacucho. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de biosilíce (diatomea molida remojada) y ácidos húmicos (comercial) sobre el rendimiento y rentabilidad de la col (*Brassica oleracea* L.). Se establecieron nueve tratamientos, producto de la combinación factorial de tres dosis de biosilíce (0, 0.5 y 1.0%) y 3 dosis de ácidos húmicos (0, 0.25 y 0.50%). El experimento se condujo bajo un Diseño en Bloques completos al Azar (DBCA), con tres repeticiones por tratamiento. Los resultados mostraron que la aplicación de biosilíce al 1% en ausencia de ácido húmico permitió obtener un rendimiento de 48.62 t ha⁻¹ y un peso por planta de 1.56 kg, superando al testigo en 45.1% en peso. Asimismo, la combinación de 0.5% de biosilíce con 0.5% de ácido húmico presentó mayor rendimiento, alcanzando 50.42 t ha⁻¹. Por su parte, ácidos húmicos mostraron efectos significativos principalmente en el peso por planta y rendimiento comercial, destacando la dosis de 0.5%, que alcanzó 48.8 t ha⁻¹ en ausencia de biosilíce. En cuanto a la altura de planta, se registraron incrementos notables de 37.7 cm con la aplicación de 0.25% de ácido húmico sin biosilíce, lo que representa un incremento de 26.16% respecto al testigo. En términos de rentabilidad económica, el tratamiento T6 (0.5% biosilíce + 0.5% ácido húmico) presentó los mejores resultados, con una producción estimada de 31,123 unidades de repollos ha⁻¹, una rentabilidad del 132.4%, con un valor neto de S/ 19,501.7 y un costo de producción de S/ 14,733.6.

Palabras claves: Ácidos húmicos, biosilíce, *Brassica oleracea*, rentabilidad.

ABSTRACT

This study was conducted at the Canaan Experimental Center of the National University of San Cristóbal de Huamanga, located in the district of Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Huamanga Province, Ayacucho Region. The objective was to evaluate the effect of different doses of biosilica (soaked ground diatomaceous earth) and humic acids (commercial) on the yield and profitability of cabbage (*Brassica oleracea* L.). Nine treatments were established, resulting from the factorial combination of three doses of biosilica (0, 0.5, and 1.0%) and three doses of humic acids (0, 0.25, and 0.50%). The experiment was conducted using a Randomized Complete Block Design (RCBD), with three replicates per treatment. The results showed that applying 1% biosilica in the absence of humic acid resulted in a yield of 48.62 t ha⁻¹ and a plant weight of 1.56 kg, exceeding the control by 45.1% by weight. Similarly, the combination of 0.5% biosilica with 0.5% humic acid showed even higher yields, reaching 50.42 t ha⁻¹. Humic acids, for their part, showed significant effects primarily on plant weight and marketable yield, with the 0.5% dose standing out, achieving 48.8 t ha⁻¹ in the absence of biosilica. Regarding

plant height, notable increases of 37.7 cm were recorded with the application of 0.25% humic acid without biosilica, representing a 26.16% increase compared to the control. In terms of economic profitability, treatment T6 (0.5% biosilica + 0.5% humic acid) showed the best results, with an estimated production of 31,123 cabbage units ha⁻¹, a profitability of 132.4%, a net value of S/ 19,501.7, and a production cost of S/ 14,733.6.

Keywords: Humic acids, biosilica, *Brassica oleracea*, profitability.

I. INTRODUCCIÓN

La col (*Brassica oleracea* L. var. capitata) es una de las hortalizas muy relevantes tanto en su consumo, valor nutricional y aporte económico en las familias en zonas rurales en los rincones donde se practica la agricultura (Vásquez et al., 2020; Greer et al., 2023). En el Perú, el cultivo de col alcanzó una producción que supera las 200 mil toneladas anuales y una superficie cosechada aproximada de 10 mil hectáreas, con rendimientos promedio cercanos a 20 t ha⁻¹. Las principales regiones productoras son Lima, Junín, Arequipa y La Libertad, las cuales concentran gran parte de la oferta nacional (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2023). A nivel regional, en Ayacucho, la producción de col es menor en comparación con las principales regiones productoras, representando aproximadamente el 4.8% de la superficie cosechada nacional, con rendimientos promedio de 9,615.5 kg ha⁻¹, lo que evidencia limitaciones productivas en condiciones altoandinas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2022).

Una de las alternativas al bajo rendimiento de la col, es el uso de biosílíce cuya principal fuente es la diatomea, lo cual es ampliamente usado hoy en día en la agricultura, tiene la función de fortalecer las paredes celulares de la planta, mejora la tolerancia a estreses abióticos y bióticos, y aumenta los rendimientos de cultivos (Constantinescu-Aruxandei et al., 2020; Cartagena, 2025). Asimismo, los estudios previos han demostrado que su uso en hortalizas como tomate, cebolla y frutas como aguaymanto mejoran el desarrollo general de la planta, lo que se traduce en mejor rendimiento (Añibarro-Ortega et al., 2025; Roca, 2024; Pillaca, 2024). Por otro lado, los ácidos húmicos son sustancias orgánicas que influyen en la estructura del suelo, la retención de nutrientes y la actividad microbiana, influyendo en el buen desarrollo vegetal. Los estudios previos han demostrado una positiva influencia en el suelo, retención de nutrientes, mejora la actividad microbiana, y repercute en el incremento de rendimiento de los cultivos como lechuga, pepino y brócoli (Díaz, 2021; Ibrahim et al., 2024), además de mejorar la eficiencia de uso de nitrógeno del suelo (Ma, 2024; Cheng & Zhang, 2024), incremento de calidad y rendimiento en col repollo (Al-Zahrani et al., 2021; Mahmood & Al-Ubaidy, 2019).

Estudios internacionales han demostrado que las enmiendas orgánicas y bioestimulantes, como los ácidos húmicos y el biosílíce, mejoran la productividad de los cultivos sin afectar el equilibrio ambiental. El biosílíce incrementa la eficiencia en el uso del agua, la resistencia a plagas y el rendimiento en cultivos como maíz, girasol y tomate, mientras que los ácidos húmicos mejoran la eficiencia del uso de nitrógeno, estimulan el crecimiento radicular y la actividad microbiana del suelo (Xu et al., 2024; Hafez et al., 2021; Baioui et al., 2025; Ma et al., 2024; Song et al., 2025; Zavarzina et al., 2025). Sin embargo, en Ayacucho existe escasa información sobre su aplicación en el cultivo de col, lo que limita su uso debido a la falta de conocimiento sobre dosis e interacción.

Los suelos agrícolas de la región de Ayacucho, últimamente han presentado escasez de agua y otras limitaciones naturales que afectan los cultivos como las hortalizas. No obstante, algunas investigaciones locales como de Cartagena-Gamboa (2025); Pillaca-Quispe, (2024), han podido evidenciar al biosílíce y ácidos húmicos como una de las opciones para mitigar en cierta medida los estreses abióticos, tanto en cebolla como aguaymanto.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en Centro Experimental Canaán, perteneciente a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. La ubicación geográfica del centro experimental es de 13° 9' 20.85" S, 74° 13' 12.72" O y una altitud de 2750 msnm. La temperatura máxima, media y mínima fue de 25.3, 17.7 y 10.1 °C, respectivamente; y la precipitación total anual alcanzó 736.3 mm. El análisis físico-químico del suelo determinó una textura franco arcillosa, un pH ligeramente alcalino (7.69) y bajos contenidos de materia orgánica (1.86 %), nitrógeno total (0.09 %) y fósforo disponible (5.2 ppm).

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue arreglo factorial mediante Diseño Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones. El diseño contó con 9 tratamientos, donde las unidades experimentales estuvieron representadas por las plantas col. El modelo aditivo lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \tau_i + \alpha_j + \tau\alpha_{(ij)} + \varepsilon_{ijk}$$

Para evaluar las diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó análisis de varianza (ANVA) con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, comparación de medias mediante la prueba de Tukey (0.05) y correlación de Pearson. Los análisis estadísticos fueron ejecutados en el software R versión 4.4.2, mientras que los diagramas de caja (boxplot) y algunos gráficos se elaboraron en Excel. Asimismo, el fenotipado de cobertura foliar se realizó en Python.

Tabla 2.1

Código y descripción de tratamientos.

Tratamientos	Descripción	Código
T1	0.0% p/v de biosílice y 0.0 % v/v de ácido húmico	b0* AH0
T2	0.0% p/v de biosílice y 0.25 % v/v de ácido húmico	b0* AH1
T3	0.0% p/v de biosílice y 0.50 % v/v de ácido húmico	b0* AH2
T4	0.5% p/v de biosílice y 0.0 % v/v de ácido húmico	b1* AH0
T5	0.5% p/v de biosílice y 0.25 % v/v de ácido húmico	b1* AH1
T6	0.5% p/v de biosílice y 0.50 % v/v de ácido húmico	b1* AH2
T7	1.0% p/v de biosílice y 0.0 % v/v de ácido húmico	b2* AH0
T8	1.0% p/v de biosílice y 0.25 % v/v de ácido húmico	b2* AH1
T9	1.0% p/v de biosílice y 0.50 % v/v de ácido húmico	b2* AH2

Procedimiento experimental

El manejo agronómico del cultivo comprendió la preparación del terreno mediante limpieza, arado mecanizado, rastra y surcado a 0.80 m entre surcos (12/09/2025), seguido del replanteo de las unidades experimentales (16/09/2025), la instalación de riego por goteo y el trasplante de plántulas aclimatadas de 8–10 cm a un distanciamiento de 0.80 × 0.40 m. El riego se realizó de forma interdiaria durante las dos primeras semanas y posteriormente según las condiciones climáticas, complementándose con un recalde para reponer plántulas muertas (25/09/2025). Se aplicó abonamiento uniforme con gallinaza a razón de 2 t ha⁻¹ durante el primer aporque (18/10/2025), mientras que el biosílice y los ácidos húmicos se aplicaron vía foliar a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante. Asimismo, se efectuaron dos aporques, control de arvenses y dos controles fitosanitarios. Finalmente, la cosecha se realizó en estado de madurez comercial, cuando las cabezas de repollo presentaron firmeza adecuada al tacto, procediéndose luego a la evaluación del rendimiento (12/12/2025).

Evaluaciones de las variables dependientes

Se evaluaron las siguientes variables: altura de planta a la cosecha, diámetro polar y ecuatorial del repollo, peso fresco por planta, rendimiento comercial (estimado en t ha⁻¹ a partir del peso promedio de 10 plantas), cobertura foliar verde (mediante análisis de imágenes procesadas en Python a los 80 días después de la siembra) y rentabilidad económica, calculada en función de los costos de producción y los ingresos estimados por hectárea para cada tratamiento.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta a la cosecha

Tabla 3.1

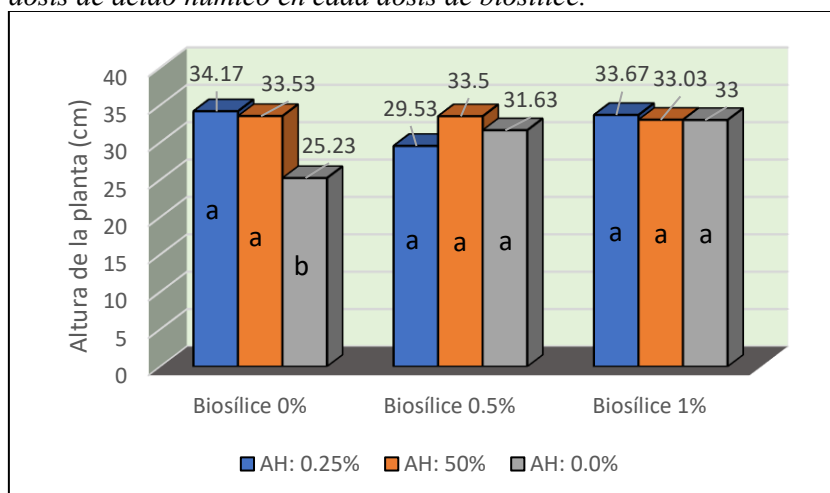
Análisis de varianza de altura de planta de repollo a la cosecha, bajo el efecto de dosis de biosílíce y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	28.210	14.105	2.987	0.0790 ns
Biosílíce (B)	2	24.710	12.355	2.616	0.1040 ns
Ácidos húmicos (AH)	2	55.180	27.590	5.842	0.0124*
Interacción (B*AH)	4	118.390	29.598	6.267	0.0031**
Biosílíce en 0 % de AH					
R. lineal	1	103.340	103.340	21.882	0.0003**
R. cuadrático	1	45.760	45.760	9.690	0.006**
Biosílíce en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	5.230	5.230	1.107	0.0384 *
R. cuadrático	1	18.400	18.400	3.896	0.0659 ns
Biosílíce en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	0.002	0.002	0.000	0.9852 ns
R. cuadrático	1	0.840	0.840	0.178	0.6779 ns
Error	16	75.560	4.723		
Total	26	302.050			
C. V (%)	6.81				

La Tabla 3.1 muestra que la altura de planta de repollo fue influenciada significativamente por los ácidos húmicos y por la interacción biosílíce × ácidos húmicos, mientras que la biosílíce por sí sola no presentó efecto significativo. El coeficiente de variación (CV = 6.81%) indicó una adecuada precisión experimental. Además, la significancia de la interacción, pese a la no significancia de la biosílíce, es estadísticamente válida según Simundic (2012) y Herzog et al. (2019). El análisis de regresión evidenció respuesta de la altura a las dosis de biosílíce únicamente en ausencia de ácido húmico (0%).

Figura 3.1

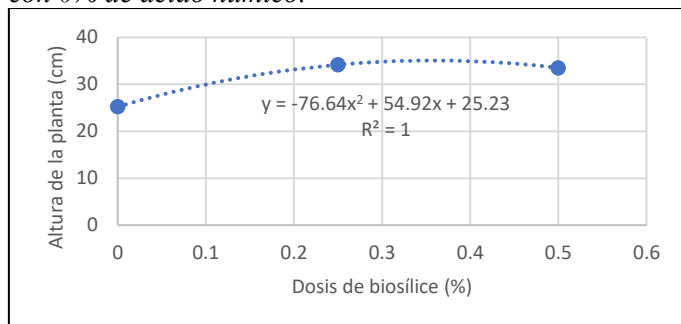
Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de altura de planta de repollo a la cosecha, bajo los efectos simples de dosis de ácido húmico en cada dosis de biosílíce.



La comparación de medias mostró que las mayores alturas de planta se obtuvieron con 0.25% y 0.50% de ácido húmico en ausencia de biosílíce, alcanzando 34.17 y 33.53 cm, respectivamente, destacando el 0.25% por superar al testigo en 26.16%. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Díaz-Juárez (2021), Baca-Luján (2017), Cartagena-Gamboa (2025) y Mahmood y Al-Ubaidy (2019), quienes reportaron efectos favorables de los ácidos húmicos y la biosílíce sobre el crecimiento de diversos cultivos.

Figura 3.2

Tendencia del comportamiento de altura de planta de repollo a la cosecha, según la dosis de biosilíce con 0% de ácido húmico.



La figura 3.2 muestra una tendencia cuadrática de la altura de col frente a las dosis de biosilíce, indicando que existe una dosis óptima a partir de la cual el efecto disminuye. La máxima altura estimada fue de 35.07 cm con 0.36% de biosilíce. Además, el coeficiente de determinación ($R^2 = 100\%$) indica que el modelo explica totalmente la variabilidad observada en la altura.

Diámetro polar de repollo

Tabla 3.2

Análisis de varianza de diámetro polar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	15.880	7.940	2.392	0.1234 ns
Biosilíce (B)	2	6.890	3.445	1.038	0.3771 ns
Ácidos húmicos (A)	2	3.890	1.945	0.586	0.5684 ns
Interacción (B*A)	4	38.230	9.558	2.879	0.0568 ns
Biosilíce en 0 % de AH					
R. lineal	1	27.950	27.950	8.420	0.0104*
R. cuadrático	1	7.930	7.930	2.389	0.1417 ns
Biosilíce en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	1.310	1.310	0.395	0.5393 ns
R. cuadrático	1	4.010	4.010	1.208	0.2878 ns
Biosilíce en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	0.540	0.540	0.163	0.6921 ns
R. cuadrático	1	0.380	0.380	0.114	0.7410 ns
Error	16	53.110	3.319		
Total	26	118.000			
C. V (%)	8.09				

La Tabla 3.2 muestra que las dosis de biosilíce, los ácidos húmicos y su interacción no tuvieron efectos significativos sobre el diámetro polar del repollo, indicando que los tratamientos evaluados no generaron diferencias en esta variable. Debido a ello, se consideró únicamente un análisis descriptivo. El coeficiente de variación ($CV = 8.09\%$) evidenció una precisión experimental aceptable. En el análisis de regresión, solo el modelo lineal fue significativo en ausencia de ácido húmico (0% AH), mientras que en 0.25% y 0.50% de AH los modelos lineal y cuadrático no mostraron significancia, confirmando la ausencia de una respuesta consistente del diámetro polar a las dosis de biosilíce.

Tabla 3.3

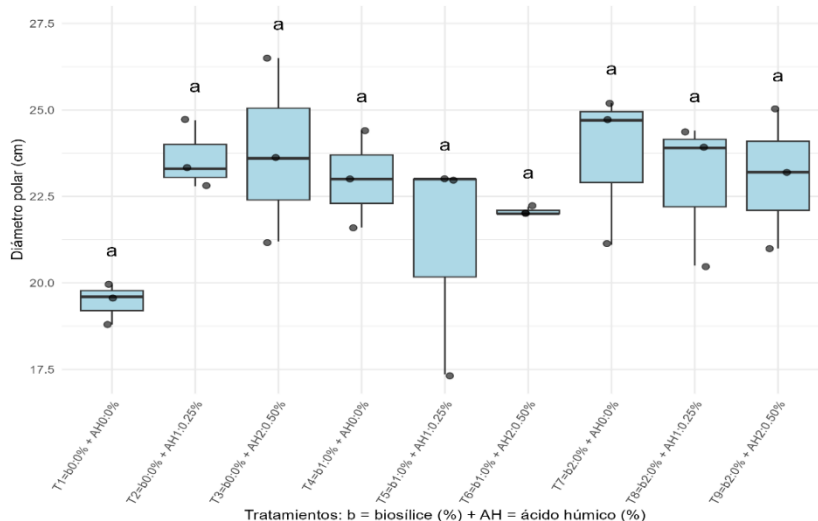
Análisis del diámetro polar de repollo, bajo efectos principales de dosis de biosilíce y ácidos húmicos.

Trat.	Promedio $\pm$ DE (cm)	Mín. (m)	Máx. (m)	Q25	Q50	Q75
T3	23.77 $\pm$ 2.66	21.20	26.50	22.40	23.60	25.05
T7	23.67 $\pm$ 2.24	21.10	25.20	22.90	24.70	24.95
T2	23.60 $\pm$ 0.98	22.80	24.70	23.05	23.30	24.00
T9	23.07 $\pm$ 2.00	21.00	25.00	22.10	23.20	24.10
T4	23.00 $\pm$ 1.40	21.60	24.40	22.30	23.00	23.70
T8	22.93 $\pm$ 2.12	20.50	24.40	22.20	23.90	24.15
T6	22.07 $\pm$ 0.12	22.00	22.20	22.00	22.00	22.10
T5	21.12 $\pm$ 3.26	17.35	23.00	20.18	23.00	23.00
T1	19.45 $\pm$ 0.59	18.80	19.95	19.20	19.60	19.78

Nota. DE: desviación estándar, Q25, Q50 y Q75 (cuartiles).

Figura 3.3

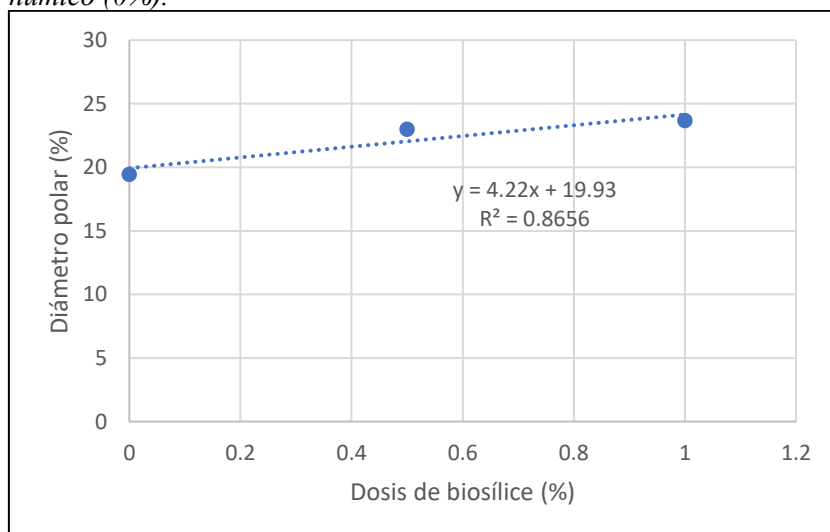
Boxplot del diámetro polar de repollo, bajo el efecto combinado de dosis de biosílice y ácido húmico.



El análisis descriptivo mostró que el tratamiento T3 (0% biosílice + 0.5% ácido húmico) alcanzó el mayor diámetro polar promedio (27.77 ± 2.66 cm), seguido de T2 y T7. Además, T2 presentó la mayor estabilidad y T5 la mayor variabilidad. El mejor desempeño de T3 podría atribuirse al efecto bioestimulante de los ácidos húmicos, que favorecen la disponibilidad y absorción de nutrientes, especialmente en suelos con pH ligeramente alcalino y bajo contenido de fósforo. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Telles et al. (2019), Canales-Almendares et al. (2024) y Mahmood y Al-Ubaidy (2019), quienes reportaron efectos positivos del silicio y los ácidos húmicos sobre el crecimiento y desarrollo del repollo. Sin embargo, las combinaciones de biosílice y ácido húmico (T2 y T7) mostraron menores diámetros polares, sugiriendo una interacción menos favorable bajo las condiciones del estudio.

Figura 3.4

Tendencia del diámetro polar de repollo, bajo el efecto de dosis de biosílice sin la aplicación de ácido húmico (0%).



La figura 3.4 evidenció una tendencia lineal positiva del diámetro de repollo frente a las dosis de biosílice, con un incremento estimado de 4.22 cm por cada unidad aplicada. Además, el modelo presentó un alto nivel de ajuste ($R^2 = 86.56\%$), explicando gran parte de la variabilidad observada.

Diámetro ecuatorial de repollo

Tabla 3.4

Análisis de varianza de diámetro ecuatorial de repollo, bajo el efecto de dosis de biosílíce y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	160.390	80.195	14.164	0.0003**
Biosílíce (B)	2	4.510	2.255	0.398	0.6778 ns
Ácidos húmicos (AH)	2	2.910	1.455	0.257	0.7765 ns
Interacción (B*AH)	4	35.360	8.840	1.561	0.2325 ns
Biosílíce en 0 % de AH					
R. lineal	1	15.750	15.750	2.782	0.1148 ns
R. cuadrático	1	2.980	2.980	0.526	0.4789 ns
Biosílíce en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	0.140	0.140	0.025	0.8792 ns
R. cuadrático	1	17.410	17.410	3.075	0.0987 ns
Biosílíce en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	1.600	1.600	0.283	0.6021 ns
R. cuadrático	1	0.400	0.400	0.071	0.7925 ns
Error	16	90.590	5.662		
Total	26	293.760			
C. V (%)	12.25				

La Tabla 3.4 muestra que las dosis de biosílíce, los ácidos húmicos y su interacción no influyeron significativamente en el diámetro ecuatorial del repollo. El coeficiente de variación (CV = 12.25%) indicó una variabilidad moderada y aceptable, mientras que el análisis de regresión confirmó la ausencia de respuesta del diámetro ecuatorial al incremento de biosílíce en todos los niveles de ácido húmico evaluados.

Tabla 3.5

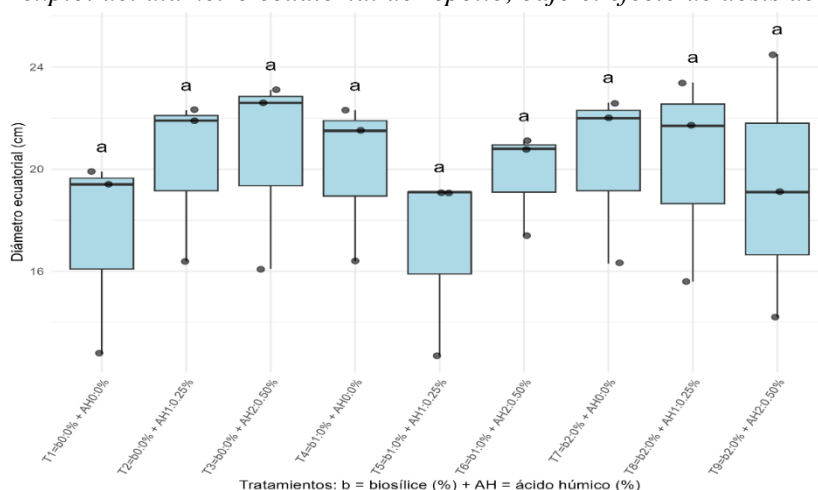
Análisis descriptivo del diámetro ecuatorial de repollo, bajo los efectos principales de dosis de biosílíce y ácidos húmicos.

Trat.	Promedio $\pm$ DE (cm)	Mín. (m)	Máx. (m)	Q25	Q50	Q75
T3	20.60 $\pm$ 3.91	16.1	23.1	19.35	22.60	22.85
T7	20.30 $\pm$ 3.47	16.3	22.6	19.15	22.00	22.30
T8	20.23 $\pm$ 4.10	15.6	23.4	18.65	21.70	22.55
T2	20.20 $\pm$ 3.30	16.4	22.3	19.15	21.90	22.10
T4	20.07 $\pm$ 3.20	16.4	22.3	18.95	21.50	21.90
T6	19.77 $\pm$ 2.06	17.4	21.1	19.10	20.80	20.95
T9	19.27 $\pm$ 5.12	14.2	24.5	16.65	19.10	21.80
T1	17.36 $\pm$ 3.97	12.78	19.9	16.09	19.40	19.65
T5	16.97 $\pm$ 3.70	12.7	19.1	15.90	19.10	19.10

Nota. DE: desviación estándar, Q25, Q50 y Q75 (cuartiles).

Figura 3.5

Boxplot del diámetro ecuatorial de repollo, bajo el efecto de dosis de biosílíce y ácidos húmicos



La Tabla 3.5 y Figura 3.5 muestran que el tratamiento T3 (0% biosíllice + 0.5% ácido húmico) presentó el mayor diámetro ecuatorial del repollo (20.60 ± 3.91 cm), mientras que T7, T8, T2 y T4 registraron valores similares. Por su parte, T6 destacó por su mayor uniformidad. El mejor desempeño de T3 podría atribuirse al efecto bioestimulante y quelante de los ácidos húmicos, en concordancia con los resultados de Canales-Almendares et al. (2024) y Mohammed y Al-Ubaidy (2019).

Tabla 3.6

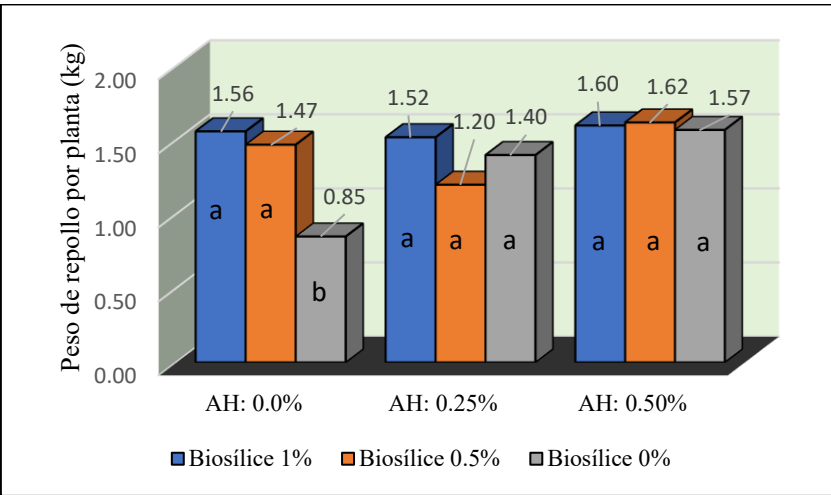
Análisis de varianza de peso fresco de repollo por planta, bajo el efecto de dosis de biosíllice y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	0.200	0.100	2.286	0.1308 ns
Biosíllice (B)	2	0.370	0.185	4.229	0.0322 *
Ácidos húmicos (A)	2	0.440	0.220	5.029	0.0201 *
Interacción (B*A)	4	0.690	0.173	3.943	0.0204 *
Biosíllice en 0 % de AH					
R. lineal	1	0.780	0.780	17.829	0.0006**
R. cuadrático	1	0.070	0.070	1.600	0.2164 ns
Biosíllice en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	0.030	0.030	0.686	0.4023 ns
R. cuadrático	1	0.240	0.240	5.486	0.0335*
Biosíllice en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	0.002	0.002	0.046	0.8324 ns
R. cuadrático	1	0.010	0.010	0.229	0.6818 ns
Error	16	0.700	0.044		
Total	26	2.400			
C. V (%)	14.68				

La Tabla 3.6 muestra que la biosíllice, los ácidos húmicos y su interacción influyeron significativamente en el peso fresco del repollo, evidenciando efectos individuales y combinados entre ambos factores. El coeficiente de variación ($CV = 14.68\%$) indicó una variabilidad moderada y aceptable. Además, el análisis de regresión reveló respuestas significativas a las dosis de biosíllice en 0% y 0.25% de ácido húmico, mientras que con 0.50% de ácido húmico el peso fresco presentó un comportamiento uniforme.

Figura 3.6

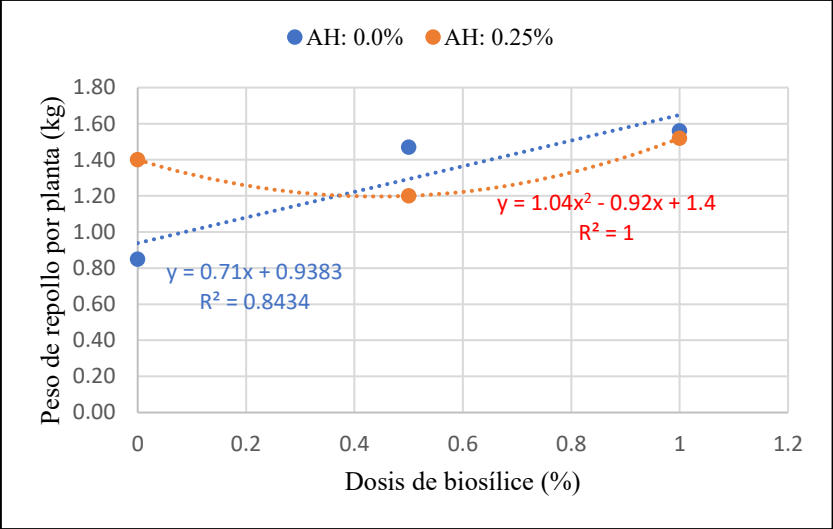
Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de peso fresco de repollo por planta, bajo los efectos simples de biosíllice en cada dosis de ácido húmico.



En la figura 3.6, la comparación de medias evidenció que el mayor peso fresco de repollo se obtuvo con la combinación de 0.50% de ácido húmico y 0.50% de biosíllice ($1.62 \text{ kg planta}^{-1}$), seguido por la aplicación de 1% de biosíllice sin ácido húmico ($1.56 \text{ kg planta}^{-1}$), que superó al testigo en 45.51%. Estos resultados sugieren un efecto favorable de ambos bioestimulantes sobre la acumulación de biomasa. Los incrementos observados pueden atribuirse a la capacidad

de los ácidos húmicos para mejorar la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo radicular, así como al papel de la biosílice en la eficiencia fotosintética y la tolerancia al estrés, tal como señalan Ampong et al. (2022), Constantinescu-Aruxandei et al. (2020) y Batistic et al. (2025). Asimismo, las condiciones del suelo de Canaán, con pH ligeramente alcalino y bajo contenido de fósforo, pudieron favorecer la acción de estos insumos, en concordancia con lo reportado por Canales-Almendares et al. (2024) y Sarkar et al. (2021).

Figura 3.7
Tendencia de peso fresco de repollo por planta, bajo el efecto de las dosis de biosílice con la aplicación de 0 y 0.25% de ácido húmicos.



En la Figura 3.7, con 0% de ácido húmico se observó una tendencia lineal positiva, indicando que el peso de repollo aumentó 0.71 kg por cada unidad de biosílice aplicada, con un modelo que explicó el 84.34% de la variabilidad. En contraste, con 0.25% de ácido húmico se presentó una tendencia cuadrática, evidenciando una disminución del peso a dosis intermedias de biosílice y un incremento posterior a dosis más altas.

Rendimiento comercial de repollo

Tabla 3.7
Análisis de varianza de rendimiento comercial de repollo, bajo el efecto de dosis de biosílice y ácidos húmicos.

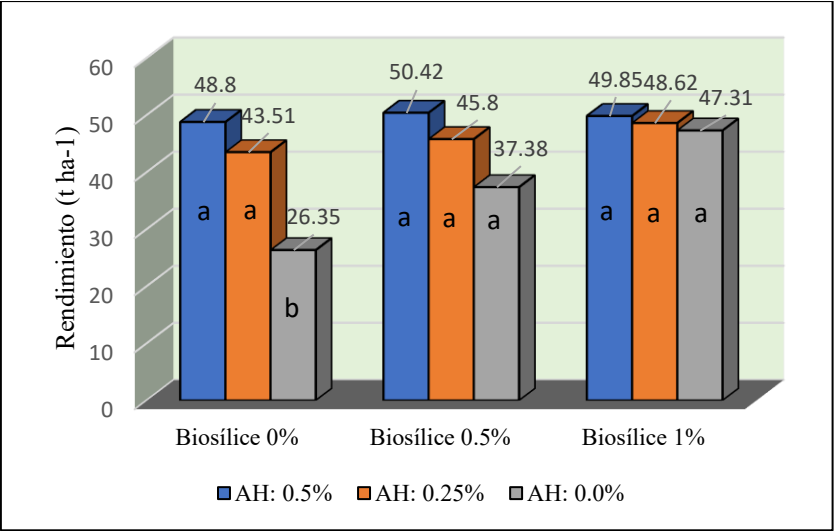
F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	198.010	99.005	2.333	0.1291 ns
Biosílice (B)	2	368.840	184.420	4.345	0.0311 *
Ácidos húmicos (A)	2	430.570	215.285	5.072	0.0197 *
Interacción (B*A)	4	667.420	166.855	3.931	0.0208 *
Biosílice en 0 % de AH					
R. lineal	1	755.550	755.550	17.801	0.0007**
R. cuadrático	1	70.530	70.530	1.662	0.2157 ns
Biosílice en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	32.110	32.110	0.757	0.3973 ns
R. cuadrático	1	230.120	230.120	5.422	0.0333*
Biosílice en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	2.280	2.280	0.054	0.8196 ns
R. cuadrático	1	7.400	7.400	0.174	0.6819 ns
Error	16	679.120	42.445		
Total	26	2343.960			
C. V (%)	14.73				

La Tabla 3.7 muestra que la biosílice, los ácidos húmicos y su interacción influyeron significativamente en el rendimiento comercial de repollo por hectárea, evidenciando que esta variable dependió del efecto combinado de ambos factores. En ausencia de ácido húmico (0%),

la biosilíce presentó una respuesta lineal significativa, con incrementos en el rendimiento a medida que aumentó la dosis. Con 0.25% de ácido húmico, la respuesta fue cuadrática, sugiriendo la existencia de una dosis óptima de biosilíce. En cambio, con 0.50% de ácido húmico no se observaron diferencias significativas. El coeficiente de variación ($CV = 14.73\%$) indicó una variabilidad moderada entre las unidades experimentales.

Figura 3.8

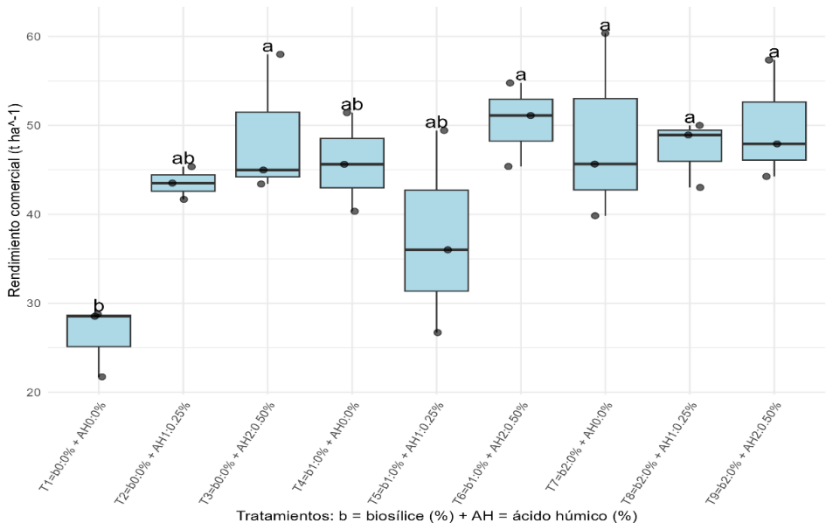
Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de rendimiento comercial de repollo, bajo los efectos simples de ácidos húmicos en cada dosis de biosilíce



En la Figura 3.8, los mayores rendimientos comerciales de repollo se obtuvieron con la aplicación de 0.5% de ácido húmico combinado con 0.5% de biosilíce, alcanzando 50.42 t ha^{-1} , seguido de 49.85 t ha^{-1} con 0.5% de ácido húmico y 1.0% de biosilíce. Asimismo, la aplicación de 0.5% de ácido húmico sin biosilíce incrementó el rendimiento en 46% respecto al testigo. Estos resultados sugieren un efecto favorable de la combinación de ambos bioestimulantes sobre la productividad del cultivo. Hallazgos similares han sido reportados por Wang et al. (2025), Roca-Molina (2024), Kunicki et al. (2024) y Juškevičienė et al. (2025), quienes observaron incrementos en el rendimiento con el uso de ácidos húmicos y silicio. El efecto positivo podría estar relacionado con una mayor disponibilidad de nutrientes, mejora de las condiciones del suelo y reducción del estrés vegetal, especialmente en las condiciones de Canaán, caracterizadas por bajo contenido de fósforo y materia orgánica.

Figura 3.9

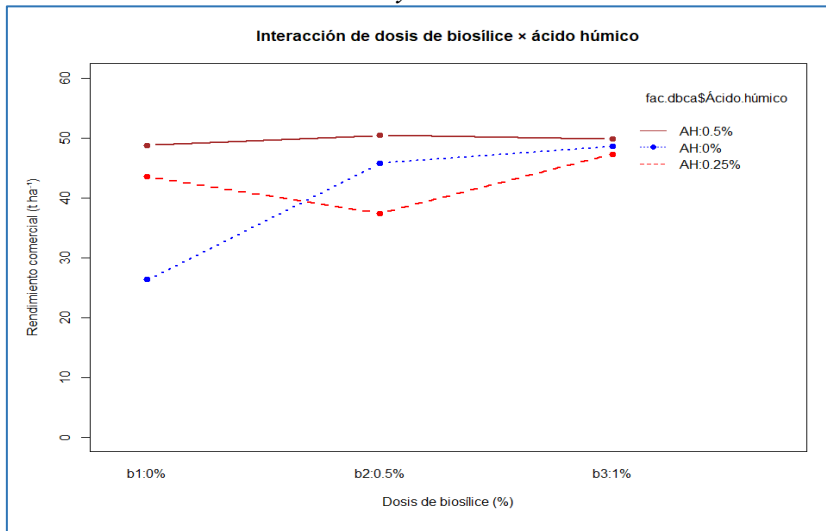
Boxplot del rendimiento comercial de repollo, bajo el efecto de biosilíce y ácido húmico



La Figura 3.9 muestra que el tratamiento T6 (0.5% de biosílíce + 0.5% de ácido húmico) alcanzó el mayor rendimiento y presentó una variabilidad moderada, evidenciando una respuesta más estable del cultivo y una mayor conveniencia agronómica. En contraste, los tratamientos T7 y T5 mostraron una mayor variación en sus resultados, reflejando una respuesta menos consistente del repollo bajo las condiciones del experimento.

Figura 3.10

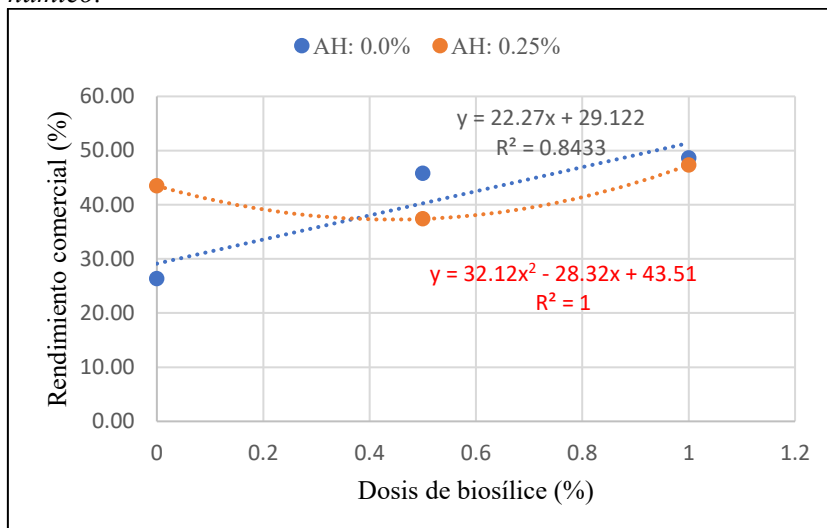
Interacción de dosis de biosílíce y ácido húmico en el rendimiento comercial de repollo.



La Figura 3.10 evidenció una interacción entre la biosílíce y los ácidos húmicos sobre el rendimiento comercial de la col, especialmente con 0.5% de biosílíce combinado con 0% y 0.25% de ácido húmico, corroborando los resultados obtenidos en el ANVA.

Figura 3.11

Tendencia del rendimiento comercial de repollo, bajo el efecto de biosílíce con 0% y 0.25% de ácido húmico.



La Figura 3.11 mostró una tendencia lineal positiva del rendimiento comercial con 0% de ácido húmico, indicando un incremento del rendimiento a medida que aumentó la dosis de biosílíce, con un modelo que explicó el 84.33% de la variabilidad. En cambio, con 0.25% de ácido húmico se observó una tendencia cuadrática, evidenciando una disminución del rendimiento a dosis intermedias de biosílíce y un incremento posterior a dosis más altas.

Cobertura foliar de repollo

Tabla 3.8

Análisis de varianza de cobertura foliar de repollo, bajo efecto de dosis de biosílice y ácidos húmicos.

F. Variación	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	2	164.100	82.050	1.870	0.1864 ns
Biosílice (B)	2	228.100	114.050	2.599	0.1054 ns
Ácidos húmicos (AH)	2	29.730	14.865	0.339	0.7177 ns
Interacción (B*AH)	4	315.630	78.908	1.798	0.1786 ns
Biosílice en 0 % de AH					
R. lineal	1	184.370	184.370	4.201	0.0572 ns
R. cuadrático	1	26.840	26.840	0.612	0.4456 ns
Biosílice en 0.25 % de AH					
R. lineal	1	11.290	11.290	0.257	0.6190 ns
R. cuadrático	1	53.840	53.840	1.227	0.2844 ns
Biosílice en 0.50 % de AH					
R. lineal	1	31.790	31.790	0.724	0.4073 ns
R. cuadrático	1	37.240	37.240	0.849	0.3707 ns
Error	16	702.210	43.888		
Total	26	1439.770			
C. V (%)	13.43				

La Tabla 3.8 muestra que la biosílice, los ácidos húmicos y su interacción no tuvieron efectos significativos sobre la cobertura foliar del repollo, evidenciando una respuesta similar entre tratamientos. El coeficiente de variación (CV = 13.43%) indicó una variabilidad moderada y aceptable. Asimismo, el análisis de regresión reveló que los modelos lineal y cuadrático no fueron significativos en ninguno de los niveles de ácido húmico evaluados, confirmando la ausencia de respuesta de la cobertura foliar a las dosis de biosílice.

Tabla 3.9

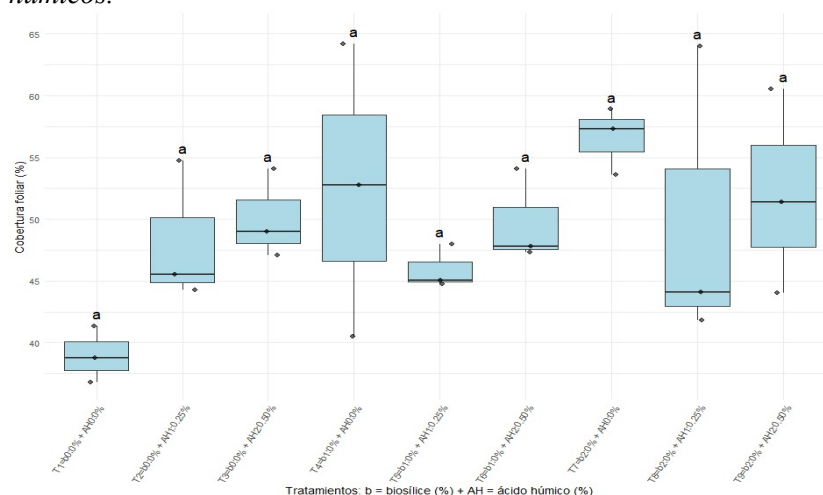
Análisis descriptivo de cobertura foliar de repollo, bajo efecto de dosis de biosílice y ácidos húmicos.

Trat.	Promedio ± DE (%)	Mín. (m)	Máx. (m)	Q25	Q50	Q75
T7	56.60 ± 2.72	53.60	58.91	55.45	57.29	58.10
T4	52.49 ± 11.84	40.53	64.20	46.64	52.74	58.47
T9	51.99 ± 8.27	44.03	60.54	47.73	51.42	55.98
T3	50.06 ± 3.61	47.10	54.08	48.06	49.01	51.55
T8	49.98 ± 12.20	41.84	64.01	42.97	44.10	54.06
T6	49.74 ± 3.77	47.33	54.09	47.58	47.82	50.96
T2	48.18 ± 5.72	44.25	54.75	44.90	45.55	50.15
T5	45.93 ± 1.77	44.75	47.97	44.91	45.07	46.52
T1	38.97 ± 2.29	36.78	41.36	37.79	38.79	40.08

Nota. DE: desviación estándar, Q25, Q50 y Q75 (cuartiles).

Figura 3.12

Boxplot de cobertura foliar de repollo, bajo los efectos principales de dosis de biosílice y ácidos húmicos.

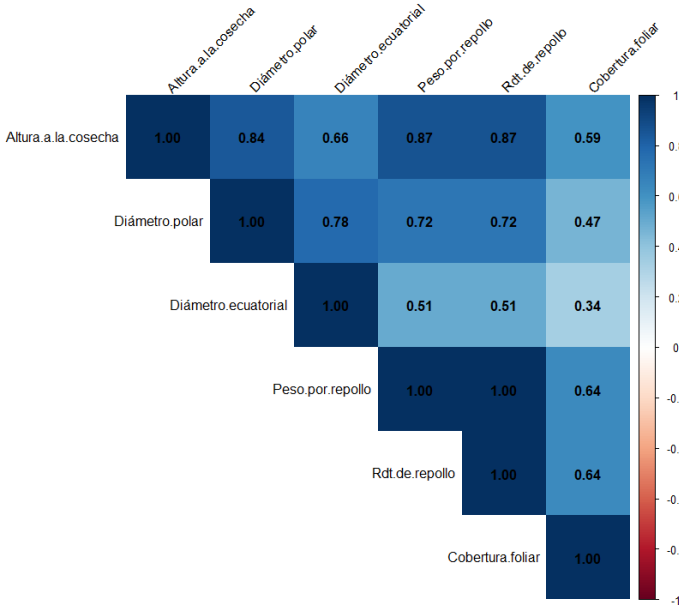


La Tabla 3.9 y Figura 3.12 muestran que los tratamientos T7 (1% biosílíce + 0% AH), T4 (0.5% biosílíce + 0% AH), T9 (1% biosílíce + 0.5% AH) y T3 (0% biosílíce + 0.5% AH) alcanzaron los mayores porcentajes de cobertura foliar, destacando T7, T9 y T3 por su mayor estabilidad. En contraste, el testigo (T1) presentó la menor cobertura foliar, lo que sugiere un efecto favorable de la biosílíce y los ácidos húmicos sobre esta variable. Los rangos intercuartílicos confirmaron una mayor estabilidad en T7 y mayor variabilidad en T4 y T8. Estos resultados coinciden con lo reportado por Aguilar-Ariza et al. (2023) y Shen et al. (2024), quienes señalaron que una mayor cobertura foliar se relaciona estrechamente con un mejor rendimiento del cultivo.

Correlación de las variables

Figura 3.13

Valores de los coeficientes de correlación Pearson de las variables.



La Figura 3.13 muestra correlaciones positivas entre las variables de crecimiento y rendimiento del repollo. Destacan las altas asociaciones de la altura de planta con el diámetro polar ($r = 0.84$), el peso de repollo ($r = 0.87$) y el rendimiento ($r = 0.87$), indicando que un mayor desarrollo vegetativo se relaciona con una mayor productividad. Asimismo, el diámetro polar se correlacionó positivamente con el diámetro ecuatorial, el peso y el rendimiento. Por otro lado, la cobertura foliar presentó una correlación positiva con el rendimiento ($r = 0.64$), lo que respalda su utilidad como indicador de productividad en agricultura de precisión.

Rentabilidad económica

Tabla 3.10

Rentabilidad económica financiera porcentaje de rentabilidad.

Trt	Descripción	Núm. repollos/ha	Precio Unitario (s/.)	Costo de prod. (S/.)	Valor bruto de prod. (S/xha)	Valor neto de prod. (S/ x ha)	Rentabilidad (%)
T6	0.5 % biosílíce + 0.50 % ácido húmicos	31123	1.10	14733.6	34235.3	19501.7	132.4
T4	0.5 % biosílíce + 0 % ácido húmicos	31156	1.00	14434.0	31156.0	16722.0	115.9
T7	1.0 % biosílíce + 0 % ácido húmicos	31167	1.00	14583.8	31167.0	16583.2	113.7
T8	1.0 % biosílíce + 0.25 % ácido húmicos	31125	1.00	14626.6	31125.0	16498.4	112.8
T9	1.0 % biosílíce + 0.50 % ácido húmicos	31156	1.00	14669.4	31156.0	16486.6	112.4
T5	0.5 % biosílíce + 0.25 % ácido húmicos	31150	0.90	14155.8	28035.0	13879.2	98.0
T2	0% biosílíce + 0.25 % ácido húmicos	31079	0.90	14327.0	27971.1	13644.1	95.2
T3	0% biosílíce + 0.50 % ácido húmicos	31083	0.90	14583.8	27974.7	13390.9	91.8
T1	0% biosílíce + 0 % ácido húmicos	31000	0.80	13856.2	24800.0	10943.8	79.0

La Tabla 3.10 muestra que la rentabilidad de los tratamientos estuvo determinada principalmente por el rendimiento obtenido y, en menor medida, por los costos de producción.

El tratamiento T6 (0.5% biosílice + 0.5% ácido húmico) presentó la mayor rentabilidad (132.4%), con un rendimiento de 31 123 unidades ha⁻¹ y un valor neto de S/ 19 501.7, lo que equivale a una ganancia de S/ 1.32 por cada sol invertido. En contraste, el testigo (T1) registró la menor rentabilidad (79.0%). Estos resultados coinciden con estudios de Telles et al. (2019), Sarkar et al. (2021) y Fan et al. (2022), quienes reportaron mejoras en el rendimiento y los beneficios económicos mediante el uso de silicio y estrategias de bioestimulación en cultivos de repollo.

IV. CONCLUSIONES

1. Las dosis aplicadas de biosílice influyen significativamente en el rendimiento comercial y peso de repollo por planta de col, evidenciando incrementos sustanciales en comparación con el testigo. Con 1% de biosílice en ausencia de ácido húmicos se logró incremento de 45.51% en peso de repollo respecto al testigo. Asimismo, con 0.5% de biosílice combinado con 0.5% de ácido húmico se logró encontrar el mayor rendimiento de 50.42 t ha⁻¹.
2. Los ácidos húmicos mostraron efecto significativo principalmente en el peso por planta y rendimiento comercial, destacando una dosis de 0.5%, lo cual permitió alcanzar 48.8 t ha⁻¹ de rendimiento en ausencia de biosílice. Además, en altura de la planta, se registraron incrementos notables con 0.25% de ácido húmico sin biosílice, equivalente a incremento de 26.16% respecto al testigo.
3. En la rentabilidad económica, con el tratamiento T6 (0.5% biosílice + 0.5% ácido húmico) alcanzó la mayor rentabilidad comercial de 132.4%, con un valor neto de S/ 19,501.7 y un costo de producción de S/ 14,733.6.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Ariza, A., Ishii, M., Miyazaki, T., Saito, A., Khaing, H. P., Phoo, H. W., Kondo, T., Fujiwara, T., Guo, W., & Kamiya, T. (2023). Predicción del peso individual de la col china mediante drones utilizando datos multitemporales. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47431-y>
- Al-Zahrani, M. Z., Al-Moshileh, A. M., & Al-Solaimani, S. G. (2021). Production of Cabbage (Brassica Oleracea L.) Efectos del ácido húmico y del fertilizante NPK complejo. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 10(4). <https://doi.org/10.17577/IJERTV10IS040280>
- Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Comprender el papel de los ácidos húmicos en el rendimiento de los cultivos y la salud del suelo. *Frontiers in Agronomy*, 4. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Añibarro-Ortega, M., Pereira, A., Pinela, J., Liava, V., Chaski, C., Alexopoulos, A. A., Barros, L., & Petropoulos, S. A. (2025). Mejora del crecimiento y la calidad del tomate bajo riego deficitario mediante la aplicación de silicio. *Agronomy*, 15(3), 682. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030682>
- Batistic, L., Bohinc, T., Novljan, M., Indihar, E., Košir, I. J., Šilc, U., Horvat, A., & Trdan, S. (2025). Control de plagas de repollo con polvos inertes locales: ¿La tierra de diatomeas y la ceniza de madera tienen el mayor potencial. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science*, 75(1). <https://doi.org/10.1080/09064710.2025.2466448>
- Baca-Lujan, E. E. (2017). Influencia de los ácidos húmicos y fúlvicos en el crecimiento y desarrollo en betarraga (*Beta vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. <https://repositorio.upao.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/7b1b96c6-200e-f7ab-e050-010a1c030756/content>
- Canales-Almendares, J. E., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Juárez-Maldonado, A., Francisco-Francisco, N., Canales-Almendares, J. E., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Juárez-Maldonado, A., & Francisco-Francisco, N. (2024). Impacto de los ácidos húmicos y el

- quitosano en la composición iónica de la solución del suelo y el contenido nutricional de la col (*Brassica oleracea* L.) Under Greenhouse. *Terra Latinoamericana*, 42. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1785>
- Cartagena-Gamboa, Y. (2025). *Biosílíce foliar y levadura de panificación al suelo en el rendimiento de cebolla (Allium cepa L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/97d43ee5-7080-42a9-934e-ce0b08dc024e>
- Constantinescu-Aruxandei, D., Lupu, C., & Oancea, F. (2020). Nanomateriales naturales silíceos como biorracionales: protectores vegetales y potenciadores de la salud de las plantas. *Agronomy*, 10(11), 1791. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111791>
- Díaz-Juárez, C. A. (2021). Evaluación del crecimiento de hortalizas de lechuga (*lactuca sativa* L.) y pepino (*cucumis sativus* L.) utilizando ácido húmico y humus orgánico proveniente de la pila de composta. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4135>
- Fan, D., Wang, X., Song, D., Shi, Y., Chen, Y., Wang, J., Cao, B., Zou, G., & He, W. (2022). Optimización del manejo del nitrógeno para mitigar las pérdidas gaseosas y mejorar los beneficios netos de un sistema de cultivo de col china a cielo abierto. *Journal of Environmental Management*, 318, 115583. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115583>
- Greer, S. F., Surendran, A., Grant, M., & Lillywhite, R. (2023). Situación actual, retos y perspectivas de futuro para el manejo de las enfermedades de las brasicáceas. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1209258. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1209258>
- Hafez, E. M., Osman, H. S., Gawayed, S. M., Okasha, S. A., Omara, A. E.-D., Sami, R., Abd, A. M., & Usama A. Abd El-Razek. (2021). Minimizar los efectos adversos del déficit hídrico y la salinidad del suelo sobre el crecimiento y la productividad del maíz mediante la aplicación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y nanopartículas de sílice. *Agronomy*, 11(4), 676–676. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040676>
- Ibrahim, E. A., Ebrahim, N. E. S., & Mohamed, G. Z. (2024). Mitigación del estrés hídrico en el brócoli mediante la aplicación de ácido húmico al suelo. *Scientific Reports*, 14(1), 2765. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53012-4>
- Juškevičienė, D., Radzevičius, A., Karklelienė, R., Juškevičienė, D., Radzevičius, A., & Karklelienė, R. (2025). Efecto de los bioestimulantes sobre la productividad y el valor nutricional de la col blanca (*Brassica oleracea* L. var. Capitata). *Horticulturae*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/horticulturae11091020>
- Kunicki, E., Capecka, E., Wojciechowicz-Żytka, E., Kunicki, E., Capecka, E., & Wojciechowicz-Żytka, E. (2024). Efecto de determinados bioestimulantes en el rendimiento de la col blanca. *Agriculture*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/agriculture14101700>
- Mahmood, M., & Al-Ubaidy, R. (2019a). Influencia de los fertilizantes químicos y la pulverización foliar con ácido húmico en el crecimiento y el rendimiento de la col lombarda. *Biochemical and Cellular Archives*, 19.
- Ma, Y., Cheng, X., & Zhang, Y. (2024). El impacto de los fertilizantes de ácido húmico en el rendimiento de los cultivos y la eficiencia en el uso del nitrógeno: un metaanálisis. *Agronomy*, 14(12), 2763–2763. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122763>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDRAGRI], (2022). Datos agrícolas 2021. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-diarios?download=1639:agricola-2021>
- Pillaca-Quispe, L. (2024). *Tres dosis de humato y biosílíce foliar en el contenido de clorofila y rendimiento de aguaymanto (Physalis peruviana L.), Ayacucho-2019*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/a77eb602-0e89-4ad7-9511-c98419440655>
- Roca-Molina, G. A. (2024). *Niveles de biosílíce, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad de tomate cherry (Lycopersicum esculentum) var. cerasiforme. Ayacucho-2022*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/cb67c2f8-5ea9-497d-bd3e-1a60ec4e9bdb>
- Sarkar, D., Sankar, A., Devika, O. S., Singh, S., Shikha, Parihar, M., Rakshit, A., Sayyed, R. Z., Gafur, A., Ansari, M. J., Danish, S., Fahad, S., & Datta, R. (2021). Optimización de la eficiencia en el uso de nutrientes, la productividad, la energética y la economía de la col lombarda tras la

- fertilización mineral y el biocebado con microorganismos rizosféricos compatibles. *Scientific Reports*, 11(1), 15680. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95092-6>
- Simundic, A.-M. (2012). Recomendaciones prácticas para el análisis estadístico y la presentación de datos en la revista *Biochemia Medica*. *Biochemia Medica*, 15–23. <https://doi.org/10.11613/bm.2012.003>
- Shen, Y., Zhou, H., Yang, X., Lu, X., Guo, Z., Jiang, L., He, Y., & Cen, H. (2024). Fenotipado de biomasa de colza mediante imágenes oblicuas multivista con UAV utilizando 3DGS y el modelo SAM. ArXiv.org. <https://arxiv.org/abs/2411.08453?utm>
- Telles, C. C., Freitas, L. M. de, Junqueira, A. M. R., & Mendonça, R. S. de. (2019). Aplicación de silicio como método auxiliar para controlar la polilla del repollo en plantas de repollo. *Horticultura Brasileira*, 37, 390-394. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190405>
- Vásquez, E. J. Z., Melgar, J. R. T., & Platero, A. A. A. (2020). Zonificación agroclimática de los cultivos de fresa (*Fragaria chiloensis* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y repollo (*Brassica oleracea* var. *Capitata* L.) en el departamento de Chalatenango, El Salvador. *Revista Agrociencia*, 3(15), 87-98.
- Wang, C., Lu, Y., Song, L., Wang, J., Zhu, Y., Ma, J., & Zheng, J. (2025). Efectos combinados del calentamiento del riego, la aireación y el ácido húmico sobre el rendimiento, la calidad y las emisiones de gases de efecto invernadero en el procesamiento de tomates en Xinjiang. *Agronomy*, 15(6), 1353. <https://doi.org/10.3390/agronomy15061353>
- Xu, T., Ke, J., Wang, Y., Zhang, Y., Xi, J., Wei, X., Ma, Y., & Lin, Y. (2024). La fertilización con silicio mejora la estructura de la comunidad microbiana de la rizosfera del girasol y reduce el parasitismo causado por *Orobanche cumana* Wallr. *Agronomy*, 14(6), 1312. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061312>
- Zavarzina, A., Davydova, I., Kulikova, N., Anastasiya Nikolaeva, & Philippova, O. (2025). La extracción alcalina en presencia de aire mejora las actividades antioxidantes y biológicas de los ácidos húmicos. *Agronomy*, 15(3), 689–689. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030689>