

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



TESIS:

**Biosílíce foliar y levadura de panificación al suelo en el rendimiento
de cebolla (*Allium cepa* L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023**

**Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
Bach. Yober CARTAGENA GAMBOA**

**ASESORA:
Ph.D. Marhleni CERDA GÓMEZ**

AYACUCHO - PERÚ

2025

*A Dios por haberme guiado, acompañado
y darme valor para culminar mi carrera.*

*A mis padres quienes fueron mi apoyo
incondicional en mi formación profesional.*

*Con admiración y cariño a mis hermanos; Marile,
Freyzer, Naysha por el apoyo incondicional que me
dieron en mi formación personal y profesional*

Yober C.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma mater de mi formación profesional, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Agronomía, por haberme formado académicamente y en valores.

A la Ph.D. Marhleni Cerda Gómez, docente de la Escuela Profesional de Agronomía de la Facultad de Ciencias Agrarias, por su asesoramiento, apoyo y enseñanza durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A los miembros del Jurado Dr. Rolando Bautista Gómez, Ing. Edgar Tenorio Mancilla y M.Sc. Alex L. Tineo Bermúdez por sus aportes en la realización de este trabajo de investigación.

Al Centro Experimental Canaán por facilitarme una parcela para la ejecución de mi investigación, el cual fue primordial para mi formación profesional.

.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Antecedentes de la investigación.....	3
1.2. Cultivo de cebolla	5
1.2.1. Clasificación taxonómica	5
1.2.2. Importancia de la cebolla	6
1.2.3. Descripción botánica.....	6
1.2.4. Requerimientos edafoclimáticos	7
1.2.5. Fenología de la cebolla	8
1.2.6. Nutrición de la cebolla	8
1.3. Bioestimulantes	11
1.4. Levadura en la agricultura.....	11

1.5. Silicio en la agricultura	12
1.5.1. Diatomita.....	12
1.5.2. Diatomitas en Ayacucho	13
1.6. Fertilización foliar.....	14
1.6.1. Mecanismos de absorción de nutrientes	14
1.6.2. Factores que afectan la fertilización foliar	15
1.6.3. Principales fuentes de fertilizantes foliares.....	16
CAPÍTULO II.....	5
METODOLOGÍA.....	5
2.1. Ubicación.....	5
2.2. Características del suelo	5
2.3. Características climatológicas.....	20
2.4. Diatomita o Biosílíce	23
2.5. Material biológico	23
2.6. Diseño experimental y Análisis estadístico	24
2.7. Factores de estudio	24
2.8. Tratamientos	24
2.9. Características de campo experimental	25
2.10. Instalación y conducción del experimento.....	26
2.11. Parámetros de evaluación	29
CAPÍTULO III	31

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.1. Altura de planta	31
3.2. Número de hojas por planta	33
3.3. Longitud de raíz	35
3.4. Peso de bulbo	38
3.5. Materia seca de bulbo	40
3.6. Diámetro de bulbo	42
3.7. Longitud de bulbo	44
3.8. Peso fresco total	46
3.9. Materia seca total	48
3.10. Rendimiento total de bulbos	49
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Absorción de nutrientes por la cebolla variedad Alvara.....	9
Tabla 1.2. Análisis químicos de los yacimientos de Tambillo, Quicapata y La Moya.....	14
Tabla 1.3. Valores de referencia del tiempo de absorción de elementos vía foliar.	16
Tabla 1.4. Fuentes de fertilizantes foliares.....	17
Tabla 2.1. Análisis de caracterización de suelo del C.E. Canaán- UNSCH.....	19
Tabla 2.2. Temperatura máxima, mínima, media, precipitación y balance hídrico de la campaña agrícola 2023 de la Estación Meteorológica INIA-AYACUCHO	21
Tabla 2.3. Análisis químico del biosílice obtenido del yacimiento de Quicapata.....	23
Tabla 2.4. Descripción de los tratamientos.	25
Tabla 3.1. Análisis de varianza de altura de planta de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	31
Tabla 3.2. Análisis de varianza de número de hojas por planta de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm...	33
Tabla 3.3. Análisis de varianza de longitud de raíz de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	35
Tabla 3.4. Análisis de varianza de peso de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	38
Tabla 3.5. Análisis de varianza de materia seca de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	40

Tabla 3.6.	Análisis de varianza de diámetro de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	42
Tabla 3.7.	Análisis de varianza de longitud de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	44
Tabla 3.8.	Análisis de varianza de peso fresco total de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	46
Tabla 3.9.	Análisis de varianza de materia seca total de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	48
Tabla 3.10.	Análisis de varianza de rendimiento total de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Curva de absorción de macronutrientes por la cebolla variedad Alfa tropical. ...	10
Figura 1.2. Curva de absorción de micronutrientes por la cebolla variedad alfa tropical.....	10
Figura 2.1. Temperatura máxima, mínima, media, precipitación y balance hídrico correspondiente a la campaña agrícola 2023 de la Estación Meteorológica INIA-AYACUCHO	22
Figura 2.2. Croquis de los tratamientos en el campo experimental	26
Figura 2.3. Croquis de los tratamientos en el campo experimental	26
Figura 3.1. Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de niveles de biosílíce foliar al suelo en altura de planta. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	32
Figura 3.2. Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de niveles de biosílíce foliar en número de hojas por planta. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.....	34
Figura 3.3. Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo en longitud de raíz. Canaán-Ayacucho 2750 msnm. ...	36
Figura 3.4. Prueba de Tukey (0.05) de los efectos simples por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo en peso de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	39
Figura 3.5. Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo en materia seca de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	41
Figura 3.6. Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo en diámetro de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	43

Figura 3.7. Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo en longitud de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	45
Figura 3.8. Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo en peso fresco total de la cebolla. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	47
Figura 3.9. Tendencia del rendimiento total de bulbos de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.	50

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Panel fotográfico durante la fase experimental	66
Anexo 2. Matriz de resultados de la evaluación de los parámetros estudiados.....	73
Anexo 3. Análisis de caracterización de suelo del C.E. Canaán-UNSCH.....	74

RESUMEN

La investigación se desarrolló durante la campaña 2023, en el Centro Experimental Canaán, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, con el objetivo de evaluar el efecto de niveles de biosílíce foliar (0, 0.5 y 1 % p/v) y levadura de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*) en dos niveles (0, 1% p/v) al suelo, en parámetros de producción y rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), variedad roja arequipeña. Los tratamientos corresponden a un arreglo factorial de 3 niveles de biosílíce foliar y 2 de levadura de pan al suelo, con tres repeticiones haciendo un total de 18 unidades experimentales, dispuestos en el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). Los resultados muestran que la aplicación foliar de 1% (p/v) de biosílíce junto a 1% (p/v) de levadura de panificación al suelo, interactúan significativamente para aumentar el peso de bulbo (236.48 g) y rendimiento total (98534.7 kg ha⁻¹) del cultivo. La mayor longitud de raíz, bulbo y materia seca de bulbo fueron obtenidos tras aplicar 1% (p/v) de levadura de panificación al suelo. Dosis de 1% (p/v) de biosílíce foliar aumentó la altura de planta, número de hojas por planta, diámetro de bulbo y peso fresco total.

Palabras clave: *Saccharomyces cerevisiae*, levadura, biosílíce, foliar

INTRODUCCIÓN

La cebolla es una planta perteneciente a la familia Alliaceae, clasificada como *Allium cepa* L (Enciso et al., 2019). Es ampliamente extendida, con gran número de variedades adaptadas a diferentes condiciones climáticas (MIFIC, 2008), en Perú se cultiva en valles de costa e interandinos, con una superficie de 13 322 hectáreas el 2022 alcanzó una producción nacional de 515 378 toneladas, siendo Arequipa la de mayor producción (306 060 t), con rendimiento promedio nacional de 38 687 kg ha⁻¹, en tanto Ayacucho consigue una producción promedio de 1787 t, con rendimiento de 9164 kg ha⁻¹ (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2024). La producción de cebolla, normalmente implica el uso desmedido de fertilizantes sintéticos, con consecuencias negativas en términos de desequilibrios nutricionales, biodiversidad microbiana del suelo y contaminación ambiental. Alternativamente crece el uso de compuestos orgánicos, organismos fijadores, solubilizadores o los que ayuden a aumentar la eficiencia de uso de fertilizantes aplicados, contribuyendo a disminuir el uso de fuentes inorgánicas (Rouphael y Colla, 2020). Según Arteaga (2022) el uso de bioestimulantes contribuye a aumentar el rendimiento de cultivos. Las levaduras muestran potencial como agentes biológicos para la promoción del crecimiento de las plantas y el manejo de enfermedades postcosecha en prácticas agrícolas sustentables (Mukherjee et al., 2020). Se han considerado como promotores de crecimiento por su influencia en la citoquinina, influye en la síntesis de proteínas y vitaminas especialmente del complejo B (Hassanain et al., 2018). En condiciones hidropónicas se demostró la rizofagia en lechuga (Ameer y Hussein, 2020). De otro lado el silicio, ampliamente investigado por su efecto fundamental en el crecimiento y rendimiento de los cultivos en diferentes situaciones de estrés (Raya et al., 2022). Influye mejorando la actividad fotosintética por el incremento del contenido de clorofila (Abdelaal et al., 2020). Consideraciones que permitieron plantear el uso de niveles crecientes de biosílice foliar y levadura de panificación

(*Saccharomyces cerevisiae*) al suelo, en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) y evaluar su efecto en el rendimiento en Canaán con los objetivos siguientes:

Objetivo principal

Evaluar el efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*) al suelo, en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), en Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023.

Objetivos específicos

1. Evaluar la influencia de niveles de biosílíce foliar en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), en Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023.
2. Evaluar la influencia de niveles de levadura de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*) al suelo, en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), en Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023.
3. Encontrar el nivel de biosílíce y levadura de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*) de mayor influencia en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), en Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Kahlel (2015) observó que aplicar una mezcla de abono orgánico, específicamente estiércol de ave (40 t ha^{-1}), junto a una solución de fertilizante y levadura ($0, 4 \text{ y } 8 \text{ g L}^{-1}$) al suelo en plantas de papa, suscitó un mayor crecimiento vegetativo y rendimiento. Concluyendo que la dosis más alta de levadura fomentó significativamente al incremento del número de tubérculos por planta, al peso promedio de tubérculos y al rendimiento total.

Hassan et al. (2019) encontró que la aplicación de 4 g L^{-1} de levadura y 18 ml L^{-1} de ácidos húmicos permitió mayor crecimiento y rendimiento de haba.

Jaramillo (2019) estudió el efecto de una materia orgánica líquida subproducto de la producción de la levadura de pan en 3 cultivos diferentes (Rosas, arroz y banano) y en 3 lugares distintos de Colombia. Tras aplicar 3 dosis al suelo: $120, 200 \text{ y } 400 \text{ L/ha/ciclo}$, se observaron resultados beneficiosos en las raíces y un incremento en la producción y calidad del fruto.

Hassan et al. (2023) aplicaron ácido húmico al suelo ($0, 10, 20 \text{ kg ha}^{-1}$) y levadura de pan ($0, 6, 12, 18, 24 \text{ g L}^{-1}$) a las hojas de tomate, concluyen que las aplicaciones de 10 kg ha^{-1} de ácido húmico y 18 g L^{-1} de levadura de pan, influenciaron sustancialmente en el aumento de frutos por racimo, peso de fruto, número de frutos por planta, diámetro de frutos, longitud de frutos, volumen de frutos y rendimiento.

Raya et al. (2022) aplicando dosis foliares de diatomita ($0.5, 1, 1.5 \%$) a plantas de girasol, en tres momentos ($7, 14, 21 \text{ días}$), encontró que la dosis de 1% aplicada cada 7 días generó el mayor rendimiento de grano, y la misma dosis aplicada cada 14 días provocó la mayor producción de materia seca total.

Basirat y Mousavi (2022) tras aplicar silicio en 2 concentraciones (0 y 4 partes por mil) y 3 dosis de ácido salícico (0, 0.5 y 1 mg L⁻¹) a plantas de pepino en condiciones de alta temperatura., encontraron que la mayor dosis de silicio foliar generó mayor rendimiento total y fruto comercial.

Aurangzaib et al. (2022) aplicando 3 dosis de silicato de potasio (1, 2 y 3 %) al follaje de trigo, en condiciones de sequía, reportó que el uso de 2% de silicato de potasio redujo sustancialmente los daños causados de la sequía, aumentó el contenido de clorofila, altura de planta, número de macollos, número de granos por espiga, peso seco total y el rendimiento de grano.

1.2. Cultivo de cebolla

La cebolla es una planta perteneciente a la familia Alliaceae, clasificada como *Allium cepa* L., que su origen radica en Asia central, en la región situada entre Afganistán, India e Irán. No obstante, según Cristancho et al. (1990) el origen de esta hortaliza es incierto, debido a que se estuvo consumiendo desde el año 2300 A.C., encontrándose en las pirámides de Egipto inscripciones de algunos albañiles que la comían. Posteriormente su cultivo se extendió por Europa, de donde pasó a América. En el Perú predominan las variedades de cebolla roja arequipeña y roja americana, siendo Arequipa la de mayor producción; mientras tanto la cebolla blanca se cultiva en valles de Ica, Lima, Ancash, y La Libertad, los cuales tienen como destino mercados del exterior (MIDAGRI, 2021). La cebolla es una planta bianual, en la etapa vegetativa que se da en el primer año se origina la formación del bulbo. En la segunda etapa, a partir del bulbo, la cebolla florece y produce semillas (Enciso et al., 2019).

1.2.1. Clasificación taxonómica

Según Brewster (2008), citado por Sánchez (2020), la cebolla tiene la siguiente clasificación taxonómica:

División : Fanerógama

Subdivisión : Angiospermas

Clase : Monocotiledóneas

Orden : Asparagales
Familia : Alliaceae
Tribu : Alliae
Género : Allium
Especie : *Allium cepa* L.

1.2.2. Importancia de la cebolla

La producción de cebolla es una fuente de mano de obra y empleo en el sector agrícola, lo que genera un mejor desarrollo económico de las comunidades rurales. En el transcurso del proceso productivo se requiere un promedio de 180 jornales por hectárea (MIDAGRI, 2021). Debido a que la cebolla es la hortaliza más consumida por la población, alcanzando un consumo per cápita al año de 11 kg (INEI, 2012).

Fornaris (2012) menciona que el bulbo se utiliza como alimento y condimento, debido a su buen sabor, olor y textura. Además, es muy importante por su aporte de potasio, ya que 100 gramos de cebolla aportan 157 miligramos de potasio. Asimismo, se le atribuyen propiedades de efecto antioxidante, antiinflamatorio, antimicrobiano y diurético, debido a que es fuente de vitamina A, vitamina C, tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina y ácido fólico (MIDAGRI, 2021).

1.2.3. Descripción botánica

Raíz. Las raíces de la cebolla son fasciculadas y poco profundos, por lo que esta planta necesita una buena fuente de agua. Además, la labranza no requiere una profundidad de más de 30 cm (Galindo, 2020). Así mismo Fornaris (2012) detalla que luego de la germinación, la plántula genera la raíz primaria a partir de la radícula. Mientras las demás raíces se desarrollan posteriormente a partir del tallo verdadero (raíces adventicias).

Tallo. El tallo de la cebolla tiene forma de disco que se localiza debajo del nivel del suelo, con entrenudos muy cortos, constituyendo la base del bulbo. En el centro del disco caulinar se localiza el meristemo apical de donde surgen las futuras hojas (Enciso et al., 2019).

Bulbo. Este es el órgano que acumula las sustancias nutritivas de reserva, formado por túnicas. Además, sirve como órgano reproductivo de la planta, ya que en su base se encuentra el disco basal de donde emergen nuevos bulbos (Galindo, 2020; Pinzón et al., 2006).

Hojas. Las hojas de cebolla son lanceoladas que crecen opuestas y alternas, estas son huecas y redondeadas (Enciso et al., 2019).

Flores. Las flores son de color blanco violáceo, variando su tono de acuerdo a la variedad; se agrupan en una inflorescencia de tipo umbela. Poseen también pistilo con tres cavidades y dos óvulos en cada lóbulo (Cristancho et al., 1990).

Semilla. Es pequeña, de color negro, tiene una superficie lisa durante el crecimiento y es rugoso durante la maduración debido a la pérdida de agua. Una vez cosechada las semillas entran en estado de latencia por unas dos semanas aproximadamente (Enciso et al., 2019).

1.2.4. *Requerimientos edafoclimáticos*

La cebolla es una planta que puede adaptarse en diferentes climas, y prefieren principalmente los climas secos de la costa y la sierra. Para su óptimo desarrollo requiere de temperaturas que oscilen entre 12 y 23 °C, así como altitudes que se encuentren desde 0 a 2800 msnm (Herrera et al., 2006; Mincetur, 2016). El fotoperiodo es un factor limitante para la formación de bulbos en la cebolla, ya que la planta únicamente desarrollará bulbos si la duración del día es igual o superior al mínimo exigido. A causa de la cantidad de variedades de cebolla Costa y Resende (2007) los ordeno como de días cortos, los cuales pueden iniciar la formación de bulbo con un rango de 11 a 12 horas de luz; los de días intermedios que requieren 12 a 14 horas de luz y de días largos que exigen más de 14 horas de luz diaria.

La cebolla se desarrolla mejor en suelos de textura media que poseen una buena presencia de materia orgánica, debido a que son menos compactados y tienen buen drenaje, lo que favorece el desarrollo óptimo de raíces y bulbos. Además, Prefieren el pH del suelo cercano al neutro y no tolera la salinidad presente en los suelos (Costa y Resende, 2007; Ministerio de Agricultura y Riego, 2019).

1.2.5. Fenología de la cebolla

Según Yzarra y López (2011) las fases fenológicas que presenta la cebolla hasta la cosecha de los bulbos son las siguientes:

- **Aparición de hojas.** Una vez trasplantado las plántulas comienzan a brotar nuevas hojas de forma tubular que pueden variar entre 12 a 16 hojas dependiendo de la variedad.
- **Formación del bulbo.** Se da después de que dejan de crecer hojas y empieza la acumulación de reservas en el bulbo, el mismo que comienza a engrosar los catáfilos.
- **Maduración inicial.** Las hojas empiezan a doblarse y el cultivo en general comienza a amarillear.
- **Maduración completa.** Los bulbos están desprovistos totalmente de sus hojas y listos para comercializar.

De igual modo Jaramillo et al. (1997), los clasifica en 4 fases fenológicas básicas:

- **Fenofase 1:** Desde la siembra hasta la emergencia de la hoja cotiledonar.
- **Fenofase 2:** Desde la emergencia de la hoja cotiledonar hasta el inicio del llenado del bulbo.
- **Fenofase 3:** Desde el inicio del llenado del bulbo hasta el inicio del doblamiento del follaje.
- **Fenofase 4:** Entre el doblamiento del follaje y la cosecha.

1.2.6. Nutrición de la cebolla

La deficiencia de nutrientes repercuten negativamente en el rendimiento de la cebolla, por ejemplo la carencia de nitrógeno provoca que las hojas jóvenes sean delgadas y decoloradas, mientras las hojas viejas muestran clorosis lo que puede llevar a su caída prematura, estos efectos repercuten en el tamaño de los bulbos. Otro nutriente es el potasio que su deficiencia se manifiesta en las hojas viejas, las cuales muestran clorosis y necrosis que va progresando desde el ápice. Esta carencia también conlleva a un desarrollo reducido de los bulbos (Vidigal et al., 2022).

Para evitar estas deficiencias y obtener un buen crecimiento y desarrollo de las plantas de cebolla, es primordial proporcionar una nutrición apropiada desde su instalación en campo. Para

ello se debe disponer de información adecuada, como las curvas de extracción o absorción, los cuales indican los periodos donde las plantas absorben una mayor cantidad de nutrientes, permitiendo así aplicar los nutrientes en esos momentos oportunos (Vidigal et al., 2002). Según Vidigal et al. (2022), la gran mayoría de los nutrientes que las plantas de cebolla acumulan se dan a partir de la mitad de su ciclo fenológico. Momento que marca el inicio del período de formación de bulbo, durante el cual se incrementa el proceso de división y crecimiento celular. Esto genera una mayor demanda de nutrientes y fotoasimilados, dado que el bulbo es el principal órgano de reserva de estos elementos. Es así que la absorción de los nutrientes esenciales sigue el siguiente orden: K>N>Ca>S>P>Mg, los cuales se muestran en la tabla 1.1 y figura 1.1.

Tabla 1.1

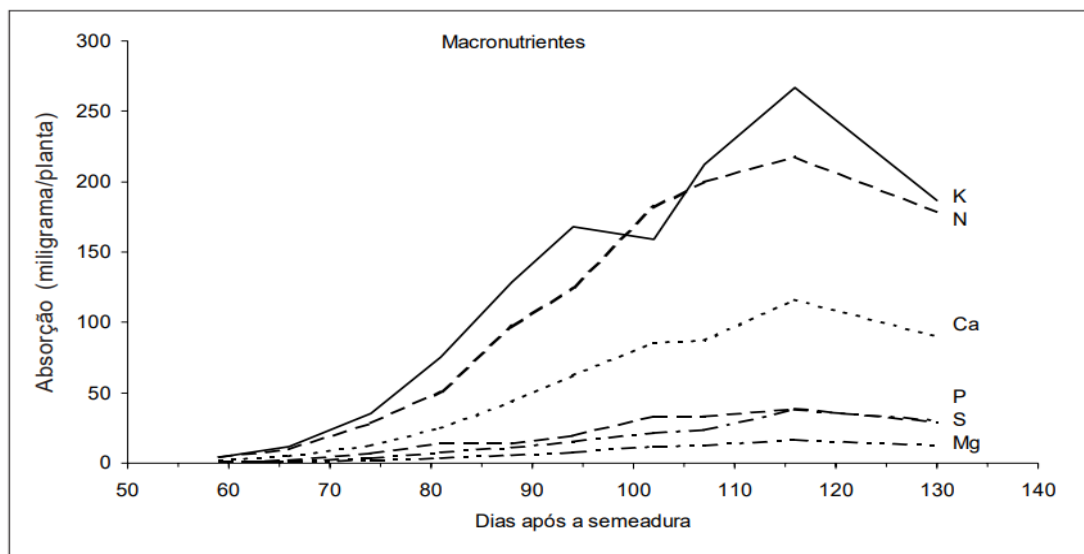
Absorción de nutrientes por la cebolla variedad Alvara

DDP	Cantidad absorbida										
	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
11	2.6	0.3	1.3	0.3	2.5	0.5	9296.2	4	4.6	17.9	3.9
18	3.1	0.3	1.4	0.3	3.2	0.5	369.7	2.6	3.6	8	3.5
26	5.8	0.5	2.8	0.7	5.9	1	1184.4	6.1	9.1	29.9	6.6
33	3.9	0.4	1.6	0.4	4.1	0.7	308.5	2.2	5.2	9	4.5
40	4.8	0.3	2.1	0.6	4.6	0.8	219.9	10	6.1	12.9	5.3
47	6.1	0.5	2.7	0.7	5.8	1	740.9	11.7	11.8	21.8	7.5
56	16.9	1.4	5.2	1.4	18.9	2.6	740.9	9.9	24.9	26.5	12
61	15.2	1.3	4.9	1.4	17.7	2.6	990	9.7	19.1	29.5	12.3
69	41.1	3.9	14.7	4	47.5	6.9	1948.2	17.6	39.3	62.4	32.2
82	53.7	5.4	19	5.3	52.8	8.7	1598.3	18.1	64.1	71.9	50
111	83.8	9.9	32.5	9.9	76.3	15.6	9395.4	48.2	100.4	223.7	112.3
124	165.4	24	40.8	15	174.7	33.6	8165.2	62.5	220.7	250.4	186.4
Total	165	24	41	15	175	34	9395	63	221	250	186

Fuente: (Garita, 2016), elaborado por (Coaguila, 2021)

Figura 1.1

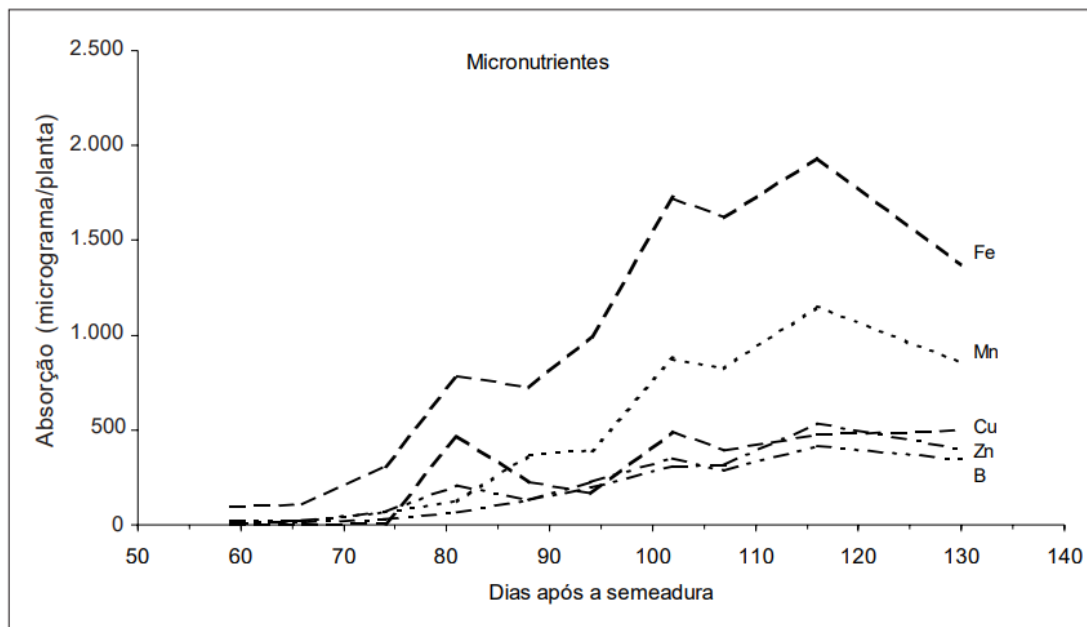
Curva de absorción de macronutrientes por la cebolla variedad Alfa tropical.



Nota. Absorción de macronutrientes por cebolla (*Allium cepa* L.) de la variedad alfa tropical (mg/planta) en función a su edad. Fuente: (Vidigal et al., 2002)

Figura 1.2

Curva de absorción de micronutrientes por la cebolla variedad alfa tropical.



Nota. Absorción de micronutrientes por cebolla (*Allium cepa* L.) de la variedad alfa tropical (mg/planta) en función a su edad. Fuente: (Vidigal et al., 2002)

1.3. Bioestimulantes

Los bioestimulantes son sustancias orgánicas o microorganismos usados en las plantas con el fin de potenciar el crecimiento y desarrollo, mejorar la eficiencia de los nutrientes y aumentar su resistencia frente a diversas condiciones de estrés, tanto biótico como abiótico. Dentro de estas condiciones están las temperaturas extremas, déficit o exceso de humedad, salinidad, toxicidad, incidencia de plagas y enfermedades. En su composición se pueden encontrar auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico, ácido jasmónico u otra fitohormona (Morales, 2017; Du Jardin, 2015).

1.4. Levadura en la agricultura

Las levaduras son hongos unicelulares que se reproducen por fisión binaria o gemación. Dentro de los géneros más encontrados en el suelo está el *Saccharomyces* (Frioni, 2006). Las características propias de las levaduras las convierten en microorganismos con buen potencial en la agricultura, gracias a su facilidad de su aplicación. Entre sus características beneficiosas esta la rápida colonización de las superficies de las plantas, la capacidad de aprovechar los nutrientes de diferentes fuentes, sobrevive en un rango de temperatura amplia, no producen metabolitos tóxicos y no presenta efectos negativos a las partes comestibles de la planta (Hernández et al., 2021; Kowalska et al., 2022).

Las levaduras se caracterizan por tener la capacidad de competir con otros microorganismos en la colonización de un hábitat, gracias a que producen toxinas asesinas que afectan a otros organismos en su entorno (Muccill y Restuccia, 2015). Por su lado Hernández et al. (2021) como alternativa al uso de fertilizantes sintéticos, propone a las levaduras como promotores de crecimiento capaces de aumentar la productividad agrícola directa e indirectamente, además de contribuir a la biorremediación de suelos.

Kowalska et al. (2022) afirman que el uso de las levaduras en la agricultura tiene efectos positivos sobre el crecimiento y la protección de las plantas reduciendo el desarrollo y el impacto de patógenos. Esto gracias a sus múltiples mecanismos como la producción de compuestos orgánicos volátiles, producción de toxinas, competencia por espacio y compuestos nutritivos, producción de enzimas líticas, inducción de inmunidad vegetal y micoparasitismo.

1.5. Silicio en la agricultura

El silicio ocupa el segundo lugar en abundancia entre los elementos del planeta. En la naturaleza se presenta principalmente como óxidos de sílice y silicatos. Una vez que la planta los asimila en forma de ácido silícico, por medio de las raíces, viaja a los puntos de crecimiento activos, donde se compleja con un compuesto orgánico en las paredes celulares haciéndolo más fuerte. (More et al., 2019).

Dehghanipoodeh et al. (2018) afirman que el silicio se considera generalmente como un elemento beneficioso para el crecimiento de las plantas superiores, especialmente para aquellas que crecen en un ambiente estresante. Del mismo modo Wang et al. (2021) mencionan que la aplicación de silicio alivia el estrés por sequía de las plantas mejorando la absorción de agua por las raíces, regular la pérdida de agua por transpiración de la hoja e inducir respuestas de defensa de la planta a través de la modificación de las vías de señalización y la activación de los sistemas antioxidantes. Es así que en los últimos tiempos el silicio viene siendo considerado como una enmienda de gran importancia para aumentar el crecimiento y la tolerancia de los cultivos a la salinidad. También se destaca su papel para mantener la homeostasis iónica, la absorción y redistribución de nutrientes, lo que ayuda a la planta a realizar un uso más eficiente de los recursos disponibles (Cabezas et al., 2022).

Mi et al. (2022) han demostrado que el Si desempeña un papel vital en la lucha contra las condiciones de estrés abiótico al regular positivamente las fitohormonas para resistir el estrés abiótico. Asimismo, Zhang et al. (2018) investigaron los efectos del silicio exógeno sobre la fluorescencia de la clorofila y la expresión de genes relacionados con la fotosíntesis en plántulas de tomate. Concluyeron que el silicio desempeña un papel en el alivio del estrés hídrico mediante la modulación de algunos genes relacionados con la fotosíntesis y la regulación del proceso fotoquímico y así mejorar la actividad fotosintética.

1.5.1. Diatomita

La diatomita es una roca silíceas principalmente está constituida por restos fosilizados de las frústulas de las diatomeas (Dirección General de Desarrollo Minero, 2017).

Las diatomeas son organismos unicelulares microscópicos pertenecientes al grupo de algas acuáticas. Estas algas tienen la capacidad de absorber sílice de su entorno, la cual después de

su muerte se hunde en las profundidades de su hábitat acuático generando un sedimento orgánico. La descomposición de este sedimento permite la acumulación de los caparzones silíceos, los cuales se van compactando con el pasar del tiempo, dando lugar a depósitos potenciales de diatomita (Verdeja et al., 1992).

La Dirección General de Desarrollo Minero (2017) muestra algunas de las propiedades físicas de la diatomita:

- Aspecto macroscópico: Roca purulenta, fina y porosa con aspecto margoso.
- Color por lo regular blanco brillante
- Alta porosidad
- Volumen de muy baja densidad
- Muy alta capacidad para absorber líquidos (absorbe hasta 150% de su peso en agua)
- Capacidad abrasiva suave
- Conductividad térmica y eléctrica muy baja
- Alta resistencia a la temperatura
- Punto de fusión entre 1,400° a 1,750°C
- Peso específico 2.0 (la calcinación la incrementa a 2.3)
- Área superficial 10 a 30 m² /g (la calcinación la reduce de 0.5 a 5 m² /g)
- Dureza (Mohs) 4.5 a 5 (la calcinación la incrementa de 5.5 a 6)
- Químicamente inerte

1.5.2. *Diatomitas en Ayacucho*

Tras la búsqueda de depósitos de diatomita en el Perú, se han revelado hallazgos en algunas áreas de la costa del país, así como en ciertos depósitos continentales en la región interandina (Verdeja et al., 1992). Según el estudio realizado por Agramonte (1983) los depósitos de diatomita en el Perú son: el yacimiento de Bayóvar, en este lugar predominan rocas sedimentarias marinas; el yacimiento de Tarucani está constituida principalmente por sedimentos de ambientes lacustrino interestratificados y el yacimiento de Ayacucho ubicado en los distritos de Carmen Alto (Quicapata), Tambillo y Quinua (Moya), constituido por sedimentos de ambiente lacustre, interestratificados. La investigación de la composición química de estos yacimientos se muestra en la tabla 1.2, donde se observa el contenido promedio de SiO₂.

Tabla 1.2*Análisis químicos de los yacimientos de Tambillo, Quicapata y La Moya*

Yacimientos	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂
Tambillo	2.71	0.64	0.01	1.22	0.39	0.55	0.01	0.25	0.02	85.78	0.14
Quicapata	2.61	1.17		0.97	0.48	0.53		0.25		89.84	
La Moya	9.11	1.44	0.01	1.79	3.21	0.84	0.05	1.25	0.08	72.86	0.29

Nota. El análisis químico ha sido realizado mediante el método TCP-IP-AES (análisis multielemental por fusión de metaborato de litio) Fuente: (Ramirez, 2012)

1.6. Fertilización foliar

Es una técnica que consiste en la aplicación de nutrientes esenciales a las plantas a través de las hojas, que son los órganos donde se concentra la mayor actividad fisiológica de la planta. Esta técnica utiliza el agua para disolver los fertilizantes que son asperjadas al follaje en forma de solución nutritiva. Es importante mencionar que la fertilización foliar es un complemento a la fertilización al suelo. (Molina, 2002; Trinidad y Aguilar, 1999).

1.6.1. Mecanismos de absorción de nutrientes

La absorción de nutrientes a través de las hojas ocurre gracias a la formación de una gradiente entre la concentración de la solución nutritiva aplicada a la superficie foliar y la que está presente en el interior de la epidermis, fenómeno conocido como difusión. Este proceso inicia con la hidratación de la cutícula, que gracias a su capacidad de interceptar las gotas y su composición química, genera la formación de canales, poros y cavidades los cuales permiten el paso de los nutrientes hacia las células de la epidermis (Castillo et al., 2013; Molina, 2002).

Una vez los nutrientes ingresan a las células de la epidermis son transportados hacia los órganos que los necesita. Para que esto ocurra primero pasan por los espacios intracelulares e intercelulares. Una vez que los nutrientes llegan a los tejidos vasculares son transportados hacia

las áreas donde son empleados para el crecimiento y para el mantenimiento del metabolismo de las plantas (Castillo et al., 2013).

1.6.2. Factores que afectan la fertilización foliar

Las respuestas que muestran las plantas frente a la fertilización foliar están influenciadas por varias condiciones que se detallan a continuación:

a. Vinculados a la planta.

La eficiencia de la aplicación de nutrientes a través de las hojas esta acondicionado por el estado nutricional y la fenología de las plantas, así mismo la eficiencia varía entre distintas especies. La presencia de tricomas en algunas plantas favorece la absorción de los nutrientes, debido a que amplía el área de contacto y el grosor de la cutícula es menor en región basal de estas estructuras. Además, las hojas más viejas disminuyen su capacidad para absorber nutrientes, debido a un incremento del grosor de la cutícula, lo que genera una menor permeabilidad de estas (Fernández et al., 2015; Kannan, 2010; Molina, 2002).

b. Vinculados al medio ambiente

Un ligero aumento en la temperatura puede relativamente aumentar la absorción de nutrientes, pero una temperatura alta prolongada generaría un desecación de la solución nutritiva aplicado disminuyendo la absorción (Fernández et al., 2015).

Una humedad relativa buena brinda condiciones favorables para que la solución aplicado en la superficie de las hojas se mantenga más tiempo sin secarse y con ello facilita la absorción (Fernández et al., 2015; Molina, 2002).

c. Vinculados a la solución nutritiva

Para una buena absorción y posterior transporte de los nutrientes a través de las hojas se debe tomar en cuenta la naturaleza y movilidad del elemento en cuestión. En la tabla 1.3 se muestran algunos valores para tener como referencia del tiempo de absorción de algunos nutrientes.

Tabla 1.3

Valores de referencia del tiempo de absorción de elementos vía foliar.

Nutrientes	Tiempo (para que ocurra un 50% de absorción)
Nitrógeno	0.5 a 2 horas
Fósforo	5 a 10 días
Potasio	10 a 24 horas
Calcio	10 a 24 horas
Magnesio	10 a 24 horas
Azufre	5 a 10 días
Hierro	10 a 20 días
Manganeso	1 a 2 días
Zinc	2 a 2 días
Molibdeno	10 a 20 días

Fuente: (Molina, 2002)

Entre los factores que afectan la absorción de nutrientes incluyen la solubilidad y la concentración que presenta el producto a aplicar. Además, el pH de la solución nutritiva es relevante, ya que la solubilidad de algunos elementos pueden ser relativamente bajas a determinados niveles de pH (Fernández et al., 2015; Molina, 2002).

1.6.3. Principales fuentes de fertilizantes foliares

Molina (2002), menciona que los productos destinados a la fertilización foliar deben poseer características esenciales, tales como una alta solubilidad en agua y la ausencia de algunos ingredientes fitotóxicos. Estos fertilizantes provienen de sales minerales inorgánicas y también pueden incluir agentes quelatantes (Fernández et al., 2015). En la tabla 1.4, se muestra un listado de algunos fuentes de elementos minerales usados para la fertilización foliar.

Tabla 1.4*Fuentes de fertilizantes foliares.*

Nutriente	Fuente del elemento
N	Urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio
P	Fosfato monoamónico, fosfato monopotásico, fosfitos
K	Sulfato de potasio, cloruro de potasio, nitrato de potasio, carbonato de potasio
Ca	Nitrato de calcio, cloruro de calcio
Mg	Sulfato de magnesio, nitrato de magnesio, cloruro de magnesio
Fe	Sulfato ferroso, quelatos de hierro
Mn	Sulfatos de manganeso, quelatos de Mn
Zn	Sulfato de zinc, nitrato de zinc, quelatos de Zn
Mo	Molibdato de sodio, molibdato de amonio
B	Ácido bórico, bórax, pentaborato de sodio
Cu	Sulfato de cobre

Fuente: (Fernández et al., 2015; Molina, 2002).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

El trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental Canaán, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, a 2750 msnm, cuya ubicación está entre las coordenadas geográficas de 13° 9'20.85"Latitud Sur y 74°13'12.72"Longitud Oeste. Del mismo modo el trabajo de laboratorio se llevó cabo en el laboratorio de Examen de Productos Agrícolas (AD 306) de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho.

2.2. Características del suelo

Con el propósito de conocer las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo en el campo experimental se realizó el muestreo correspondiente. Las muestras fueron extraídas a una profundidad de 20 cm, posteriormente se llevó solo 1 kg de suelo representativo a un laboratorio especializado de la localidad para el análisis respectivo.

Los resultados del análisis (Tabla 2.1), muestran un pH neutro, de contenido bajo en materia orgánica y nitrógeno total, potasio y fósforo disponibles alto y muy alto respectivamente, sin sales, moderadamente fino de textura. Las relaciones catiónicas, muestran un contenido alto de magnesio, que genera desequilibrio en desmedro de calcio.

Tabla 2.1

Análisis de caracterización de suelo del C.E. Canaán- UNSCH.

Propiedades	Componentes	Método	Valor	Interpretación
Físicas	Arena (%)	Hidrómetro de Bouyoucus	41	
	Limo (%)	Hidrómetro de Bouyoucus	30	
	Arcilla (%)	Hidrómetro de Bouyoucus	29	
	Clase textural			Franco Arcilloso
Orgánicas	Materia orgánica (%)	Walkley Black	1.76	Bajo
	N total (%)	Micro Kjeldhal	0.09	Bajo
	P disponible (ppm)	Olsen modificado	37.41	Muy alto
	K disponible (ppm)	Saturación con acetato- absorción atómica	280	Muy Alto
	pH (1:1)	Potenciómetro (1:1)	7.19	Neutro
	CE (dS m-1)	Conductímetro (1:1)	0.54	No salino
	CIC (Cmol (+) kg ⁻¹)	Acetato de amonio 1N pH 7	26.93	Alto
	Ca ⁺⁺ (Cmol (+) kg ⁻¹)	Extracto de amonio- absorción atómica	20.3	Alto
	Mg ⁺⁺ (Cmol (+) kg ⁻¹)	Extracto de amonio- absorción atómica	4.43	Alto
	K ⁺ (Cmol (+) kg ⁻¹)	Extracto de amonio- absorción atómica	1.32	Alto
Químicas	Na ⁺ (Cmol (+) kg ⁻¹)	Extracto de amonio- absorción atómica	0.87	Medio
	CaCO ₃ (%)	Gasovolumétrico- neutralización ácida	0	Muy bajo
	Saturación de bases (%)		100	Alto
	Relaciones catiónicas			
	Ca ⁺⁺ / K ⁺ (14 - 16)		15.38	Equilibrio
	Ca ⁺⁺ / Mg ⁺⁺ (5 - 8)		4.58	Desequilibrio
	Mg ⁺⁺ / K ⁺ (1.8 - 2.5)		3.35	Desequilibrio

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, plantas y fertilizantes “AGROLAB”

2.3. Características climatológicas

Los datos climatológicos fueron proporcionados por la estación meteorológica de INIA-Ayacucho, perteneciente a la OPEMAN del Gobierno Regional de Ayacucho. Esta estación se ubica a una altitud de 2735 msnm, entre las coordenadas 13° 10' 00.06'' Latitud Sur y 74° 12' 22.92'' Longitud Oeste, perteneciente al distrito Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, provincia de Huamanga y región de Ayacucho.

En la tabla 2.1 y figura 2.1, muestran que durante el año 2023 se registró una temperatura promedio máxima, media y mínima alcanzaron valores de 25.15 °C, 17.6 °C y 9.15 °C, respectivamente. Por otra parte la precipitación total anual fue de 493.5 mm.

Después de realizar el balance hídrico vemos que los meses que presentaron condiciones de humedad fueron diciembre, enero, febrero y marzo; mientras que el déficit de humedad fue desde el mes de abril hasta noviembre del 2023

Tabla 2.2

Temperatura máxima, mínima, media, precipitación y balance hídrico de la campaña agrícola 2023 de la Estación Meteorológica INIA-AYACUCHO

Distrito : Andrés Avelino Cáceres

Altitud : 2735 msnm

Provincia : Huamanga

Latitud : 13° 10' 00.06'' S

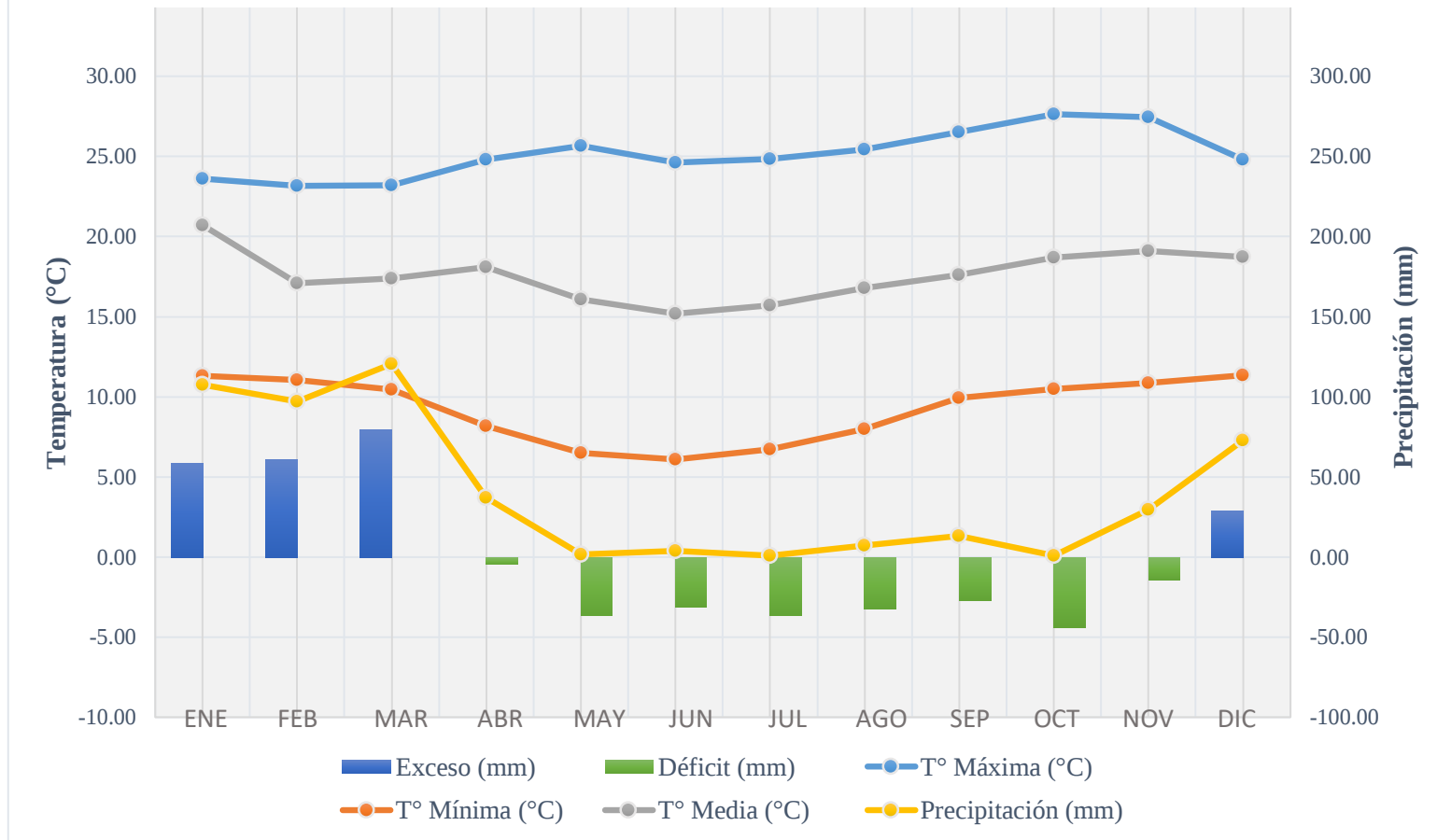
Región : Ayacucho

Longitud : 74° 12' 22.92'' W

AÑO	2023													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total	Promedio
T° Máxima (°C)	23.60	23.16	23.21	24.80	25.65	24.63	24.83	25.45	26.53	27.66	27.46	24.81		25.15
T° Mínima (°C)	11.32	11.05	10.45	8.19	6.50	6.11	6.74	8.01	9.93	10.49	10.85	11.37		9.25
T° Media (°C)	20.70	17.10	17.40	18.10	16.10	15.20	15.70	16.80	17.60	18.70	19.10	18.75		17.60
Factor	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)	102.67	76.62	86.30	86.88	79.86	72.96	77.87	83.33	84.48	92.75	91.68	93.00	1028.40	85.70
Precipitación (mm)	107.60	97.30	120.50	37.20	1.70	3.80	1.10	7.40	13.30	0.90	29.70	73.00	493.50	41.13
ETP corregida (mm)	49.27	36.77	41.41	41.69	38.32	35.01	37.37	39.99	40.54	44.51	43.99	44.63		
Humedad del suelo (mm)	58.33	60.53	79.09	-4.49	-36.62	-31.21	-36.27	-32.59	-27.24	-43.61	-14.29	28.37		
Exceso (mm)	58.33	60.53	79.09									28.37		
Déficit (mm)				-4.49	-36.62	-31.21	-36.27	-32.59	-27.24	-43.61	-14.29			

Figura 2.1

Temperatura máxima, mínima, media, precipitación y balance hídrico correspondiente a la campaña agrícola 2023 de la Estación Meteorológica INIA-AYACUCHO



2.4. Diatomita o Biosílice

El biosílice se obtuvo de la diatomita extraída del yacimiento de Quicapata del distrito de Carmen Alto de la región de Ayacucho.

Se utilizó este material debido a su elevado contenido de SiO₂ en su composición el cual se muestra en la tabla 2.3, estos bloques de tonalidad blanquecina, los cuales tras eliminar las impurezas, fueron sometidos a un proceso de molienda hasta convertirlos en polvo. Por último, se tamizó utilizando un tamiz fino con la finalidad de obtener polvos de textura más fina (0.125 mm).

Tabla 2.3

Análisis químico del biosílice obtenido del yacimiento de Quicapata

Yacimiento	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂
Quicapata	2.61	1.17	-	0.97	0.48	0.53	-	0.25	-	89.84	-

Nota. El análisis químico ha sido realizado mediante el método TCP-IP-AES (análisis multielemental por fusión de metaborato de litio). Fuente: (Ramirez, 2012).

2.5. Material biológico

- a. **Cultivo:** El material biológico es la cebolla roja arequipeña (*Allium cepa* L.). Variedad de alta aceptación en el mercado nacional.

Según Ccaseccsa (2019), esta variedad es relativamente resistente a plagas y enfermedades, con un período de almácigo que dura 2 meses como mínimo y se adapta de buena manera a temperaturas bajas que oscilan entre 7 y 12 C°. Además, el período vegetativo oscila entre 90 y 120 DDT, alcanzan una altura mayor a los 45 cm, el bulbo puede exhibir una forma achatada o redondeada, de color rojo granate.

- b. **Levadura de panificación,** se empleó la especie *Saccharomyces cerevisiae*, ingrediente principal de los productos comerciales utilizados en la industria panadera.

2.6. Diseño experimental y Análisis estadístico

El diseño experimental empleado fue el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con un arreglo factorial de tres niveles de biosílice (0, 0.5 y 1 % p/v) y dos de levadura de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*) (0 y 1 % p/v), con 3 repeticiones, siendo un total de 18 unidades experimentales.

Los resultados obtenidos se sometieron a un Análisis de Variancia (ANVA) con un nivel de confianza del 95% y la prueba de contraste Tukey (0,05).

2.7. Factores de estudio

- **Niveles de biosílice foliar (B)**

b1: Biosílice (0 % p/v)

b2: Biosílice (0.5% p/v)

b3: Biosílice (1 % p/v)

- **Niveles de Levadura de panificación al suelo (L)**

l1: Levadura de panificación (0% p/v)

l2: Levadura de panificación (1% p/v)

2.8. Tratamientos

En la tabla 2.4, se muestra la descripción de los tratamientos estudiados, que producto de la interacción de niveles de biosílice foliar (0, 0.5 y 1 % p/v) y levadura de panificación (0 y 1 % p/v) aplicada al suelo, resultan en número de seis.

Tabla 2.4*Descripción de los tratamientos.*

Tratamientos	Descripción	Código
T1	Testigo (sin biosílíce y sin levadura)	b111
T2	Biosílíce (0% p/v) + levadura de panificación al suelo (1% p/v)	b112
T3	Biosílíce (0.5% p/v) + levadura de panificación al suelo (0% p/v)	b211
T4	Biosílíce (0.5% p/v) + levadura de panificación al suelo (1% p/v)	b212
T5	Biosílíce (1% p/v) + levadura de panificación al suelo (0% p/v)	b311
T6	Biosílíce (1% p/v) + levadura de panificación al suelo (1% p/v)	b312

Nota: La concentración del ingrediente activo de los bioestimulantes está expresado en términos de peso/volumen (p/v).

2.9. Características de campo experimental

a) Parcelas

Longitud	: 14 m
Ancho	: 0.8 m
Número de hileras	. 6
Área	: 11.2 m ²

b) Bloques

Número de Bloques	: 3
Largo	: 14 m
Ancho	: 6.8 m
Área	: 95.2 m ²

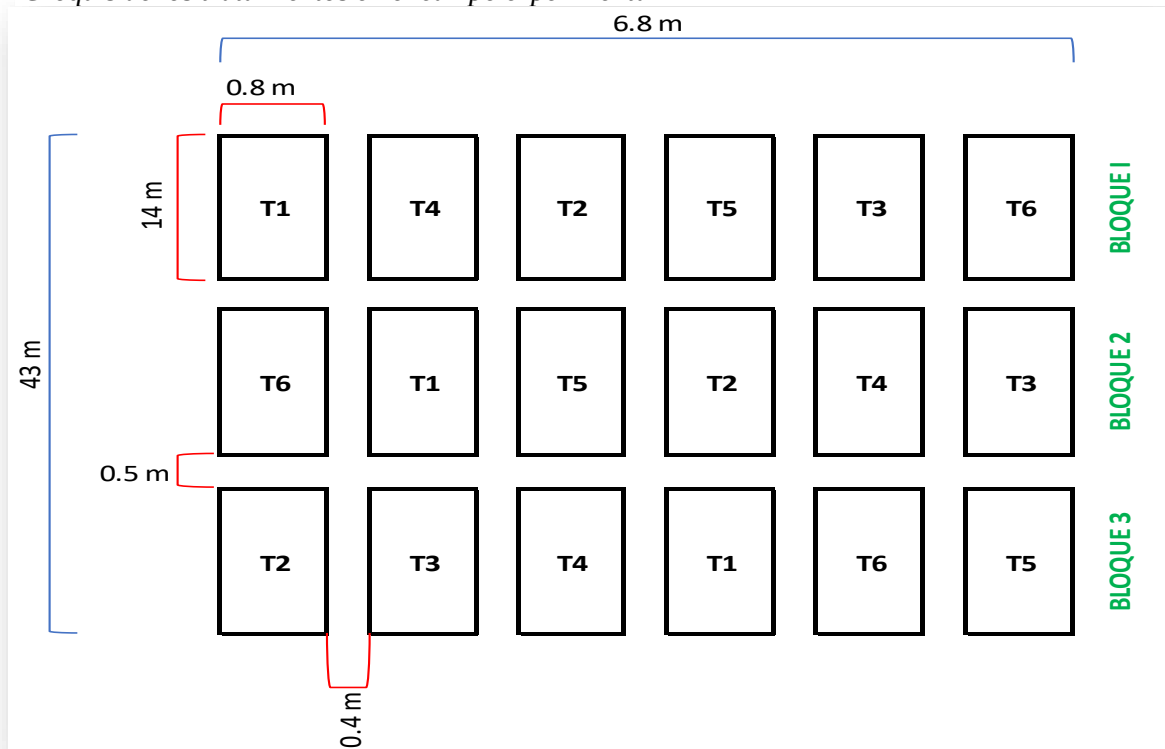
c) Campo experimental

Largo	: 43 m
Ancho	: 6.8 m
Área total de unidades experimentales	: 201.6 m ²
Área total del experimento	: 292.4 m ²

La figura 2.2, muestra la distribución de los tratamientos en el campo experimental.

Figura 2.2

Croquis de los tratamientos en el campo experimental



2.10. Instalación y conducción del experimento

Preparación del terreno.

El proceso de la preparación de terreno, se inició con la eliminación de los rastrojos presentes en la parcela, lo que permitió proceder al arado usando un tractor agrícola, finalizado esta labor se pasó a mullir los terrones. La fecha de esta labor fue el 27 de julio del 2023.

Surcado y preparación de platabandas.

El surcado y la preparación de las platabandas se realizó una vez concluida la preparación del terreno. Utilizando azadones y cordeles se formó los surcos y las platabandas, los cuales fueron nivelados con la asistencia de rastrillos. Actividades que se realizaron el 8 de agosto del 2023.

Demarcación del campo experimental.

La labor de demarcación del campo experimental se realizó el 10 de agosto del 2023, haciendo uso de las herramientas como rafia, estacas, wincha y pico. La demarcación del campo experimental se procedió en función al croquis de los bloques, parcelas y calles preestablecido.

Abonado.

La formulación del abonado se efectuó en base al análisis de suelo realizado, así como la extracción de nutrientes por la cebolla. Se empleó el humus de lombriz como abono orgánico en dosis de 1.6 t ha^{-1} , aplicada a chorro continuo y cubierto con una capa de suelo, realizada dos semanas antes del trasplante de las plántulas.

La incorporación de fertilizantes sintéticos (macronutrientes y micronutrientes) a todos los tratamientos fue fraccionada, según la fórmula establecida de acuerdo al análisis de suelo de la parcela: $118-81-36-36 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O-S}$ y $2.3-0.25-0.13-0.43-0.5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Fe-Zn-Cu-Mn-B .

El primer abonamiento después del trasplante, aplicado el 30 de agosto del 2023 consistió en el aporte de fósforo y nitrógeno (Fosfato di amónico y urea). Del mismo modo se aplicó la mitad de los microelementos siendo quelato para el hierro, sulfato de zinc, sulfato de cobre, sulfato de manganeso y etibor. El segundo abonamiento a inicio de formación de bulbo, el 3 de noviembre del 2023, una segunda dosis de fósforo, nitrógeno y potasio y la otra mitad de los micronutrientes. Finalmente el 18 de noviembre del 2023 se aplica la última fracción de fósforo y nitrógeno.

Trasplante.

Se emplearon plántulas de cebolla roja arequipeña de edad apropiada para el trasplante. Esta tarea consistió en regar las platabandas horas antes del trasplante, una vez que el suelo alcanzó

una humedad óptima, se procedió a colocar las plántulas en los hoyos previamente preparados en las platabandas constituidas por 6 hileras con distanciamientos entre plantas de 12 cm y entre hileras de 13 cm, alcanzando así una densidad de 416666 plantas por hectárea. Esta actividad se realizó el 25 de agosto del 2023.

Aplicación de biosílice.

La aplicación del biosílice se dio en tres oportunidades a lo largo del ciclo fenológico de la cebolla roja arequipeña, habiéndose considerado a 30, 40 y 50 días después del trasplante (DDT).

Las soluciones preparadas en dosis de (0.5 y 1 % p/v). Llegándose a aplicar 30 L/parcela experimental.

Aplicación de levadura.

La levadura de panificación (*Sacharomyces cerevisiae*) usado para inocular las cebollas fueron previamente activadas 48 h antes de su aplicación.

Se empleó 1 kg de azúcar en agua tibia, con 1 kg de levadura, en una solución homogénea que se almacenó en envase hermético con trampa de gas. A partir del cual se diluye para su aplicación. Se consideró aplicar en 3 ocasiones a los 30, 40 y 50 DDT, como solución tipo drench depositándolo a un lado de las plantas en horas de la tarde.

Riego.

Con el fin de maximizar la eficiencia en el uso del agua, se implementó un sistema de riego por goteo. La frecuencia de los riegos dependieron de la evapotranspiración y el ciclo fenológico de la planta de la cebolla.

Manejo de malezas.

La eliminación de las malezas presentes entre las plantas fue manual a 25, 45, 65 y 80 DDT, utilizando herramientas específicas para esta labor.

Actividad recomendada a fin de prevenir competencia con el cultivo, así como reducción de riesgos a posibles infestaciones por plagas y enfermedades.

Control fitosanitario.

Para controlar el mildiu (*Peronospora destructor*) se aplicó un producto fungicida fitoklin, en dosis recomendada en ficha técnica. Las aplicaciones se realizaron con una mochila asperjadora y en dos ocasiones el 28 de octubre y 10 de noviembre del 2023.

Ante la presencia del trips, se combatió aplicando un repelente elaborado a base de ajo, rocoto y canela a una dosis de 1 L/20 L o 34 L ha⁻¹. Este producto se aplicó en 3 ocasiones, específicamente a los 45, 52 y 59 DDT.

Agobio.

Esta labor se hizo de manera manual 1 de diciembre del 2023, una vez que la cebolla alcanzó su maduración, consistió en doblar las hojas del cuello de la planta.

Cosecha.

A los 116 DDT, se realizó la cosecha de bulbos de cebolla, fue un trabajo manual, una vez que los bulbos alcanzaron su maduración fisiológica. Consistió en arrancar las plantas del suelo y almacenarlo bajo sombra.

2.11. Parámetros de evaluación

- a. **Altura de planta.** Se evaluó la altura de 20 plantas por cada tratamiento desde el cuello del bulbo hasta el ápice utilizando flexómetro.
- b. **Número de hojas por planta.** Se contó el número de hojas de 20 plantas elegidas al azar por cada tratamiento.
- c. **Longitud de raíz.** La longitud de raíz se midió con la ayuda de una regla milimetrada, tomando como muestra 20 plantas seleccionadas al azar por cada tratamiento.
- d. **Peso de bulbo.** Para este parámetro Se evaluó el peso de 20 bulbos maduros al azar por tratamiento con la ayuda de una balanza electrónica.
- e. **Materia seca de bulbo.** Se tomó bulbos de 20 plantas al azar por cada tratamiento. Esta acción se realizó con la ayuda de la estufa y una balanza analítica.

- f. **Diámetro de bulbo.** Se determinó de 20 bulbos maduros después de cosecha por tratamiento y se midió con la ayuda del vernier.
- g. **Longitud de bulbo.** Con una regla milimetrada se registró la longitud de 20 bulbos al azar por tratamiento.
- h. **Materia fresca total.** Se evaluó el peso de toda la planta tomando 20 cebollas al azar por tratamiento, con una balanza electrónica.
- i. **Materia seca total.** Tomando 20 plantas por tratamiento se midió el rendimiento de la materia seca de las cebollas maduras y cosechadas.
- j. **Rendimiento total de bulbos.** Se pesó los bulbos cosechados, posteriormente se pasará a expresarlo en toneladas por hectárea.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Altura de planta

La tabla 3.1, muestra el análisis de varianza de altura de planta de cebolla, y se observa diferencia significativa en la fuente de variabilidad de biosílíce foliar. El coeficiente de variación es 3.44 % este porcentaje expresa que los datos resultan adecuados en este tipo de experimentos (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2008).

Tabla 3.1

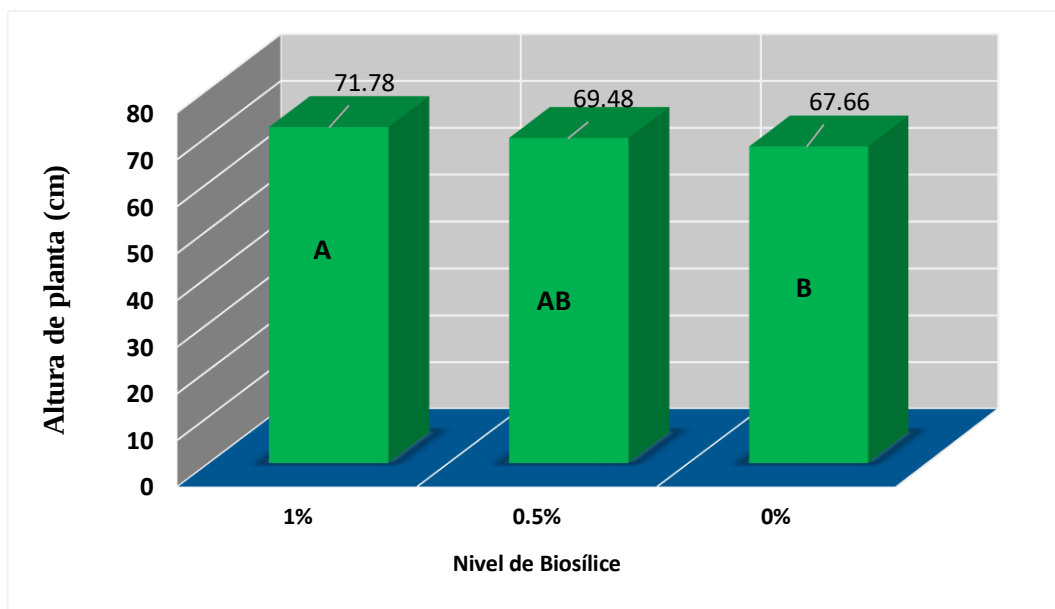
Análisis de varianza de altura de planta de cebolla por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílíce	2	51.27	25.64	4.46	0.0412 *
Nivel de Levadura	1	2.38	2.38	0.41	0.5340 ns
Bloque	2	3.58	1.79	0.31	0.7389 ns
Interacción (B*L)	2	8.17	4.09	0.71	0.5143 ns
Error	10	57.45	5.74		
Total	17	122.86			

CV= 3.44 %

Figura 3.1

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de niveles de biosílíce foliar en altura de planta. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey ($\alpha 0.05$) de los efectos principales de biosílíce en la altura de planta (figura 3.1), muestra que la mayor altura se obtuvo al aplicar 1% de biosílíce foliar con el que se alcanza 71.78 cm, siendo esta altura ligeramente mayor, pero sin diferencias estadísticas a cuando se aplica 0.5% de biosílíce (69.48 cm) y diferente a cuando no se aplica (67.66 cm) de manera que el incremento equivale a 6.08% más, respecto del último tratamiento.

Los resultados del efecto del biosílíce son concordantes con lo hallado por Bhangare y Shinde (2020) quienes concluyen que el silicio mejora el crecimiento de los cultivos y aumenta el rendimiento de las cebollas kharif. Del mismo modo Nada (2020) encuentra que la planta de fresa tuvo mejor crecimiento vegetativo, contenido de hojas, rendimiento y calidad de frutos, luego de aplicar silicato de potasio (0.6 g L^{-1}). Khan et al. (2021) pone en evidencia de que la aplicación foliar de silicio mejoró variables fisiológicas como la eficiencia fotosintética en soya. La influencia positiva del silicio en el crecimiento de la cebolla, obedece a que el silicio al mejorar la resistencia mecánica, la interceptación de luz y la resistencia a todo tipo de estrés, que conduce a un mayor rendimiento y calidad (Bhardwaj et al., 2023). Por otro lado Debona et al.

(2017) refiere que resistencia mecánica generado por el silicio en las plantas es debido a la silificación de la epidermis en la hoja lo que influiría en la menor pérdida de agua.

3.2. Número de hojas por planta

Tabla 3.2

Análisis de varianza de número de hojas por planta de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	4.3	2.15	7.82	0.0090 *
Nivel de Levadura	1	0.01	0.01	0.03	0.8609 ns
Bloque	2	0.44	0.22	0.81	0.4736 ns
Interacción (B*L)	2	1.67	0.83	3.03	0.0936 ns
Error	10	2.75	0.28		
Total	17	9.17			

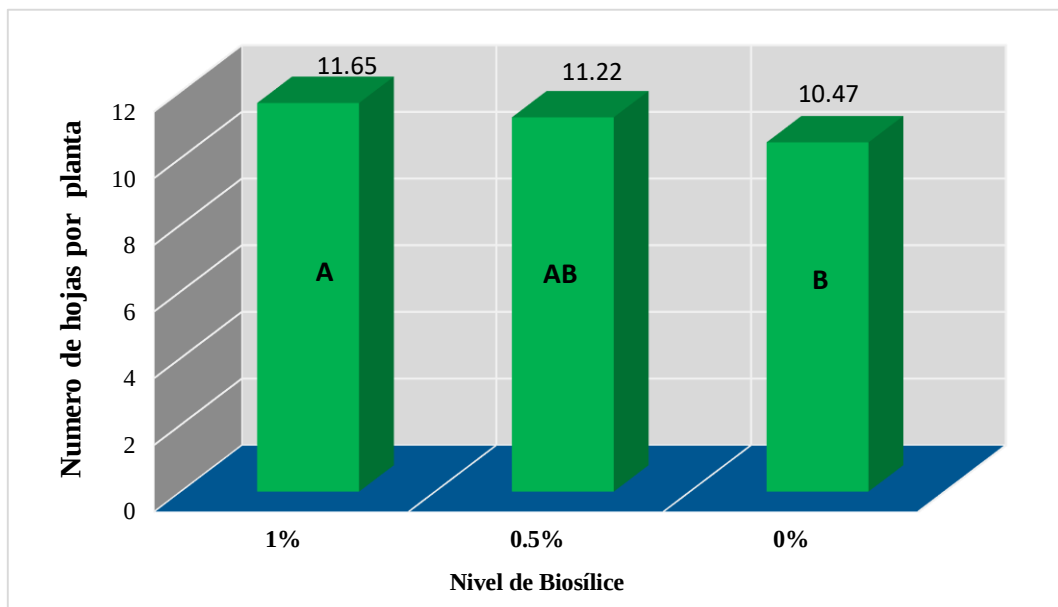
CV= 4.72 %

El análisis de varianza de número de hojas por planta (tabla 3.2) indica que hay diferencia significativa en la fuente de variabilidad de biosílice foliar.

Mientras no muestra diferencias significativas en levadura de panificación y en la interacción. El coeficiente de variación es 4.72 % que expresa datos adecuados para este tipo de estudios.

Figura 3.2

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de niveles de biosílíce foliar en el número de hojas por planta. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey (α 0.05) de los efectos principales de biosílíce en el número de hojas por planta (figura 3.2) muestra que la planta produce mayor número de hojas al aplicar 1 % de biosílíce foliar (11.65), seguido de cuando se aplica 0.5 % de biosílíce (11.22), sin diferencia estadística entre ambos, pero diferentes al tratamiento sin aplicación de biosílíce (10.47).

Comparativamente a las 9.13 hojas de cebolla roja arequipeña obtenido por Banda (2020) en siembra de alta densidad empleando 220-150-280 kg ha⁻¹ de N-P-K, en el presente, es mayor el promedio de hojas/planta (11.65), poniendo en evidencia que la bioestimulación ejercida por el biosílíce favorece y es importante, tal como veremos al evaluar el rendimiento y demás características del cultivo. Los resultados son congruentes con lo obtenido por Rangwala et al. (2019), quienes tras aplicar silicio a cebollas en condiciones de estrés, elevó el contenido de clorofila, aumentando la actividad fotosintética provocando así el incremento de la biomasa foliar y productividad. Del mismo modo Apáez et al. (2023) aplicando diatomita (1 y 1.5 g L⁻¹) al follaje de plantas de frijol chino y maíz (que funcionó como espaldera), registraron plantas con mayor número de hojas.

El aumento del crecimiento vegetativo observado en el parámetro anterior condujo a incrementar la biomasa de la cebolla con el aporte de biosílice (1% p/v) expresado en número de hojas, equivalente a un valioso 11.27%, (respecto a cuándo no se aplica biosílice) que es de mucha importancia, en razón a que son las fuentes de transformación de energía y formación de compuestos carbonatados que se traducirán finalmente en un aumento de rendimiento debido a su posterior distribución en este caso específico en los bulbos de cebolla. Por ello Wu et al. (2022) afirman que la relación entre la producción de biomasa y el rendimiento de un cultivo específico es altamente lineal, debido a que la producción de biomasa está determinada por la tasa de fotosíntesis foliar, el área foliar y la distribución de la radiación en el pabellón. Siendo principal proceso que impulsa la distribución de carbohidratos a los diferentes órganos de la planta para la acumulación de materia seca y determinar el rendimiento de los cultivos (Wang et al., 2020).

3.3. Longitud de raíz

Tabla 3.3

Análisis de varianza de longitud de raíz de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

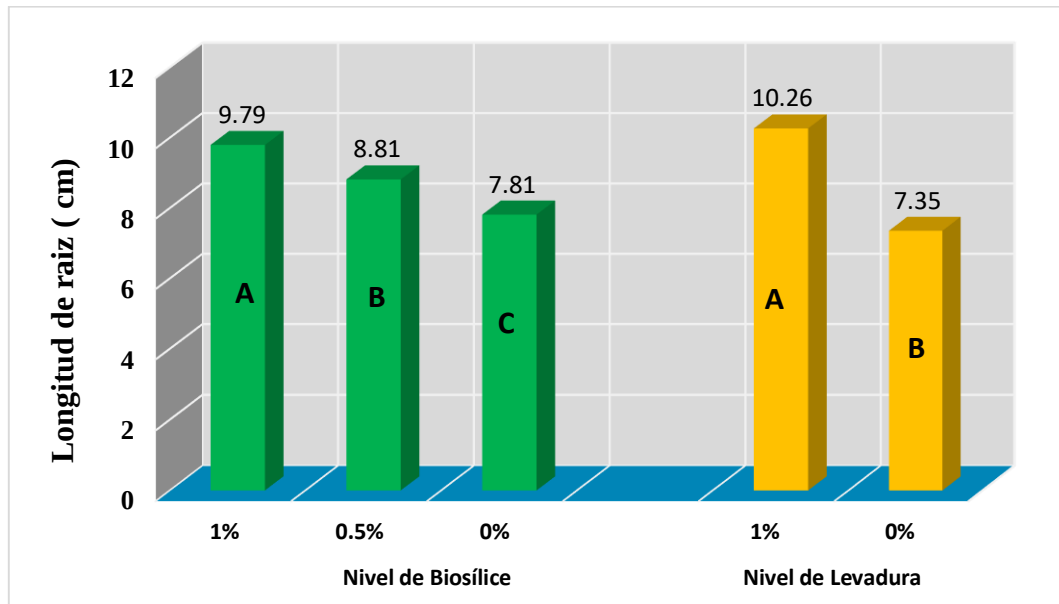
F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	11.78	5.89	53.12	< 0.0001 **
Nivel de Levadura	1	37.96	37.96	342.32	< 0.0001 **
Bloque	2	0.15	0.08	0.68	0.5266 ns
Interacción (B*L)	2	0.13	0.07	0.60	0.5680 ns
Error	10	1.11	0.11		
Total	17	51.14			

CV= 3.78 %

El análisis de varianza de longitud de raíz (Tabla 3.3) señala que hay diferencia altamente significativa en las fuentes de variabilidad de biosílice foliar y levadura de panificación, pero no en la interacción. Con un coeficiente de variación de 3.78 %.

Figura 3.3

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo en longitud de raíz. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey (α 0.05) de los efectos principales de niveles de biosílice y levadura de panificación (Figura 3.3) señala que el mayor nivel de levadura (1 % p/v) aplicado al suelo produjo el mayor crecimiento longitudinal de raíz (10.26 cm), excediendo estadísticamente a cuando no se aplica (7.35 cm) con un incremento del orden de 39.59 %.

De igual manera la dosis más alta de biosílice foliar (1 % p/v) mejoró notablemente el crecimiento radicular aumentando en 11.12 % y 25.35 %, respecto a la dosis intermedia y del testigo.

En el caso de la levadura los resultados obtenidos son congruentes con Lonhienne et al. (2014) quienes encuentran que la adición de levadura viva a plantas de tomate aumentó la biomasa radicular en 56% respecto al control; y en las plantas de caña de azúcar aumentaron en 47%. Mohammed et al. (2020) luego de sumergir esquejes de olivo en solución de levadura (2 g L^{-1}) mejoró el enraizamiento, generando raíces de mayor longitud con mayor contenido de AIA. Del mismo modo Vázquez et al. (2022) inoculando levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en un sistema hidropónico de raíz flotante, en el cultivo de lechuga lograron un incremento de hasta 30 % del área radicular, respecto al testigo.

Investigaciones como el de Nimsi et al. (2023) refieren que los organismos del género *Saccharomyces*, están consideradas como levaduras promotoras de crecimiento vegetal (PGPY), estas se desarrollan principalmente en la rizósfera y filósfera de las plantas y tienen atributos de gran beneficio como la producción de hormonas. Ameer y Hussein (2020) refieren que la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) ingresa a las células de la lechuga y se descomponen pasando a ser nutrientes para la planta, lo que se supone mayor crecimiento de las raíces. Por cuanto la aplicación de levadura de panificación al cultivo de cebolla aumenta la longitud de raíz en un considerable e importantísimo 39.59 % lo que a su vez provocaría cambios sustanciales en la nutrición mineral, absorción de agua, con las mejoras consecuentes en el funcionamiento fisiológico de toda la planta.

En relación a lo obtenido con biosílice, resulta congruente a lo publicado por Hussain et al. (2021) quienes aplicando silicio en dos variedades de soya (resistente y susceptible a la sombra), reportaron efectos positivos en longitud y volumen de raíz, peso seco y área superficial de raíz, aumento del contenido de clorofila y azúcares. Ratnakumar et al. (2016) encontró un aumento en el crecimiento de raíces y la densidad de raíces de trigo con la aplicación de foliar de ácido ortosilícico (32 ppm).

Ning et al. (2023), señalan que el silicio incrementa el contenido de clorofila en las hojas y como consecuencia aumenta la capacidad fotosintética de la planta debido al aumento del número de hojas, que influyó en la obtención y traslado de fotosintatos a la raíz, que conlleva a un mayor desarrollo de ellas. De igual manera Debona et al. (2017), menciona que la bioestimulación a las plantas con silicio mejora el crecimiento del sistema radicular, debido a que mejora el equilibrio hídrico dentro de las células.

3.4. Peso de bulbo

Tabla 3.4

Análisis de varianza de peso de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

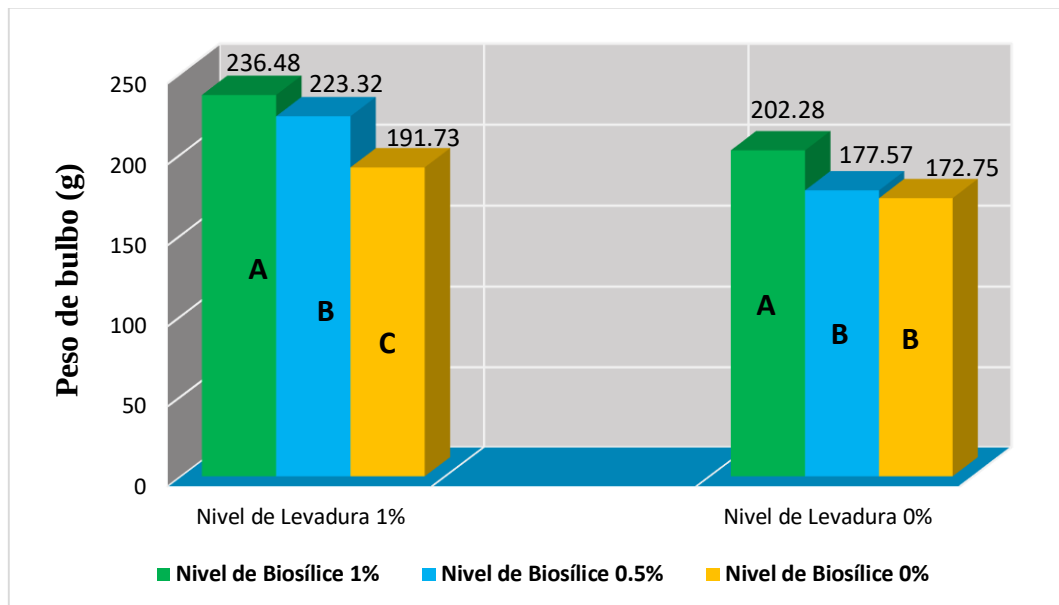
F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	4139.06	2069.53	269.85	< 0.0001**
Nivel de Levadura	1	4893.90	4893.90	638.13	< 0.0001**
Bloque	2	6.04	3.02	0.39	0.6844
Interacción (B*L)	2	540.70	270.35	35.25	< 0.0001**
Error	10	76.69	7.67		
Total	17	9656.40			

CV= 1.38 %

El análisis de varianza del peso de bulbo de la cebolla (tabla 3.4), muestra que hay diferencia altamente significativa en las fuentes de variabilidad de biosílice foliar y levadura de panificación, lo mismo sucede en la interacción de estos. Con un coeficiente de variación es 1.38 %.

Figura 3.4

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos simples por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo en peso de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey (α 0.05) de los efectos principales del peso de bulbo (figura 3.4), muestra que al aplicar la dosis alta de levadura de pan al suelo (1% p/v) junto a 1 % biosílíce foliar (Tratamiento 6) permitió alcanzar el mayor peso de bulbo (236.48 g) presentando diferencias significativas con respecto de los otros tratamientos.

Comparativamente al peso de bulbo de cebolla roja arequipeña obtenido por Banda (2020) en siembra de alta densidad empleando 220-150-280 kg ha⁻¹ de N-P-K, el peso de 236.48 g supera los 220 g, evidenciando que la bioestimulación ejercida por el biosílíce al follaje junto a levadura de panificación aplicada al suelo, resulta ser muy importante, tal como veremos al evaluar el rendimiento del cultivo.

En relación a la acción bioestimulante de la levadura los resultados obtenidos son congruentes con lo obtenido por Kahlel (2015) quien al aplicar levadura cerca de las raíces de papa aumentó el peso de los tubérculos y llevó a un mayor rendimiento. Sin duda el aporte de levadura de pan al suelo favoreció al crecimiento del bulbo, sin embargo en interacción con biosílíce se estimula mayor la masa de bulbo respecto a cuándo no se encuentran ambos o en presencia de solo biosílíce. Existe evidencia de que la levadura es un organismo cuya comunidad es eficiente en

muchos sentidos, por ejemplo rápido desarrollo y multiplicación por lo cual aumenta su adaptación y competitividad. De otro lado también se sugiere que logran producir fitohormonas tal como lo menciona Twfiq et al. (2018) quienes encontraron que existe citoquinina en la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) atribuyendo el hecho que es capaz de sintetizar la fitohormona lo que ayuda a la plantas a promover la división y crecimiento celular. Hecho que explicaría el efecto positivo en el peso de cebolla en presencia de levadura de panificación. A este hecho se sumaría el accionar del biosílice, capaz de favorecer el incremento de clorofila en las plantas como lo reporta Trejo et al. (2020) en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) quienes incorporando Si aumentaron concentraciones de clorofilas a y b en hojas y tallos. Por su parte Yan et al. (2018), señalan que el silicio promueve la mejora de la actividad fotosintética y la resistencia mecánica, gracias a ello se mitiga el estrés y como consecuencia mejora la calidad y rendimiento de los cultivos.

3.5. Materia seca de bulbo

Tabla 3.5

Análisis de varianza de materia seca de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	1.33	0.67	39.52	< 0.0001 **
Nivel de Levadura	1	2.02	2.02	120.01	< 0.0001 **
Bloque	2	0.09	0.04	2.53	0.1292 ns
Interacción (B*L)	2	0.05	0.02	1.37	0.2972 ns
Error	10	0.17	0.02		
Total	17	3.65			

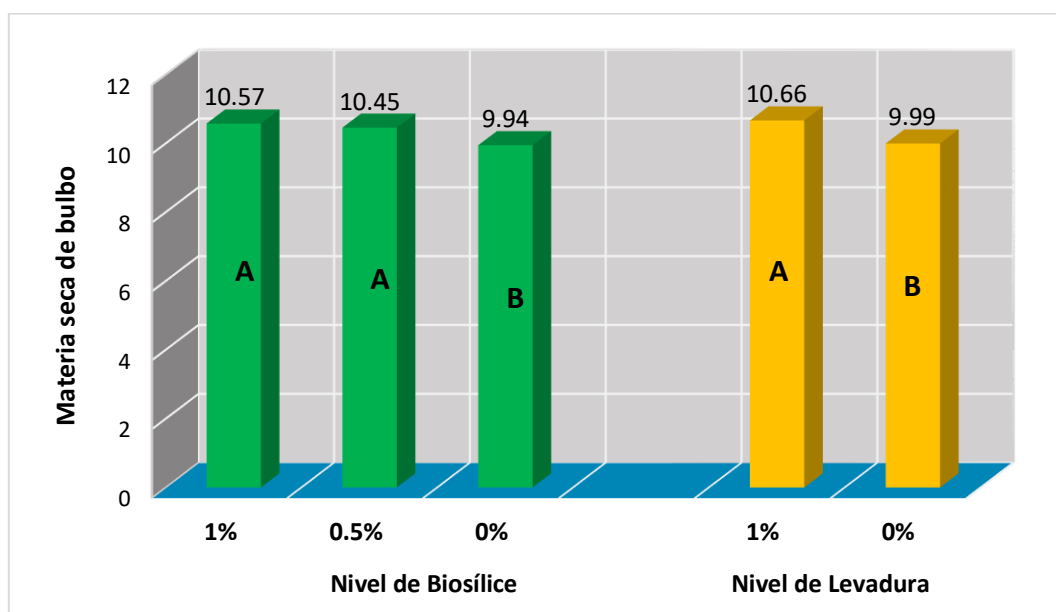
CV= 1.26 %

El análisis de varianza de la materia seca de bulbo (Tabla 3.5) indica que existe una diferencia altamente significativa en las fuentes de variabilidad de biosílice foliar y levadura de

panificación al suelo, mientras no se observan diferencias en la interacción. Con un coeficiente de variación de 1.26 % que indica datos adecuados para el estudio.

Figura 3.5

Prueba de Tukey (0.05) de efectos principales de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo en materia seca de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey (α 0.05) de los efectos principales de biosílíce foliar y levadura de panificación en materia seca de bulbo (Figura 3.5), muestra que el mayor nivel de levadura de panificación (1% p/v) al suelo fomentó al mayor contenido de materia seca de bulbo (10.66%) con diferencias significativas a cuando no se aplica (9.99%). La aplicación de biosílíce foliar (1% p/v) generó el mayor contenido de materia seca de bulbo (10.57 %), pero sin superar estadísticamente a la dosis intermedia de biosílíce (10.45%).

Estos resultados concuerdan a la acción de la levadura concuerdan con trabajos publicados por Al-Amery y Mohammed (2017) quienes al aplicar levadura de pan en el cultivo de frijol bajo riego con diferentes niveles de agua salina, reportó mejoras sustanciales en nódulos de raíz, peso seco de planta, número de vainas por planta, rendimiento de vainas y también la viabilidad de microorganismos simbióticos. Esto debido a que la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*) provee proteínas, vitaminas y hormonas como citoquininas, IAA y GA3. Del mismo modo Al-madhagi (2019) al aplicar levadura a plantas de pepino a dosis de 2000 mg L⁻¹

¹ tuvo un aumento en un 26.6 % en el porcentaje de materia seca de hojas. Detmann et al. (2012) mencionan que hasta el 95% de la masa seca de las plantas proviene de la actividad fotosintética, esta afirmación explicaría el mayor contenido de materia seca en el bulbo de la cebolla roja arequipeña, que se atribuye al efecto bioestimulante del biosílice y la levadura de panificación, por efectos que fueron explicados líneas arriba.

Del mismo modo el biosílice influyó significativamente en la acumulación de materia seca en el bulbo, aunque fuera en menor dimensión respecto al efecto de la levadura, aun así su contribución es relevante. Partiendo de que la materia seca de las plantas provienen del traslado de fotosintatos elaborados durante la fotosíntesis, se espera que a mayor actividad fotosintética mayor será el porcentaje de masa seca. En ese sentido Rangwala et al. (2019) demostró en su estudio que el silicio potencia la actividad fotosintética, esta mejora obedece a que el silicio induce a un aumento de la concentración de clorofila en las hojas, también influye en una mejor disposición de las hojas lo que le permite captar la luz eficientemente (Nowakowska et al., 2024).

3.6. Diámetro de bulbo

Tabla 3.6

Análisis de varianza de diámetro de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

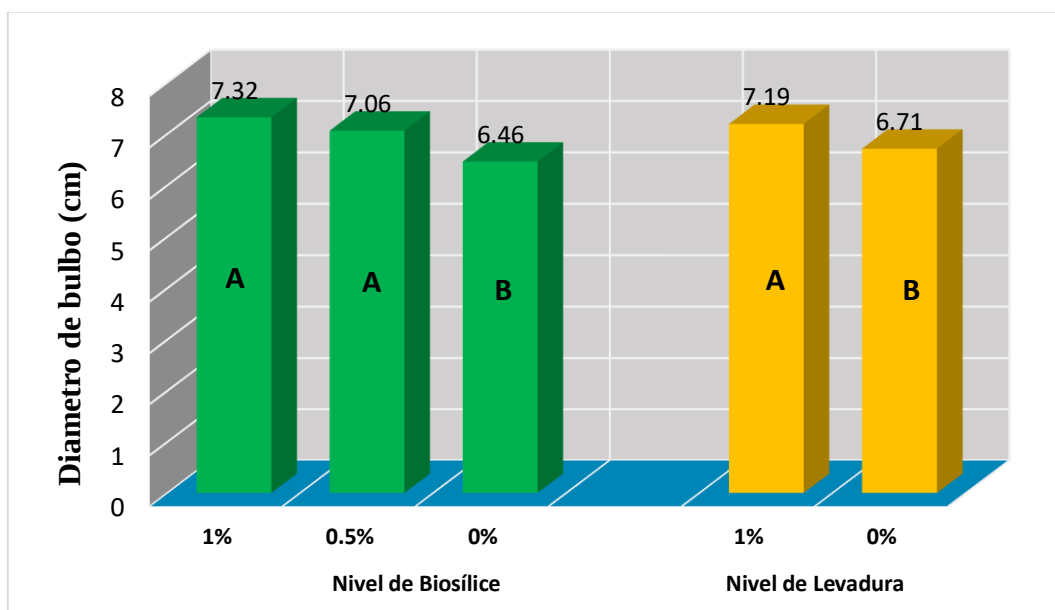
F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	2.33	1.16	28.93	0.0001 **
Nivel de Levadura	1	1.02	1.02	25.39	0.0005 **
Bloque	2	0.11	0.05	1.34	0.3054 ns
Interacción (B*L)	2	0.01	0.00	0.07	0.9317 ns
Error	10	0.40	0.04		
Total	17	3.87			

CV= 2.89 %

El análisis de varianza del diámetro de bulbo de cebolla (tabla 3.6), muestra diferencia altamente significativa en la fuente de variabilidad de biosílice foliar y levadura de panificación; mientras evidencia que no hay diferencias en la interacción con un coeficiente de variación de 2.89 %.

Figura 3.6

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo en diámetro de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La Figura 3.6, muestra la prueba de Tukey (α 0.05) de los efectos principales de biosílice foliar y levadura de panificación al suelo en el diámetro de bulbo, se observa que la dosis alta de biosílice (1% p/v) propició el mayor diámetro de bulbo (7.32 cm), sin diferencias con la dosis intermedia (7.06 cm) y respecto al testigo es mayor el diámetro de bulbo en 13.31 %. Del mismo modo tras aplicar 1% (p/v) de levadura de panificación aumentó a 7.19 cm, diferenciándose significativamente del que no recibe nada (6.71 cm); el incremento es de 7.1%. Ambos bioestimulantes favorecen el aumento del diámetro de bulbo, sin embargo con biosílice es ligeramente superior el efecto. Según Gao et al. (2022) el silicio posee la capacidad de inducir la síntesis de giberelina y zeatina (una citoquinina natural), las cuales favorecen al aumento del tamaño de frutos en las plantas al estimular la división y crecimiento celular. Además se atribuye al silicio el favorecer la actividad fotosintética, como se mencionó líneas arriba, aumentando la producción y traslado de fotosintatos a zonas de reserva. Los resultados

concuerdan con lo obtenido por Jalali et al. (2022), quienes con la aplicación foliar de silicio (75 mg L^{-1}) aumentaron significativamente la firmeza y tamaño de fruto y el rendimiento en plantas de tomate.

Asi mismo en relación a la aplicación de levadura, se concuerda con lo obtenido por Hassan et al. (2023) quienes al aplicar levadura junto con ácidos húmicos a plantas de tomate incrementaron la altura de planta, longitud de fruto, peso de fruto y el rendimiento. De manera similar Fouda y Abd-Elhamied (2017) reportaron un incremento en el diámetro y la longitud de fruto con la aplicación de levadura a las plantas de berenjena. Efectos que estarían relacionados con el efecto de los microorganismos, como lo indican Tshapa et al. (2022) que las levaduras promueven la formación de citoquininas que induce a la división y expansión celular.

3.7. Longitud de bulbo

Tabla 3.7

Análisis de varianza de longitud de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosíllice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

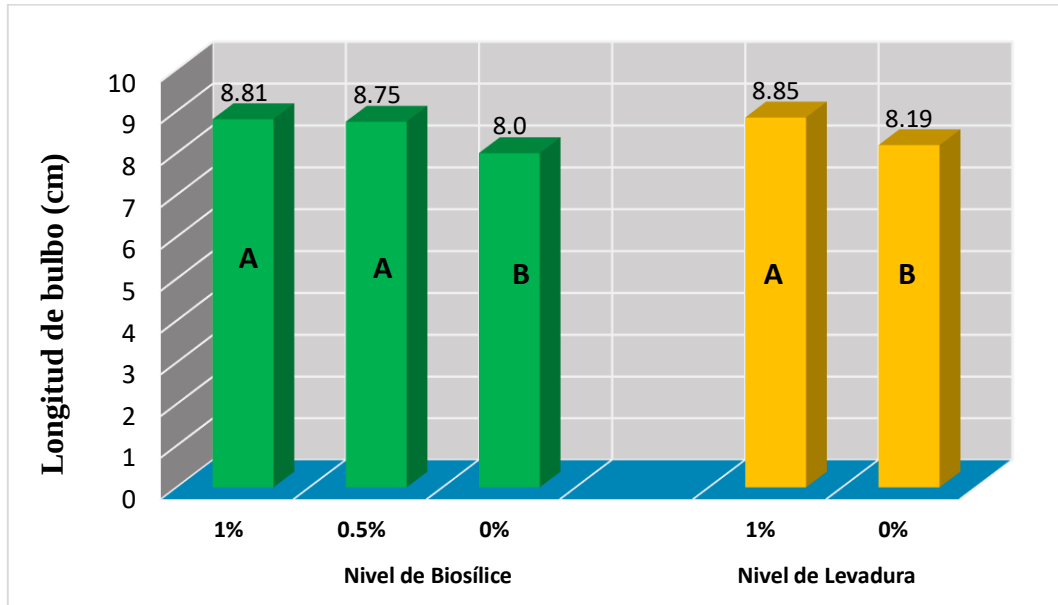
F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosíllice	2	2.42	1.21	15.33	0.0009 **
Nivel de Levadura	1	1.95	1.95	24.68	0.0006 **
Bloque	2	0.28	0.14	1.76	0.2215 ns
Interacción (B*L)	2	0.50	0.25	3.14	0.0873 ns
Error	10	0.79	0.08		
Total	17	5.93			

CV= 3.3 %

El análisis de varianza de la longitud de bulbo (tabla 3.7), indica que hay diferencia altamente significativa en los fuentes de variabilidad de biosíllice foliar y levadura de panificación; por otra parte no hay diferencias en la interacción. Con un coeficiente de variación de 3.3. %.

Figura 3.7

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo en longitud de bulbo. Canaán-Ayacacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey (α 0.05) de los efectos principales de biosílice y levadura de panificación (figura 3.7), demuestra que la dosis más alta de levadura de pan (1% p/v) favoreció al mayor crecimiento longitudinal de bulbo de cebolla (8.85 cm) superando estadísticamente a cuando no se aplica (8.19cm) y equivale a 8.05 % más, respecto del último tratamiento. Mientras tanto la dosis alta de biosílice foliar (1% p/v) obtuvo el mayor crecimiento longitudinal de bulbo de cebolla (8.81 cm) sin diferencias con la dosis intermedia (8.75 cm).

Nuevamente, los efectos favorables de levadura y biosílice en el cultivo son abservados con el mayor crecimiento longitudinal del bulbo de cebolla, estrechamente relacionados a la actividad fotosintética, con la aplicacion de ambos elementos aplicados independientemente. Los resultados son congruentes con lo hallado por Hassan et al. (2023), quienes encontraron un aumento en la longitud de fruto luego de aplicar levadura a plantas de tomate.

De otro lado se afirma que el silicio aumenta de manera significativa la fotosíntesis, además reduce la pérdida de agua (Yavaş y Ünay, 2017).

3.8. Peso fresco total

Tabla 3.8

Análisis de varianza de peso fresco total de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

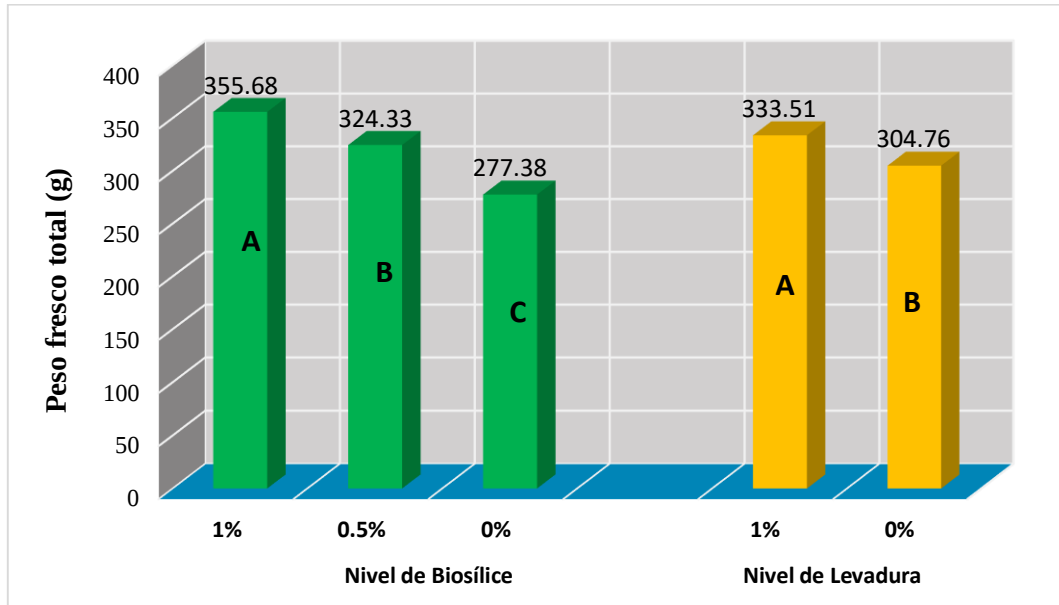
F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	18640.21	9320.1	50.39	< 0.0001 **
Nivel de Levadura	1	3719.53	3719.53	20.11	0.0012**
Bloque	2	204.40	102.20	0.55	0.5921 ns
Interacción (B*L)	2	856.72	428.36	2.32	0.1491 ns
Error	10	1849.76	184.98		
Total	17	25270.62			

CV= 4.26 %

El análisis de varianza (tabla 3.8) del peso fresco de la cebolla, podemos apreciar que hay diferencia altamente significativa en la fuente de variabilidad de biosílice foliar y de la levadura de panificación; mientras que en la interacción no hay diferencias. Con un coeficiente de variación de 4.26 %.

Figura 3.8

Prueba de Tukey (0.05) de efectos principales de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo en peso fresco total de la cebolla. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey (α 0.05) realizado a los efectos principales de los niveles de biosílice y levadura de pan en peso fresco total (tabla 3.8) indica que la dosis más alta de biosílice foliar (1%) influyó de manera positiva en la obtención del mayor peso fresco (355.68 g) el cual superó estadísticamente a la dosis intermedia y al testigo; por otro lado la aplicación de la dosis más alta de levadura de pan al suelo (1% p/v) obtuvo mayor peso fresco (333.51 g) superando estadísticamente al testigo (304.76 g).

Los resultados obtenidos concuerdan con Rangwala et al. (2019), quienes al aplicar silicio foliar a la cebolla aumentó el contenido de clorofila el cual mejora la acción fotosintética y por ende un mejor desarrollo de la biomasa. Como se indica en los parámetros previos, la incorporación de biosílice (1% p/v) en la cebolla roja arequipeña mostró un aumento en la biomasa y el peso de bulbo. Como resultado de estos beneficios el peso fresco total aumentó un 28.2% comparativamente a los tratamientos que no recibieron biosílice.

Respecto a la levadura, Basel et al. (2022), encontraron que aplicar 3% (p/v) de levadura a lechuga aumentó el contenido de clorofila, longitud de planta, peso húmedo en brotes y raíces.

Por su parte Taha et al. (2021), menciona que después de aplicar levadura aumentaron las concentraciones de clorofila, azúcares y proteínas, en el cultivo de altramuz.

Es así que la aplicación de levadura de panificación (1% p/v) a la cebolla como bioestimulante incrementó el peso fresco total en un 9.43 % respecto al testigo.

3.9. Materia seca total

Tabla 3.9

Análisis de varianza de materia seca total de cebolla por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílíce	2	0.02	0.01	0.33	0.7261 ns
Nivel de Levadura	1	0.02	0.02	1.06	0.3276 ns
Bloque	2	0.01	0.01	0.28	0.7640 ns
Interacción (B*L)	2	0.02	0.01	0.35	0.7124 ns
Error	10	0.23	0.02		
Total	17	0.30			

CV= 1.51 %

El análisis de varianza (Tabla 3.9), indica que no hay diferencias significativas en las fuentes de variabilidad de biosílíce, levadura y en la interacción de ambos.

3.10. Rendimiento total de bulbos

Tabla 3.10

Análisis de varianza de rendimiento total de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

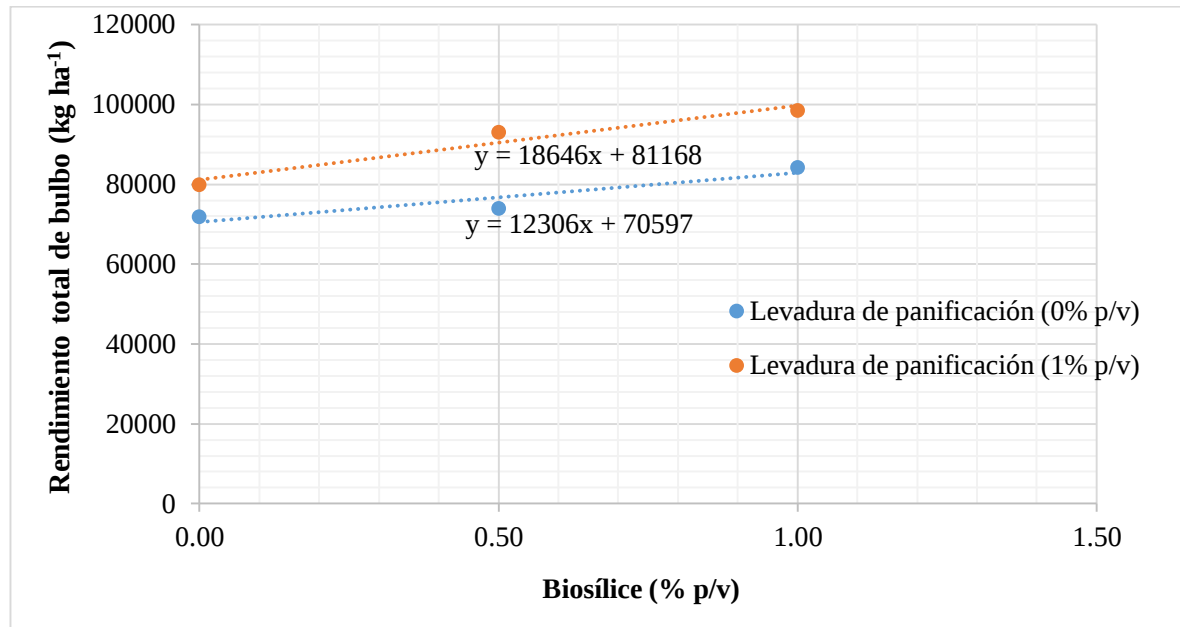
F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	718586440.41	359293220.20	269.85	< 0.0001 **
Nivel de Levadura	1	849635436.05	849635436.05	638.13	< 0.0001 **
Bloque	2	1048949.25	524474.63	0.39	0.6844 ns
Interacción (B*L)	2	93871957.45	46935978.72	35.25	< 0.0001 **
Error	10	13314497.74	1331449.77		
Total	17	1676457281.90			

CV= 1.38 %

El análisis de varianza del rendimiento total de la cebolla (Tabla 3.10), indica que hay diferencia altamente significativa en la fuente de variabilidad de biosílice foliar y levadura de panificación, así mismo en la interacción de estos elementos. Con un coeficiente de variación de 1.38 %.

Figura 3.9

Tendencia del rendimiento total de bulbos de cebolla por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La combinación de ambos bioestimulantes tiene como corolario de su acción un mayor rendimiento de los bulbos de cebolla ($98534.7 \text{ kg ha}^{-1}$) que representa un incremento de 36.89%, producto del efecto en cada uno de los parámetros evaluados, por las razones ampliamente explicadas.

La figura 3.9, de la tendencia de aplicar biosílíce foliar en cada nivel de levadura de panificación al suelo, se observa que el rendimiento total de bulbos es creciente con la dosis de biosílíce y levadura, estimándose alcanzar a un promedio de 81168 kg ha^{-1} de cebolla, y cuando no va acompañado de levadura se alcanzaría un promedio de 70597 kg ha^{-1} , con valores diferenciados por cada unidad de silicio aplicado, siendo mayor cuando va acompañado de levadura. Esta evaluación deja entrever además que las dosis empleadas no alcanzaron un límite.

Al contrastar los $72976.9 \text{ kg ha}^{-1}$ de rendimiento total de bulbo de cebolla roja arequipeña reportado por Ccaseccsa (2019) en un cultivo a una densidad de $400000 \text{ plantas ha}^{-1}$ con aplicación de 3 t ha^{-1} de guano de isla; como el rendimiento de 47.8 t ha^{-1} obtenido por Bañico (2020) en una siembra de alta densidad $500000 \text{ plantas ha}^{-1}$, en el presente estudio se estima un

rendimiento superior que alcanza a 98534.7 kg ha⁻¹. Este hecho pone en manifiesto que la bioestimulación inducida por la interacción de levadura de panificación junto al biosílice favoreció al incremento del peso de bulbo, y demás características fenotípicas de producción que condujo al mayor rendimiento total, donde la variable peso tuvo marcada influencia.

Sin embargo estos resultados de la bioestimulación deben partir del adecuado muestreo, análisis de suelos, interpretación de los mismos, formulación de abonamiento, elección de las fuentes y manejo adecuado.

CONCLUSIONES

1. Dosis de 1% (p/v) de biosílíce aplicado al follaje de cebolla, aumentó la altura de planta, número de hojas por planta, diámetro de bulbo y peso fresco total, registrando incrementos del orden de 6.08%, 11.27%, 13.31%, 28.2 % en relación al testigo, respectivamente.
2. La aplicación de 1% (p/v) de levadura de panificación al suelo favoreció el crecimiento longitudinal de la raíz de cebolla, siendo 39.59% más en comparación al testigo. Además, se obtuvo un aumento del 6.7% en la materia seca de bulbo y un crecimiento de 8.05% en la longitud de bulbo, respecto al testigo.
3. El uso simultáneo de biosílíce foliar (1% p/v) y levadura de panificación (1% p/v) al suelo, produjo el mayor peso de bulbo (236.48 g), influyendo en el mayor rendimiento total de bulbos (98534.7 kg ha⁻¹).

RECOMENDACIONES

1. Bioestimular con biosílice foliar en dosis de 1% (p/v), junto a levadura de panificación (1% p/v) al suelo en el cultivo de cebolla de la variedad Roja Arequipeña. Con la finalidad de mejorar su potencialidad productiva.
2. Continuar investigando el uso de ambos bioestimulantes en el cultivo de cebolla y otros cultivos de importancia agronómica, debido a los efectos positivos que ofrecen en los cultivos y disminuir el uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelaal, K. A., Mazrou, Y. S., & Hafez, Y. M. (2020). Silicon Foliar Application Mitigates Salt Stress in Sweet Pepper Plants by Enhancing Water Status, Photosynthesis, Antioxidant Enzyme Activity and Fruit Yield. *Plants* , 9(6), 733. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants9060733>
- Agramonte , J. (1983). *Las diatomitas de Ayacucho y su paralelo con los de Tarucani y Bayovar*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Al-Amery, N. J., & Mohammed, M. M. (2017). Influence of adding ascorbic acid and yeast on growth and yield and Rhizobium of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under irrigation with saline water. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 10(10), 23-28. <https://doi.org/DOI: 10.9790/2380-1010012328>
- Al-madhagi, I. A. (2019). Effect of humic acid and yeast on the yield of greenhouse cucumber. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 2(1), 67-82. <https://doi.org/https://doi.org/10.22077/jhpr.2018.1773.1029>
- Ameer, M. A., & Hussein, H. N. (2020). Induction of Rhizophagy by yeast *Saccharomyces cerevisiae* in roots of lettuce *Lactuca sativa*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1664(1), 012116. <https://doi.org/doi:10.1088/1742-6596/1664/1/012116>
- Apáez Barrios, P., Lara Chávez, B., Apáez Barrios, M., & Raya Montaña, Y. A. (2023). Foliar application of *Ascophyllum nodosum* and diatomaceous earth in the production of cowpea and corn. *E-CUCBA*(20), 103 -113. <https://doi.org/https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.302>
- Arteaga, A. (2022). *Rol de los bioestimulantes en el mecanismo de defensa de las plantas: Revisión de literatura [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]*. Biblioteca Wilson Popenoe. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/7375>
- Aurangzaib, M., Ahmad, Z., Jalil, M. I., Nawaz, F., Shaheen, M., Ahmad, M., . . . Tabassum , M. A. (2022). Foliar spray of silicon confers drought tolerance in wheat (*Triticum*

- aestivum* L.) by enhancing morpho-physiological and antioxidant potential. *Silicon*, 14, 4793–4807. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12633-021-01271-5>
- Banda Valdivia, K. (2020). *Comportamiento de la cebolla roja (Allium cepa. L.) cv.'Pinta F1' con tres densidades de plantación y tres niveles de fertilización en zona árida* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11368>
- Bañico Huamán, J. F. (2020). *Distanciamiento de emisores en laterales de riego por goteo y densidad de plantas en el rendimiento de cebolla (Allium cepa L.), Canaán 2750 msnm- Ayacucho* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4537>
- Basel , N., Masoud, W., & Abu-Khalaf, N. (2022). Effect of Yeast Bio-fertilizer on Lettuce Growth and Productivity. *Indian Journal Of Agricultural Research*, 56(4), 463-468. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-700>
- Basirat, M., & Mousavi, S. M. (2022). Effect of Foliar Application of Silicon and Salicylic Acid on Regulation of Yield and Nutritional Responses of Greenhouse Cucumber Under High Temperature. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(5), 1978–1988. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00344-021-10562-5>
- Bhangare, R. V., & Shinde, S. S. (2020). Study on effect of soil and foliar application of silicon on growth, yield and quality on Kharif onion (*Allium cepa* L.). *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*, 35(3), 128-134. <https://doi.org/10.18805/BKAP236>.
- Bhardwaj, S., Sharma, D., Singh, S., Ramamurthy, P. C., Verma, T., Pujari, M., . . . Prasad, R. (2023). Physiological and molecular insights into the role of silicon in improving plant performance under abiotic stresses. *Plant and Soil* , 486(1), 25–43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11104-022-05395-4>
- Cabezas, A., Camus, F., Condori, W., González, F., & Mazuela, P. (2022). El silicio (Si) y su efecto mitigador del estrés salino en cultivos hortícolas. *Idesia (Arica)*, 40(1), 129-133. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000100129>

- Castillo, R. G., Marín, G. P., & León, R. G. (2013). Absorción de nutrientes a través de la hoja. *Uniciencia*, 27(1), 232-244. <https://doi.org/https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/4952>
- Ccaseccsa Ramos, O. R. (2019). *Densidad de plantas y niveles de guano de isla en el rendimiento de cebolla (Allium cepa L.) bajo labranza de conservación. Canaán 2750 msnm - Ayacucho [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]*. Repositorio institucional. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3552>
- Coaguila, J. (2021). *Absorción de nutrientes y acumulación de sólidos totales en cebolla china Allium cepa var. Aggregatum cv. 'Criolla Limeña' [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín]*. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/50e40500-a297-4859-8931-e581eea1dead/content>
- Costa, N. D., & Resende, G. M. (2007). *Cultivo da Cebola no Nordeste*. Embrapa. <https://doi.org/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/112101/1/Cultivo-da-cebola.pdf>
- Cristancho, V. J., Buitrago, A., & Corredor, L. R. (1990). *El cultivo de la cebolla cabezona*. SENA.
- Debona, D., Rodrigues, F. A., & Datnoff, L. E. (2017). Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 85-107. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035312>
- Dehghanipoodeh, S., Ghobadi, C., Baninasab, B., Gheysari, M., & Shiranibidabadi, S. (2018). Effect of Silicon on Growth and Development of Strawberry under Water Deficit Conditions. *Horticultural Plant Journal*, 4(6), 226-232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.09.004>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2008). *Estimación e interpretación del Coeficiente de variación de la encuesta cocensal*.

- Detmann, K., Araújo, W. L., Martins, S. C., Sanglard, L. M., Reis, J. V., Detmann, E., . . . DaMatta, F. M. (2012). Silicon nutrition increases grain yield, which, in turn, exerts a feed-forward stimulation of photosynthetic rates via enhanced mesophyll conductance and alters primary metabolism in rice. *New Phytologist*, 196(3), 752-762. <https://doi.org/> https://doi.org
- Dirección General de Desarrollo Minero. (2017). *Perfil de Mercado de la Diatomita*. Cordinacion General de Minería.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/><https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Enciso, C., Vera, P., Santacruz, A., & González, J. (2019). *Guía técnica cultivo de cebolla*. JICA. <https://doi.org/>https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_02.pdf
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., & Brown, P. (2015). *Fertilización Foliar. Principios Científicos y Práctica de Campo*. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes. <https://doi.org/>https://www.guiaverde.com/files/company/03032016122136_libro_2015_foliar_fertilizers_spanish_def.pdf
- Fornaris, G. (2012). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Cebolla*.
- Fouda, K., & Abd-Elhamied, A. (2017). Influence of Mineral Fertilization Rate and Foliar Application of Yeast and Ascorbic Acid on Yield, Vegetative Growth and Fruits Quality of Eggplant. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 8(11), 643 - 648. <https://doi.org/10.21608/jssae.2017.38191>
- Frioni, L. (2006). *Microbiología: básica, ambiental y agrícola*. Departamento de Publicaciones de la Facultad de Agronomía - Universidad de la República.
- Galindo, J. (2020). *Cebolla de bulbo (Allium cepa L.)*. Corredor Tecnológico Agroindustrial.
- Gao, H., Yu, W., Yang, X., Liang, J., Sun, X., Sun, M., . . . Peng, F. (2022). Silicon enhances the drought resistance of peach seedlings by regulating hormone, amino acid, and sugar

metabolism. *BMC Plant Biology*, 22(1), 422.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12870-022-03785-5>

- Hassan , S., Hassan, K., & Mohammad, S. (2019). Effect of Bread Yeast And humic acid on Growth And Yield Traits on Broad Bean (*Vicia Faba L.*). *The Journal of Duhok University*, 22(1), 98-106. <https://doi.org/https://doi.org/10.26682/avuod.2019.22.1.10>
- Hassan, A., Ullah, A., Hammad, Jan, Z., Zakirullah, Khan, A., . . . Shah, Z. (2023). Effect of humic acid and bread yeast application on the vegetative, yield and qualitative attributes of tomato (*Lycopersicon esculentum L.*). *Pure and Applied Biology*, 12(1), 677-682. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2023.120069>
- Hassanain, M. A., Osman, A. R., Sewedan, E., & El-Dein, M. S. (2018). Influence of Nitrogen and Yeast on Production of Marigold Plants *Tagetes erecta*. *World Rural Observations*, 10(1), 37-46. <https://doi.org/10.7537/marswro100118.05>
- Hernández, M., Cordero, G., Ruiz, M., & Cantoral , J. (2021). Culturable Yeasts as Biofertilizers and Biopesticides for a Sustainable Agriculture: A Comprehensive Review. *Plants*, 10(5), 822. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants10050822>
- Herrera, C., Morales, M., Sánchez, G., & Paredes, A. (2006). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas en cebolla de bulbo*. Corpoica.
- Hussain, S., Mumtaz, M., Manzoor, S., Shuxian, L., Ahmed, I., Skalicky, M., . . . Liu, W. (2021). Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 159, 43-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.053>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2012). *Perú: Consumo per cápita de los principales alimentos 2008-2009*. Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales-INEI.
https://doi.org/https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1028/Libro.pdf

- Jalali, P., Roosta, H. R., Khodadadi, M., Torkashvand, A. M., & Jahromi, M. G. (2022). Effects of brown seaweed extract, silicon, and selenium on fruit quality and yield of tomato under different substrates. *PLoS One*, 17(12), e0277923. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277923>
- Jaramillo, C. X. (2019). Valorización agrícola de la levasa (subproducto de la producción de levadura para panadería). *Suelos Ecuatoriales*, 49(1), 53-58. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7831528>
- Jaramillo, S., Jaramillo, J., & Jaramillo, A. (1997). Estudio fenológico de tres tipos de cebolla de bulbo *Allium cepa* L. *Acta Agronómica*, 47(3), 16-23. https://doi.org/https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/48195
- Kahlel, A. (2015). Effect of Organic Fertilizer and Dry Bread Yeast on Growth and Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agriculture and Food Technology*, 5(1), 5-11. <https://doi.org/https://dergipark.org.tr/en/pub/turkjans/issue/13311/161010>
- Kannan, S. (2010). Foliar Fertilization for Sustainable Crop Production. *Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming*, 4, 371–402. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6_13
- Khan, M. I., Ashfaq, F., Chhillar, H., Irfan, M., & Khan, N. A. (2021). The intricacy of silicon, plant growth regulators and other signaling molecules for abiotic stress tolerance: An entrancing crosstalk between stress alleviators. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.024>
- Kowalska, J., Krzyminska, J., & Tyburski, J. (2022). Yeasts as a Potential Biological Agent in Plant Disease Protection and Yield Improvement—A Short Review. *Agriculture*, 12(9), 1404. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture12091404>
- Lonhienne, T., Mason, M., Ragan, M., Hugenholtz, P., Schmidt, S., & Paungfoo-Lonhienne, C. (2014). Yeast as a Biofertilizer Alters Plant Growth and Morphology. *Crop Science*, 54(2), 785-790. <https://doi.org/https://doi.org/10.2135/cropsci2013.07.0488>

- Mi, R., Bhat, B., Yousuf, H., Raza, A., & Charagh, S. (2022). Multidimensional Role of Silicon to Activate Resilient Plant Growth and to Mitigate Abiotic Stress. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2022.819658>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2019). *Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de cebolla*. Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2016). *Análisis integral de la logística en el Perú - 5 cadenas de exportación*. Norman Bachmann.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *Cebolla Semana Nacional de Frutas y Verduras 2021*.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2024). *Boletín Mensual "El Agro en Cifras" - 2023*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.
- Ministerio de Fomento, Industria y Comercio. (2008). *Ficha producto Cebolla*. Departamento de Análisis Económico.
- Mohammed, A. A., Ahmad, T. A., Noori, I. M., Aziz, R. R., & Ahmad, F. K. (2020). Application of baking yeast to induce rooting in hardwood cuttings of olive (*Olea europaea* L.) cv. Sorani . *Euphrates Journal of Agriculture Science*, 12(2), 274-280. <https://doi.org/https://hal.science/hal-04045067>
- Molina, E. (2002). *Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones*.
- Morales, C. (2017). *Manual de manejo agronómico del arándano*. INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://doi.org/https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6673/NR40907.pdf?sequence=41>
- More, S., Shinde, S., & Kasture, M. (2019). Status of silica in agriculture: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 8(6), 211-219. <https://www.thepharmajournal.com/>
- Muccill, S., & Restuccia, C. (2015). Bioprotective Role of Yeasts. *Microorganisms*, 3(4), 588-611. <https://doi.org/doi: 10.3390/microorganisms3040588>

- Mukherjee, A., Verma, J., Gaurav, A. K., Chouhan, G., Patel, J., & Hesham, A.-L. (2020). Yeast a potential bio-agent: future for plant growth and postharvest disease management for sustainable agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(4), 1497–1510. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00253-019-10321-3>
- Nada, M. (2020). Effect of Foliar Spray with Potassium Silicate and Glycine Betaine on Growth and Early Yield Quality of Strawberry Plants. *Journal of Plant Production*, 11(12), 1295 - 1302. <https://doi.org/10.21608/JPP.2020.149800>
- Nimsi, K., Manjusha, K., Kathiresan, K., & Arya, H. (2023). Plant growth-promoting yeasts (PGPY), the latest entrant for use in sustainable agriculture: a review. *Journal of Applied Microbiology*, 134(2), lxac088. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jambio/lxac088>
- Ning, D., Zhang, Y., Li, X., Qin, A., Huang, C., Fu, Y., . . . Duan, A. (2023). The Effects of Foliar Supplementation of Silicon on Physiological and Biochemical Responses of Winter Wheat to Drought Stress during Different Growth Stages. *Plants*, 12(12), 2386. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants12122386>
- Nowakowska, J., Dang, M., Kiełtyk, P., Niemczyk, M., Malewski, T., Szulc, W., . . . Oszako, T. (2024). Silicon Modifies Photosynthesis Efficiency and hsp Gene Expression in European Beech (*Fagus sylvatica*) Seedlings Exposed to Drought Stress. *Genes*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/genes15091233>
- Pinzón, H., Ospina, J., & Báez, A. (2006). *Producción y tecnologías de curado y almacenamiento de cebolla de bulbo*. Corpoica. https://doi.org/https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2127/41467_41428.pdf?sequence=1
- Ramirez, J. (2012). Caracterización de las diatomitas de Tambillo, Quicapata y La Moya - Cuenca Ayacucho. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12544/987>
- Rangwala, T., Bafna, A., Vyas, N., & Gupta, R. (2019). Beneficial Role of Soluble Silica in Enhancing Chlorophyll Content in Onion Leaves. *Current Agriculture Research Journal*, 7(3), 358. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.7.3.12>

- Ratnakumar, P., Deokate, P., Rane, J., Jain, N., Kumar, V., Berghe, D., & Minhas, P. (2016). Effect of Ortho-Silicic Acid Exogenous Application on Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Drought. *Journal of Functional And Environmental Botany* , 6(1), 34-42. <http://dx.doi.org/10.5958/2231-1750.2016.00006.8>
- Raya-Montaña, Y. A., Apáez Barrios, M., Lara Chávez, B., & Apáez Barrios, P. (2022). Producción de Girasol (*Helianthus annuus* L.) con aplicación foliar de tierra de diatomea. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081001>
- Roupheal , Y., & Colla, G. (2020). Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11(40). <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Sánchez-Melgarejo, M. C. (2020). *Adaptacion de cuatro variedades de Cebolla (Allium cepa L.) en condiciones agroecológicas de Hacrachuco – Huánuco [Tesis de grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizan Huánuco]*. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/7308>
- Taha, R. S., Seleiman, M. F., Alhammad, B. A., Alkahtani, J., Alwahibi, M. S., & Mahdi, A. H. (2021). Activated Yeast Extract Enhances Growth, Anatomical Structure, and Productivity of *Lupinus termis* L. Plants under Actual Salinity Conditions. *Agronomy* , 11(1), 74. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy11010074>
- Trejo-Téllez, L. I., García-Jiménez, A., Escobar-Sepúlveda, H. F., Ramírez-Olvera, S. M., Bello-Bello, J. J., & Gómez-Merino, F. C. (2020). Silicon induces hormetic dose-response effects on growth and concentrations of chlorophylls, amino acids and sugars in pepper plants during the early developmental stage. *PeerJ*, 8, e9224. <https://doi.org/https://doi.org/10.7717/peerj.9224>
- Trinidad , A., & Aguilar, D. (1999). Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 247-255. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317309>

- Tshapa, L., Naidoo, G., & Naidoo, K. (2022). Yeast supplementation alleviates the negative effects of greywater irrigation on lettuce and maize. *Water SA*, 48(3), 255-263. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17159/wsa/2022.v48.i3.3939>
- Twfiq, A., Al-Shaheen, M., Farhan, M. A., & Al-Shaheen, M. (2018). The possibility of cytokinins production from regular dry bakery yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Journal of Cultural Heritage*, 1(1).
- Vázquez , M. M., Quintana, S., Médici, S., & Gende, L. B. (2022). Evaluar la efectividad de la levadura de cerveza subproducto de la industria cervecera como bioestimulante en hidroponía. *Innotec*(24), e622. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.26461/24.05>
- Verdeja, L., García, M., Vasquez, E., Barranzuela, J., & Pastor, R. (1992). *Contribución al estudio de las diatomitas del Perú*. CSIC.
- Vidigal, S. M., Moreira, M., Paes, J. M., & Pedrosa, M. (2022). *Nutrição e adubação de cebola*. EPAMIG. Circular Técnica.
- Vidigal, S., Pereira, P. R., & Pacheco, D. (2002). Nutrição mineral e adubação da cebola. *Informe Agropecuário*, 23(218), 36-50. <https://livrariaepamig.com.br/wp-content/uploads/2023/03/IA-218.pdf>
- Wang, M., Wang, R., Mu, L., Ruan, J., Shen, Q., & Guo, S. (2021). Functions of silicon in plant drought stress responses. *Horticulture Research*, 8, 254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41438-021-00681-1>
- Wang, W., Cai, C., He, J., Gu, J., Zhu, G., Zhang, W., . . . Liu, G. (2020). Yield, dry matter distribution and photosynthetic characteristics of rice under elevated CO₂ and increased temperature conditions. *Field Crops Research*, 248, 107605. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107605>
- Wu, G., Ling, J., Liu , Z.-X., Liu, Y.-P., Chen, X.-M., Wen, Y., & Zhou , S.-L. (2022). Soil warming and straw return impacts on winter wheat phenology, photosynthesis, root growth, and grain yield in the North China Plain. *Field Crops Research*, 283, 108545. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108545>

- Yan , G. C., Miroslav , N., Ye , M. J., Xiao , Z.-x., & Liang, Y. C. (2018). Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(10), 2138–2150. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62037-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62037-4)
- Yavaş, İ., & Ünay, A. (2017). The Role of Silicon under Biotic and Abiotic Stress Conditions. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(2), 204-209. <https://doi.org/https://doi.org/10.19159/tutad.300023>
- Yzarra, W., & López, F. (2011). *Manual de observaciones fenológicas*. Servicio de Meteorología e Hidrología – SENAMHI.
- Zhang, Y., Shi, Y., Gong, H.-j., Zhao, H.-l., Li, H.-l., Hu, Y.-h., & Wang, Y.-c. (2018). Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(10), 2151-2159. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62038-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62038-6)

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico durante la fase experimental

Anexo 1.1. Parcela experimental



Anexo 1.2. Preparación de terreno



Anexo 1.3. Abonamiento orgánico con humus de lombriz



Anexo 1.4. Preparación de plántulas de cebolla



Anexo 1.5. Trasplante de plántulas de cebolla



Anexo 1.6. Deshierbo



Anexo 1.7. Aplicación de levadura de panificación al suelo



Anexo 1.8. Preparación previa de biosílice



Anexo 1.9. Aplicación foliar de biosílice



Anexo 1.10. Evaluación de los parámetros



Anexo 1.11. Evaluación de longitud de raíz



Anexo 1.12. Evaluación de la altura de planta



Anexo 1.13. Evaluación de diámetro de bulbo



Anexo 1.14. Evaluación materia de seca de bulbo y planta total



Anexo 2. Matriz de resultados de la evaluación de los parámetros estudiados

Bloque	Nivel de biosílíce	Nivel de levadura	Altura de planta (cm)	Número de hojas por planta	Longitud de raíz (cm)	Peso de bulbo (g)	Materia seca de bulbo	Diámetro de bulbo (cm)	Longitud de bulbo (cm)	Materia fresca total (g)	Materia seca total	Rendimiento total (kg/ha)
1	0%	0%	66.45	10.05	6.55	174.30	9.72	6.36	7.72	264.65	10.05	72624.99
1	0%	1%	67.85	11.10	9.06	193.75	10.26	6.77	8.83	300.20	10.00	80729.15
1	0.50%	0%	67.65	11.25	7.41	179.10	10.03	6.65	8.08	304.10	10.08	74624.99
1	0.50%	1%	69.75	10.50	9.81	221.05	10.87	7.36	9.46	322.90	9.91	92104.15
1	1%	0%	70.05	12.20	8.34	205.00	10.16	7.42	8.59	344.95	9.94	85416.65
1	1%	1%	73.10	12.05	11.14	234.45	10.86	7.75	8.94	376.40	10.03	97687.48
2	0%	0%	65.15	9.90	6.45	170.10	9.97	6.30	7.57	238.00	9.95	70874.99
2	0%	1%	67.85	11.25	9.30	191.60	10.17	6.80	8.44	289.30	9.79	79833.32
2	0.50%	0%	73.10	12.25	7.07	176.35	10.14	6.93	8.39	337.35	10.06	73479.15
2	0.50%	1%	67.15	11.55	10.50	225.65	10.92	7.44	9.36	329.20	10.04	94020.82
2	1%	0%	68.55	11.15	8.24	197.05	10.22	6.82	8.63	315.90	10.14	82104.15
2	1%	1%	75.55	11.40	12.03	238.65	11.02	7.25	9.27	381.10	10.11	99437.48
3	0%	0%	70.35	10.10	6.31	173.85	9.34	6.02	7.52	273.80	9.92	72437.49
3	0%	1%	68.30	10.40	9.19	189.85	10.19	6.52	7.93	298.30	10.26	79104.15
3	0.50%	0%	69.05	10.85	7.72	177.25	10.04	6.81	8.49	317.60	9.89	73854.15
3	0.50%	1%	70.20	10.90	10.36	223.25	10.72	7.16	9.07	334.85	10.14	93020.82
3	1%	0%	73.15	12.05	8.08	204.80	10.25	7.07	8.72	346.45	9.88	85333.32
3	1%	1%	70.30	11.05	10.92	236.35	10.89	7.62	8.33	369.30	10.29	98479.15

Anexo 3. Análisis de caracterización de suelo del C.E. Canaán-UNSCH



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS.
- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS.
- ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

Solicitante	Sr. Yober Cartagena Gamboa				Fecha	10/02/2024		
Proyecto	Biosilíce foliar y levadura de panificación al suelo en el rendimiento de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023							
Departamento	Ayacucho	Provincia:	Huamanga	Distrito:	A.A. Cáceres D.	Localidad:	N/A	
Sector			Altitud (m.s.n.m.)	N/A	Superficie:		Coordenadas:	N/A
Código de muestra	12291	Referencia de Campo:	Canaán	Cultivo anterior:		Cultivo a sembrar		

Parámetro	Resultado	Unidad	Clasificación
1 pH (1:1)	7.19	Unidad pH	Neutro
2 Conductividad (1:1)	0.54	dS m. ⁻¹	No salino
3 Carbonatos	0.00	%	Muy bajo
4 Materia orgánica	1.76	%	Bajo
5 Fósforo disponible	37.41	ppm	Muy Alto
6 Potasio disponible	280	ppm	Muy Alto
7 Nitrógeno total	0.09	%	Bajo
8 C.I.C.	26.93	Cmol (+).kg ⁻¹	Alto
10 Ca ⁺⁺	20.30	Cmol (+).kg ⁻¹	Alto
11 Mg ⁺⁺	4.43	Cmol (+).kg ⁻¹	Alto
12 K ⁺	1.32	Cmol (+).kg ⁻¹	Alto
13 Na ⁺	0.87	Cmol (+).kg ⁻¹	Medio
14 Al ³⁺ + H ⁺	0.00	Cmol (+).kg ⁻¹	Muy bajo
15 Saturación de bases	100	%	Alto

Clase textural	Arena	%	Limo	%	Arcilla	%	Clase	Fr.Ar.
	41		30		29			

Parámetro	Resultado	Valoración
Ca / K	15.34	Ideal
Ca / Mg	4.58	Deficiencia de Calcio
Mg / K	3.35	Deficiencia de Potasio
{Ca + Mg + K}/Al		

10/02/2024 Ph.D. Maribel Córdova Gómez
Responsable de Laboratorio

A = arena, A.Fr = Arena franca; Fr.A. = Franco arenoso; Fr = Franco; Fr.L = Franco limoso; L = Limoso; FrArA = Franco arcillo arenoso; FrAr = Franco arcilloso; FrArL = Franco arcillo limoso; ArA = Arcillo arenoso; ArL = Arcillo limoso; Ar = Arcilloso.

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / 966938028 - 966631889 / 982781298 agrolab107@gmail.com

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. YOBER CARTAGENA GAMBOA
R.D. N° 350-2024-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los doce días del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, siendo las diez 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 Dr. Rolando Bautista Gómez, Ph.D. Marhleni Cerda Gómez como asesora, M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez y Ing. Edgar Tenorio Mancilla; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Biosílíce foliar y levadura de panificación al suelo en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo presentado por el Bachiller **YOBER CARTAGENA GAMBOA**.

El señor Decano (e) 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 invito 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
Dr. Rolando Bautista Gómez	16	15	16	16
Ph.D. Marhleni Cerda Gómez	16	16	17	16
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	16	16	17	16
Ing. Edgar Tenorio Mancilla	16	16	15	16
PROMEDIO GENERAL				16

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

Dr. Rolando Bautista Gómez
Presidente

Ph.D. Marhleni Cerda Gómez
Asesor

M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Jurado

Ing. Edgar Tenorio Mancilla
Jurado

Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Biosílce foliar y levadura de panificación al suelo en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023

Autor : Yober CARTAGENA GAMBOA
Asesor : Marhleni CERDA GÓMEZ

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **deisiseis (16 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

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

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2632012906

Ayacucho, 01 de abril de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Dr. Yuri Gálvez Gastelú
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de investigación

Biosílice foliar y levadura de panificación al suelo en el rendimiento de cebolla (*Allium* cepa L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023

por Yober Cartagena Gamboa

Fecha de entrega: 01-abr-2025 10:26a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2632012906

Nombre del archivo: Borrador_de_tesis_cebolla.docx (4.72M)

Total de palabras: 15795

Total de caracteres: 85554

Biosílíce foliar y levadura de panificación al suelo en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

5%

2

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

5%

3

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

app.ingemmet.gob.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

cdn.www.gob.pe

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.umsa.bo

Fuente de Internet

<1%

8

repositorioinstitucional.buap.mx

Fuente de Internet

<1%

9	www.scielo.cl Fuente de Internet	<1 %
10	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
11	www.cio.mx Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
13	cia.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uaaam.mx Fuente de Internet	<1 %
15	www.smcsmx.org Fuente de Internet	<1 %
16	colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
17	Javier Gerardo Zuzunaga Rosas. "Evaluación del producto bioestimulante BALOX como inductor de tolerancia en cultivos hortícolas frente al estrés causado por el exceso de sales solubles en suelos y aguas", Universitat Politecnica de Valencia, 2024 Publicación	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

**BIOSÍLICE FOLIAR Y LEVADURA DE PANIFICACIÓN AL SUELO EN EL
RENDIMIENTO DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.), CANAÁN A 2750 MSNM,**

AYACUCHO 2023

Cartagena Gamboa, Yober

yober.cartagena.01@unsch.edu.pe

Cerda Gómez, Marhleni

marhleni.cerda@unsch.edu.pe

Área de investigación: Medio ambiente

Línea de investigación: Sistema de producción agrícola

RESUMEN

La investigación se desarrolló durante la campaña 2023, en el Centro Experimental Canaán, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, con el objetivo de evaluar el efecto de niveles de biosíllice foliar (0, 0.5 y 1 % p/v) y levadura de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*) en dos niveles (0, 1% p/v) al suelo, en parámetros de producción y rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), variedad roja arequipeña. Los tratamientos corresponden a un arreglo factorial de 3 niveles de biosíllice foliar y 2 de levadura de pan al suelo, con tres repeticiones haciendo un total de 18 unidades experimentales, dispuestos en el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). Los resultados muestran que la aplicación foliar de 1% (p/v) de biosíllice junto a 1% (p/v) de levadura de panificación al suelo, interactúan significativamente para aumentar el peso de bulbo (236.48 g) y rendimiento total (98534.7 kg ha⁻¹) del cultivo. La mayor longitud de raíz, bulbo y materia seca de bulbo fueron obtenidos tras aplicar 1% (p/v) de levadura de panificación al suelo. Dosis de 1% (p/v) de biosíllice foliar aumentó la altura de planta, número de hojas por planta, diámetro de bulbo y peso fresco total.

Palabras clave: *Saccharomyces cerevisiae*, levadura, biosíllice, foliar

FOLIAR BIOSILICA AND BAKER'S YEAST TO THE SOIL IN THE YIELD OF ONION (*Allium cepa* L.), CANAÁN AT 2750 MSNM, AYACUCHO 2023

ABSTRACT

The research was developed during the 2023 season, at the Canaán Experimental Center of the National University of San Cristóbal de Huamanga, with the objective of evaluating the effect of foliar biosilica levels (0, 0.5 and 1 % w/v) and baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) at two levels (0, 1% w/v) in the soil, on production and yield parameters of onion (*Allium cepa* L.), Arequipa red variety. The treatments correspond to a factorial arrangement of 3 levels of foliar biosilica and 2 of baker's yeast to the soil, with three replications for a total of 18 experimental units, arranged in a Randomized Complete Block Design (RCBD). The results show that foliar application of 1% (w/v) biosilica together with 1% (w/v) baker's yeast to the soil, interact significantly to increase bulb weight (236.48 g) and total yield (98534.7 kg ha⁻¹) of the crop. The highest root length, bulb and bulb dry matter were obtained after applying 1% (w/v) baker's yeast to the soil. Doses of 1% (w/v) foliar biosilica increased plant height, number of leaves per plant, bulb diameter and total fresh weight.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*, yeast, biosilica, foliar

1. INTRODUCCIÓN

La cebolla es una planta perteneciente a la familia Alliaceae, clasificada como *Allium cepa* L (Enciso et al., 2019). Es ampliamente extendida, con gran número de variedades adaptadas a diferentes condiciones climáticas (MIFIC, 2008), en Perú se cultiva en valles de costa e interandinos, con una superficie de 13 322 hectáreas el 2022 alcanzó una producción nacional de 515 378 toneladas, siendo Arequipa la de mayor producción (306 060 t), con rendimiento promedio nacional de 38 687 kg ha⁻¹, en tanto Ayacucho consigue una producción promedio de 1787 t, con rendimiento de 9164 kg ha⁻¹ (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2024). La producción de cebolla, normalmente implica el uso desmedido de fertilizantes sintéticos, con consecuencias negativas en términos de desequilibrios nutricionales, biodiversidad microbiana del suelo y contaminación ambiental. Alternativamente crece el uso de compuestos orgánicos, organismos fijadores, solubilizadores o los que ayuden a aumentar la eficiencia de uso de fertilizantes aplicados, contribuyendo a disminuir el uso de fuentes inorgánicas (Rouphael y

Colla, 2020). Según Arteaga (2022) el uso de bioestimulantes contribuye a aumentar el rendimiento de cultivos. Las levaduras muestran potencial como agentes biológicos para la promoción del crecimiento de las plantas y el manejo de enfermedades postcosecha en prácticas agrícolas sustentables (Mukherjee et al., 2020). Se han considerado como promotores de crecimiento por su influencia en la citoquinina, influye en la síntesis de proteínas y vitaminas especialmente del complejo B (Hassanain et al., 2018). En condiciones hidropónicas se demostró la rizofagia en lechuga (Ameer y Hussein, 2020). De otro lado el silicio, ampliamente investigado por su efecto fundamental en el crecimiento y rendimiento de los cultivos en diferentes situaciones de estrés (Raya et al., 2022). Influye mejorando la actividad fotosintética por el incremento del contenido de clorofila (Abdelaal et al., 2020). El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*) al suelo, en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), en Canaán a 2750 msnm, Ayacucho 2023.

2. METODOLOGÍA

Ubicación

El trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental Canaán, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, a 2750 msnm, cuya ubicación está entre las coordenadas geográficas de 13° 9'20.85"Latitud Sur y 74°13'12.72"Longitud Oeste. Del mismo modo el trabajo de laboratorio se llevó cabo en el laboratorio de Examen de Productos Agrícolas (AD 306) de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho.

Características del suelo

Los resultados del análisis muestran un pH neutro, de contenido bajo en materia orgánica y nitrógeno total, potasio y fósforo disponibles alto y muy alto respectivamente, sin sales, moderadamente fino de textura. Las relaciones catiónicas, muestran un contenido alto de magnesio, que genera desequilibrio en desmedro de calcio.

Diatomita o Biosílice

El biosílice se obtuvo de la diatomita extraída del yacimiento de Quicapata del distrito de Carmen Alto de la región de Ayacucho. Se utilizó este material debido a su elevado contenido de SiO₂. Estos bloques de tonalidad blanquecina, los cuales tras eliminar las impurezas, fueron sometidos a un proceso de molienda hasta convertirlos en polvo. Por último, se tamizó utilizando un tamiz fino con la finalidad de obtener polvos de textura más fina (0.125 mm).

Material biológico

Los materiales biológicos fueron la cebolla (*Allium cepa* L.) de la variedad roja arequipeña y la levadura de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*), ingrediente principal de los productos comerciales utilizados en la industria panadera.

Diseño experimental y Análisis estadístico

El diseño experimental empleado fue el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con un arreglo factorial de tres niveles de biosílice (0, 0.5 y 1 % p/v) y dos de levadura de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*) (0 y 1 % p/v), con 3 repeticiones, siendo un total de 18 unidades experimentales.

Tratamientos

Tabla 1

Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Descripción	Código
T1	Testigo (sin biosílice y sin levadura)	b1l1
T2	Biosílice (0% p/v) + levadura de panificación al suelo (1% p/v)	b1l2
T3	Biosílice (0.5% p/v) + levadura de panificación al suelo (0% p/v)	b2l1
T4	Biosílice (0.5% p/v) + levadura de panificación al suelo (1% p/v)	b2l2
T5	Biosílice (1% p/v) + levadura de panificación al suelo (0% p/v)	b3l1
T6	Biosílice (1% p/v) + levadura de panificación al suelo (1% p/v)	b3l2

Nota: La concentración del ingrediente activo de los bioestimulantes está expresado en términos de peso/volumen (p/v).

Instalación y conducción del experimento

- **Preparación del terreno.** El proceso de la preparación de terreno, se inició con la eliminación de los rastrojos presentes en la parcela, lo que permitió proceder al arado usando un tractor agrícola, finalizado esta labor se pasó a mullir los terrones. La fecha de esta labor fue el 27 de julio del 2023.
- **Surcado y preparación de platabandas.** El surcado y la preparación de las platabandas se realizó una vez concluida la preparación del terreno. Utilizando azadones y cordeles

se formó los surcos y las platabandas, los cuales fueron nivelados con la asistencia de rastrillos. Actividades que se realizaron el 8 de agosto del 2023.

- **Demarcación del campo experimental.** La labor de demarcación del campo experimental se realizó el 10 de agosto del 2023, haciendo uso de las herramientas como rafia, estacas, wincha y pico. La demarcación del campo experimental se procedió en función al croquis de los bloques, parcelas y calles preestablecido.
- **Abonado.** La formulación del abonado se efectuó en base al análisis de suelo realizado, así como la extracción de nutrientes por la cebolla. Se empleó el humus de lombriz como abono orgánico en dosis de 1.6 t ha^{-1} , aplicada a chorro continuo y cubierto con una capa de suelo, realizada dos semanas antes del trasplante de las plántulas. La incorporación de fertilizantes sintéticos (macronutrientes y micronutrientes) a todos los tratamientos fue fraccionada, según la fórmula establecida de acuerdo al análisis de suelo de la parcela: $118-81-36-36 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O-S}$ y $2.3-0.25-0.13-0.43-0.5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Fe-Zn-Cu-Mn-B . El primer abonamiento después del trasplante, aplicado el 30 de agosto del 2023 consistió en el aporte de fósforo y nitrógeno (Fosfato di amónico y urea). Del mismo modo se aplicó la mitad de los microelementos siendo quelato para el hierro, sulfato de zinc, sulfato de cobre, sulfato de manganeso y etibor. El segundo abonamiento a inicio de formación de bulbo, el 3 de noviembre del 2023, una segunda dosis de fósforo, nitrógeno y potasio y la otra mitad de los micronutrientes. Finalmente el 18 de noviembre del 2023 se aplica la última fracción de fósforo y nitrógeno.
- **Trasplante.** Se emplearon plántulas de cebolla roja arequipeña de edad apropiada para el trasplante. Esta tarea consistió en regar las platabandas horas antes del trasplante, una vez que el suelo alcanzó una humedad óptima, se procedió a colocar las plántulas en los hoyos previamente preparados en las platabandas constituidas por 6 hileras con distanciamientos entre plantas de 12 cm y entre hileras de 13 cm, alcanzando así una densidad de 416666 plantas por hectárea. Esta actividad se realizó el 25 de agosto del 2023.
- **Aplicación de biosílice.** La aplicación del biosílice se dio en tres oportunidades a lo largo del ciclo fenológico de la cebolla roja arequipeña, habiéndose considerado a 30, 40 y 50 días después del trasplante (DDT). Las soluciones preparadas en dosis de (0.5 y 1 % p/v). Llegándose a aplicar 30 L/parcela experimental.
- **Aplicación de levadura.** La levadura de panificación (*Sacharomyces cerevisiae*) usado para inocular las cebollas fueron previamente activadas 48 h antes de su aplicación. Se

empleó 1 kg de azúcar en agua tibia, con 1 kg de levadura, en una solución homogénea que se almacenó en envase hermético con trampa de gas. A partir del cual se diluye para su aplicación. Se consideró aplicar en 3 ocasiones a los 30, 40 y 50 DDT, como solución tipo drench depositándolo a un lado de las plantas en horas de la tarde.

- **Riego.** Con el fin de maximizar la eficiencia en el uso del agua, se implementó un sistema de riego por goteo. La frecuencia de los riegos dependieron de la evapotranspiración y el ciclo fenológico de la planta de la cebolla.
- **Manejo de malezas.** La eliminación de las malezas presentes entre las plantas fue manual a 25, 45, 65 y 80 DDT, utilizando herramientas específicas para esta labor. Actividad recomendada a fin de prevenir competencia con el cultivo, así como reducción de riesgos a posibles infestaciones por plagas y enfermedades.
- **Control fitosanitario.** Para controlar el mildiu (*Peronospora destructor*) se aplicó un producto fungicida fitoklin, en dosis recomendada en ficha técnica. Las aplicaciones se realizaron con una mochila asperjadora y en dos ocasiones el 28 de octubre y 10 de noviembre del 2023. Ante la presencia del trips, se combatió aplicando un repelente elaborado a base de ajo, rocoto y canela a una dosis de 1 L/20 L o 34 L ha⁻¹. Este producto se aplicó en 3 ocasiones, específicamente a los 45, 52 y 59 DDT.
- **Agobio.** Esta labor se hizo de manera manual 1 de diciembre del 2023, una vez que la cebolla alcanzó su maduración, consistió en doblar las hojas del cuello de la planta.
- **Cosecha.** A los 116 DDT, se realizó la cosecha de bulbos de cebolla, fue un trabajo manual, una vez que los bulbos alcanzaron su maduración fisiológica. Consistió en arrancar las plantas del suelo y almacenarlo bajo sombra.

Parámetros de evaluación

- Altura de planta
- Número de hojas por planta
- Longitud de raíz
- Peso de bulbo
- Materia seca de bulbo
- Diámetro de bulbo
- Longitud de bulbo
- Materia fresca total
- Materia seca total
- Rendimiento total de bulbos

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Altura de planta

La tabla 2, muestra el análisis de varianza de altura de planta de cebolla, y se observa diferencia significativa en la fuente de variabilidad de biosílíce foliar.

Tabla 2

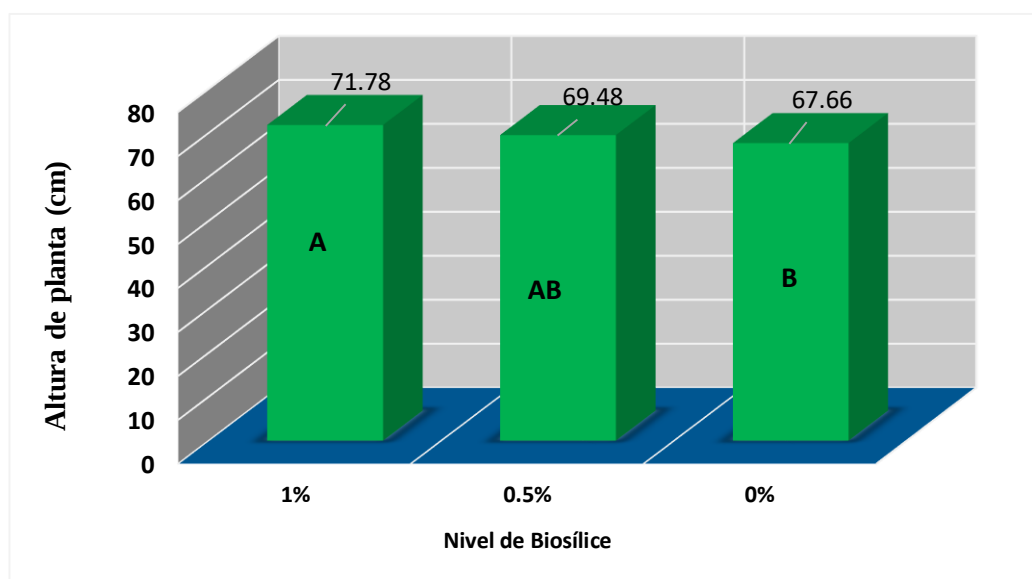
Análisis de varianza de altura de planta de cebolla por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílíce	2	51.27	25.64	4.46	0.0412 *
Nivel de Levadura	1	2.38	2.38	0.41	0.5340 ns
Bloque	2	3.58	1.79	0.31	0.7389 ns
Interacción (B*L)	2	8.17	4.09	0.71	0.5143 ns
Error	10	57.45	5.74		
Total	17	122.86			

CV= 3.44 %

Figura 1

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de niveles de biosílíce foliar en altura de planta. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey (α 0.05) de la figura 1, muestra que la mayor altura se obtuvo al aplicar 1% de biosílíce foliar con el que se alcanza 71.78 cm, siendo esta altura ligeramente mayor,

pero sin diferencias estadísticas a cuando se aplica 0.5% de biosílice (69.48 cm) y diferente a cuando no se aplica (67.66 cm) de manera que el incremento equivale a 6.08% más, respecto del último tratamiento.

Los resultados son concordantes con lo hallado por Bhangare y Shinde (2020) quienes concluyen que el silicio mejora el crecimiento de los cultivos y aumenta el rendimiento de las cebollas kharif. Del mismo modo Nada (2020) encuentra que la planta de fresa tuvo mejor crecimiento vegetativo, contenido de hojas, rendimiento y calidad de frutos, luego de aplicar silicato de potasio (0.6 g L^{-1}). La influencia positiva del silicio en el crecimiento de la cebolla, obedece a que el silicio al mejorar la resistencia mecánica, la intercepción de luz y la resistencia a todo tipo de estrés, que conduce a un mayor rendimiento y calidad (Bhardwaj et al., 2023).

3.2. Número de hojas por planta

El análisis de varianza de la tabla 3, indica que hay diferencia significativa en la fuente de variabilidad de biosílice foliar. No muestra diferencias significativas en levadura de panificación y en la interacción.

Tabla 3

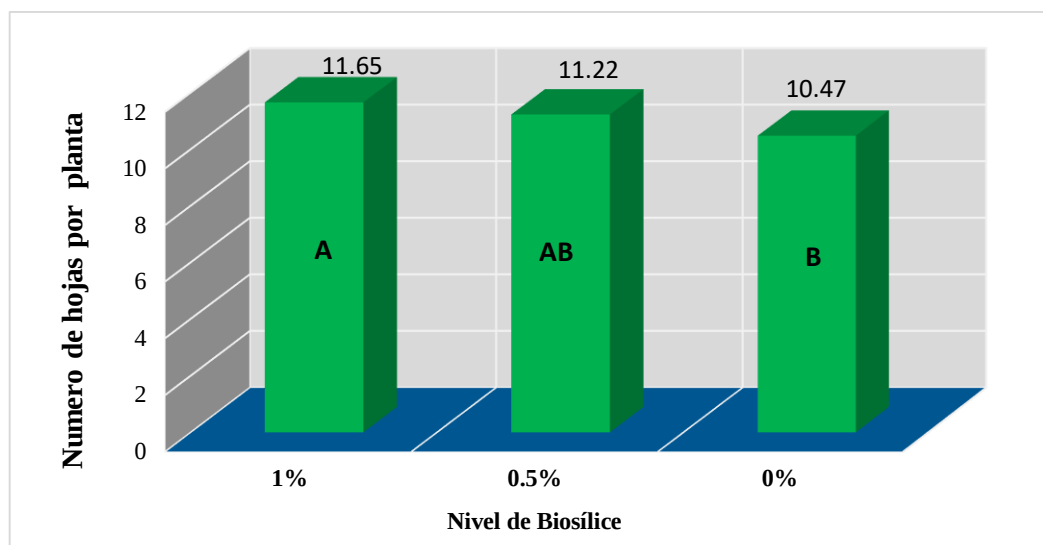
Análisis de varianza de número de hojas por planta de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	4.3	2.15	7.82	0.0090 *
Nivel de Levadura	1	0.01	0.01	0.03	0.8609 ns
Bloque	2	0.44	0.22	0.81	0.4736 ns
Interacción (B*L)	2	1.67	0.83	3.03	0.0936 ns
Error	10	2.75	0.28		
Total	17	9.17			

CV= 4.72 %

Figura 2

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de niveles de biosílice foliar en el número de hojas por planta. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La figura 2 de la prueba de Tukey (α 0.05) muestra que la cebolla produce mayor número de hojas al aplicar 1 % de biosilice foliar (11.65), seguido de cuando se aplica 0.5 % de biosilice (11.22), sin diferencia estadística entre ambos, pero diferentes al tratamiento sin aplicación de biosilice (10.47). Los resultados son congruentes con lo obtenido por Rangwala et al. (2019), quienes tras aplicar silicio a cebollas en condiciones de estrés, elevó el contenido de clorofila, aumentando la actividad fotosintética provocando así el incremento de la biomasa foliar y productividad. Del mismo modo Apáez et al. (2023) aplicando diatomita (1 y 1.5 g L⁻¹) al follaje de plantas de frijol chino y maíz (que funcionó como espaldera), registraron plantas con mayor número de hojas. El aumento del crecimiento vegetativo observado en el parámetro anterior condujo a incrementar la biomasa de la cebolla con el aporte de biosilice (1% p/v) expresado en número de hojas, equivalente a un valioso 11.27%, (respecto a cuándo no se aplica biosilice) que es de mucha importancia, en razón a que son las fuentes de transformación de energía y formación de compuestos carbonatados que se traducirán finalmente en un aumento de rendimiento debido a su posterior distribución en este caso específico en los bulbos de cebolla. Por ello Wu et al. (2022) afirman que la relación entre la producción de biomasa y el rendimiento de un cultivo específico es altamente lineal, debido a que la producción de biomasa está determinada por la tasa de fotosíntesis foliar, el área foliar y la distribución de la radiación en el pabellón. Siendo principal proceso que impulsa la distribución de carbohidratos a los diferentes órganos de la planta para la acumulación de materia seca y determinar el rendimiento de los cultivos (Wang et al., 2020).

3.3. Longitud de raíz

El ANVA de la Tabla 4, señala que hay diferencia altamente significativa en las fuentes de variabilidad de biosilice foliar y levadura de panificación, pero no en la interacción.

Tabla 4

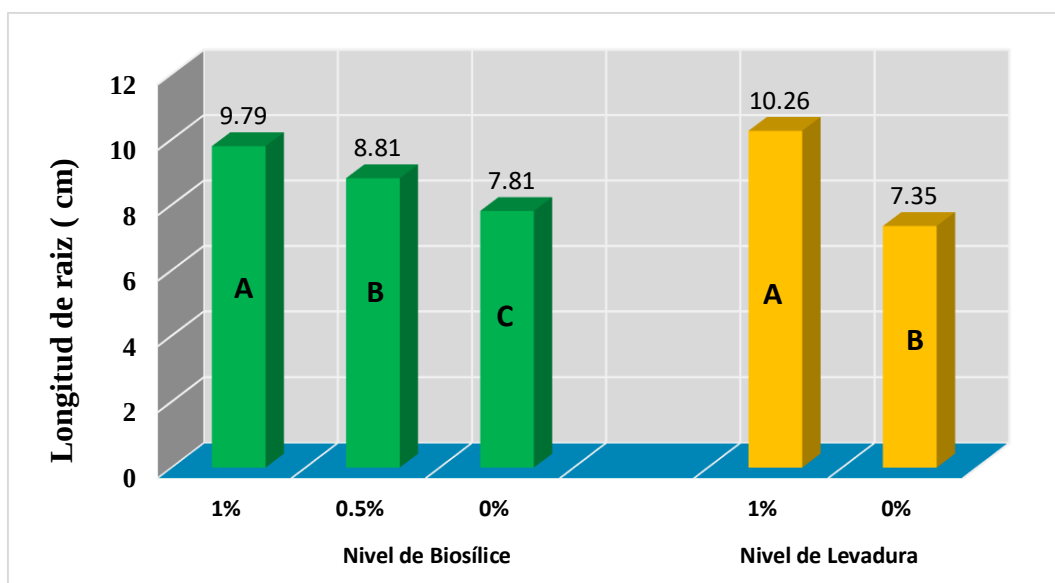
Análisis de varianza de longitud de raíz de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	11.78	5.89	53.12	< 0.0001 **
Nivel de Levadura	1	37.96	37.96	342.32	< 0.0001 **
Bloque	2	0.15	0.08	0.68	0.5266 ns
Interacción (B*L)	2	0.13	0.07	0.60	0.5680 ns
Error	10	1.11	0.11		
Total	17	51.14			

CV= 3.78 %

Figura 3

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo en longitud de raíz. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey (α 0.05) de la Figura 3 señala que el mayor nivel de levadura (1 % p/v) aplicado al suelo produjo el mayor crecimiento longitudinal de raíz (10.26 cm), excediendo estadísticamente a cuando no se aplica (7.35 cm) con un incremento del orden de 39.59 %. De igual manera la dosis más alta de biosílice foliar (1 % p/v) mejoró notablemente el crecimiento radicular aumentando en 11.12 % y 25.35 %, respecto a la dosis intermedia y del testigo. En el caso de la levadura los resultados obtenidos son congruentes con Lonhienne et al. (2014) quienes encuentran que la adición de levadura viva a plantas de tomate aumentó la biomasa radicular en 56% respecto al control; y en las plantas de caña de azúcar aumentaron en 47%.

Del mismo modo Vázquez et al. (2022) inoculando levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en un sistema hidropónico de raíz flotante, en el cultivo de lechuga lograron un incremento de hasta 30 % del área radicular, respecto al testigo. Al respecto investigaciones como el de Nimsi et al. (2023) refieren que los organismos del género *Saccharomyces*, están consideradas como levaduras promotoras de crecimiento vegetal (PGPY), estas se desarrollan principalmente en la rizósfera y filósfera de las plantas y tienen atributos de gran beneficio como la producción de hormonas.

En relación a lo obtenido con biosílíce, resulta congruente a lo publicado por Hussain et al. (2021) quienes aplicando silicio en dos variedades de soya (resistente y susceptible a la sombra), reportaron efectos positivos en longitud y volumen de raíz, peso seco y área superficial de raíz, aumento del contenido de clorofila y azúcares. Ratnakumar et al. (2016) encontró un aumento en el crecimiento de raíces y la densidad de raíces de trigo con la aplicación de foliar de ácido ortosilícico (32 ppm).

Ning et al. (2023), señalan que el silicio incrementa el contenido de clorofila en las hojas y como consecuencia aumenta la capacidad fotosintética de la planta debido al aumento del número de hojas, que influyó en la obtención y traslado de fotosintatos a la raíz, que conlleva a un mayor desarrollo de ellas.

3.4. Peso de bulbo

El análisis de varianza del peso de bulbo de la cebolla (tabla 5), muestra que hay diferencia altamente significativa en las fuentes de variabilidad de biosílíce foliar y levadura de panificación, lo mismo sucede en la interacción de estos.

Tabla 5

Análisis de varianza de peso de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílíce	2	4139.06	2069.53	269.85	< 0.0001**
Nivel de Levadura	1	4893.90	4893.90	638.13	< 0.0001**
Bloque	2	6.04	3.02	0.39	0.6844
Interacción (B*L)	2	540.70	270.35	35.25	< 0.0001**
Error	10	76.69	7.67		
Total	17	9656.40			

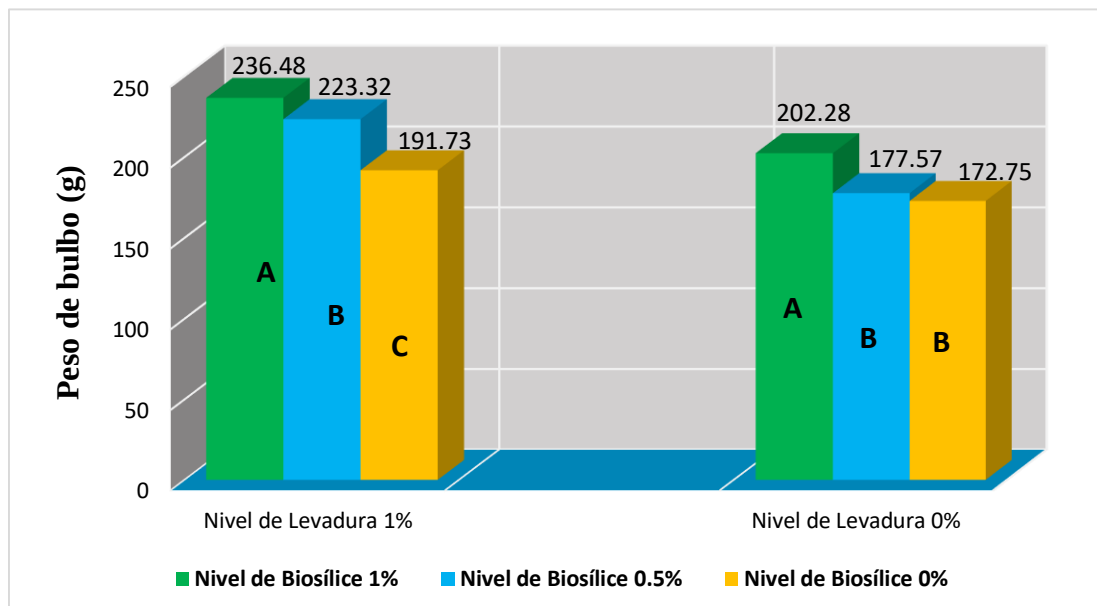
CV= 1.38 %

La prueba de Tukey (α 0.05) de la figura 4, muestra que al aplicar la dosis alta de levadura de pan al suelo (1% p/v) junto a 1 % biosílíce foliar (Tratamiento 6) permitió alcanzar el mayor peso de bulbo (236.48 g) presentando diferencias significativas con respecto de los otros tratamientos.

En relación a la acción bioestimulante de la levadura los resultados obtenidos son congruentes con lo obtenido por Kahlel (2015) quien al aplicar levadura cerca de las raíces de papa aumentó el peso de los tubérculos y llevó a un mayor rendimiento. De otro lado también se sugiere que logran producir fitohormonas tal como lo menciona Twfiq et al. (2018) quienes encontraron que existe citoquinina en la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). . A este hecho se sumaría el accionar del biosílíce, capaz de favorecer el incremento de clorofila en las plantas como lo reporta Trejo et al. (2020) en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) quienes incorporando Si aumentaron concentraciones de clorofilas a y b en hojas y tallos. Por su parte Yan et al. (2018), señalan que el silicio promueve la mejora de la actividad fotosintética y la resistencia mecánica, gracias a ello se mitiga el estrés y como consecuencia mejora la calidad y rendimiento de los cultivos.

Figura 4

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos simples por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo en peso de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



3.5. Materia seca de bulbo

El análisis de varianza de la materia seca de bulbo (Tabla 6) indica que existe una diferencia altamente significativa en las fuentes de variabilidad de biosílice foliar y levadura de panificación al suelo, mientras no se observan diferencias en la interacción.

Tabla 6

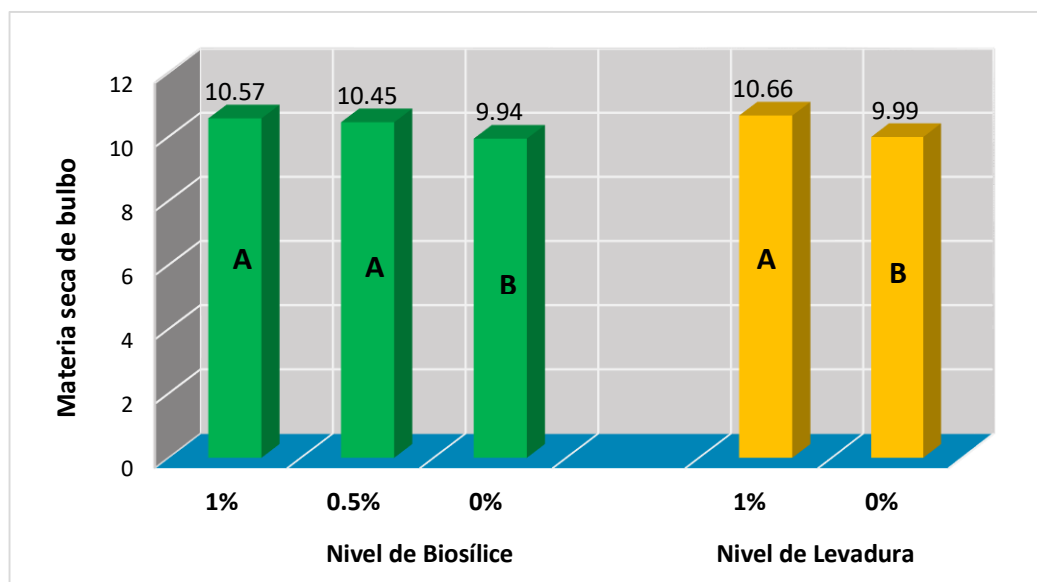
Análisis de varianza de materia seca de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	1.33	0.67	39.52	< 0.0001 **
Nivel de Levadura	1	2.02	2.02	120.01	< 0.0001 **
Bloque	2	0.09	0.04	2.53	0.1292 ns
Interacción (B*L)	2	0.05	0.02	1.37	0.2972 ns
Error	10	0.17	0.02		
Total	17	3.65			

CV= 1.26 %

Figura 5

Prueba de Tukey (0.05) de efectos principales de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo en materia seca de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey (α 0.05) de la Figura 5, muestra que el mayor nivel de levadura de panificación (1% p/v) al suelo fomentó al mayor contenido de materia seca de bulbo (10.66%) con diferencias significativas a cuando no se aplica (9.99%). La aplicación de biosílice foliar (1% p/v) generó el mayor contenido de materia seca de bulbo (10.57 %), pero sin superar

estadísticamente a la dosis intermedia de biosílíce (10.45%). Estos resultados conciernen a la acción de la levadura concuerdan con trabajos publicados por Al-Amery y Mohammed (2017) quienes al aplicar levadura de pan en el cultivo de frijol bajo riego con diferentes niveles de agua salina, reportó mejoras sustanciales en peso seco de planta. Esto debido a que la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*) provee proteínas, vitaminas y hormonas como citoquininas, IAA y GA3. Del mismo modo Al-madhagi (2019) al aplicar levadura a plantas de pepino a dosis de 2000 mg L⁻¹ tuvo un aumento en un 26.6 % en el porcentaje de materia seca de hojas. Detmann et al. (2012) mencionan que hasta el 95% de la masa seca de las plantas proviene de la actividad fotosintética, esta afirmación explicaría el mayor contenido de materia seca en el bulbo de la cebolla roja arequipeña, que se atribuye al efecto bioestimulante del biosílíce y la levadura de panificación, por efectos que fueron explicados líneas arriba.

Partiendo de que la materia seca de las plantas provienen del traslado de fotosintatos elaborados durante la fotosíntesis, se espera que a mayor actividad fotosintética mayor será el porcentaje de masa seca. En ese sentido Rangwala et al. (2019) demostró en su estudio que el silicio potencia la actividad fotosintética, esta mejora obedece a que el silicio induce a un aumento de la concentración de clorofila en las hojas, también influye en una mejor disposición de las hojas lo que le permite captar la luz eficientemente (Nowakowska et al., 2024).

3.6. Diámetro de bulbo

El ANVA del diámetro de bulbo de cebolla (tabla 7), muestra diferencia altamente significativa en la fuente de variabilidad de biosílíce foliar y levadura de panificación; mientras evidencia que no hay diferencias en la interacción.

Tabla 7

Análisis de varianza de diámetro de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

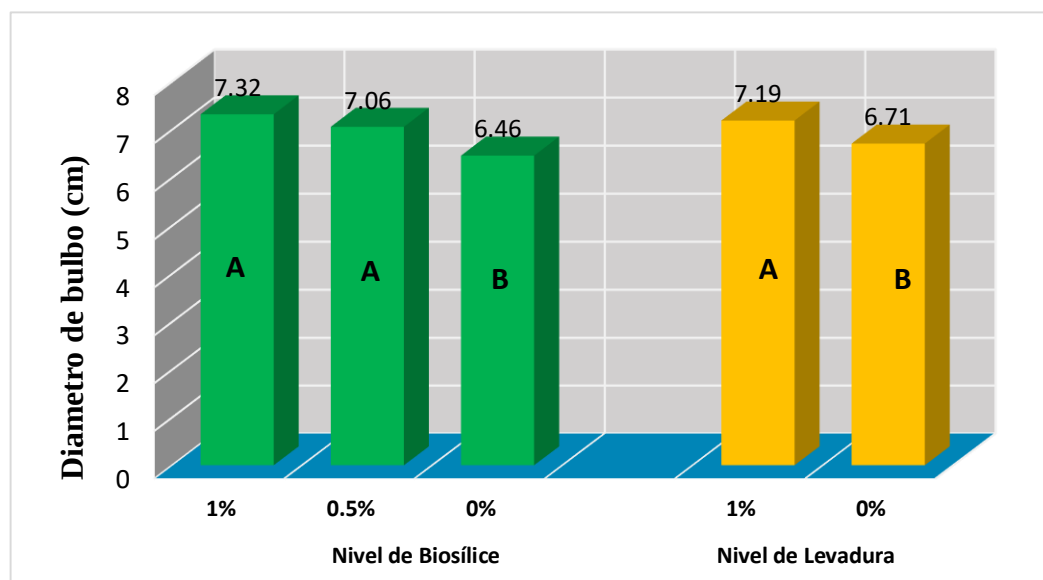
F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílíce	2	2.33	1.16	28.93	0.0001 **
Nivel de Levadura	1	1.02	1.02	25.39	0.0005 **
Bloque	2	0.11	0.05	1.34	0.3054 ns
Interacción (B*L)	2	0.01	0.00	0.07	0.9317 ns
Error	10	0.40	0.04		
Total	17	3.87			

CV= 2.89 %

La Figura 6, muestra la prueba de Tukey (α 0.05) donde se observa que la dosis alta de biosílice (1% p/v) propició el mayor diámetro de bulbo (7.32 cm), sin diferencias con la dosis intermedia (7.06 cm) y respecto al testigo es mayor el diámetro de bulbo en 13.31 %. Del mismo modo tras aplicar 1% (p/v) de levadura de panificación aumentó a 7.19 cm, diferenciándose significativamente del que no recibe nada (6.71 cm); el incremento es de 7.1%. Al respecto Según Gao et al. (2022) el silicio posee la capacidad de inducir la síntesis de giberelina y zeatina (una citoquinina natural), las cuales favorecen al aumento del tamaño de frutos en las plantas al estimular la división y crecimiento celular. Además se atribuye al silicio el favorecer la actividad fotosintética, como se mencionó líneas arriba, aumentando la producción y traslado de fotosintatos a zonas de reserva. Así mismo en relación a la aplicación de levadura, se concuerda con lo obtenido por Fouda y Abd-Elhamied (2017) quienes reportaron un incremento en el diámetro y la longitud de fruto con la aplicación de levadura a las plantas de berenjena. Efectos que estarían relacionados con el efecto de los microorganismos, como lo indican Tshapa et al. (2022) que las levaduras promueven la formación de citoquininas que induce a la división y expansión celular.

Figura 6

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo en diámetro de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



3.7. Longitud de bulbo

El ANVA de la longitud de bulbo (tabla 8), indica que hay diferencia altamente significativa en los fuentes de variabilidad de biosílice foliar y levadura de panificación; por otra parte no hay diferencias en la interacción.

Tabla 8

Análisis de varianza de longitud de bulbo de cebolla por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

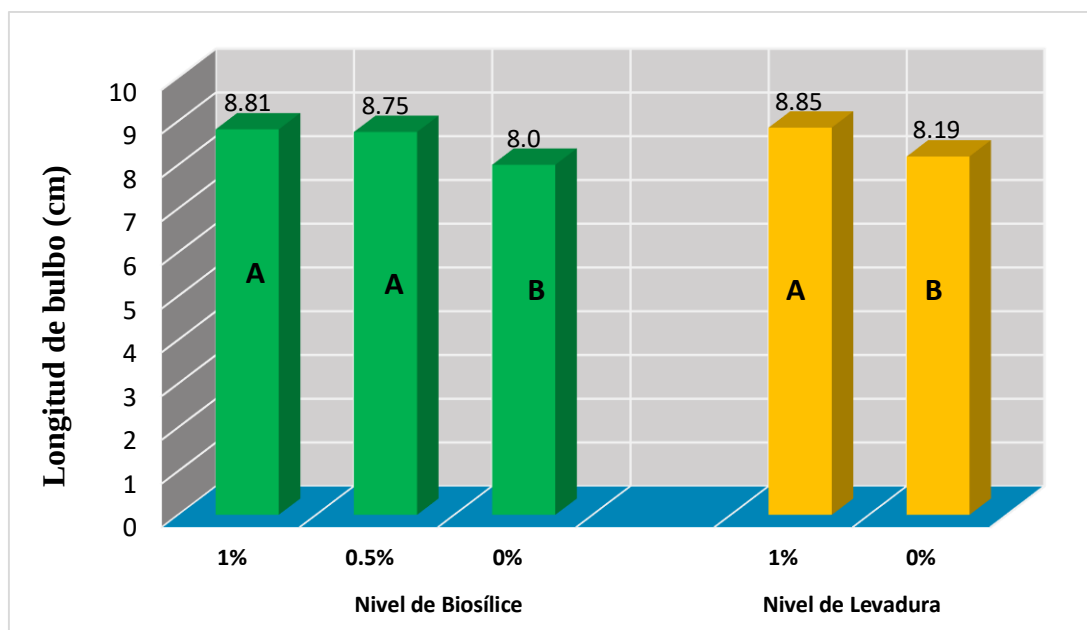
F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílíce	2	2.42	1.21	15.33	0.0009 **
Nivel de Levadura	1	1.95	1.95	24.68	0.0006 **
Bloque	2	0.28	0.14	1.76	0.2215 ns
Interacción (B*L)	2	0.50	0.25	3.14	0.0873 ns
Error	10	0.79	0.08		
Total	17	5.93			

CV= 3.3 %

La prueba de Tukey (α 0.05) de la figura 7, muestra que la dosis más alta de levadura de pan (1% p/v) favoreció al mayor crecimiento longitudinal de bulbo de cebolla (8.85 cm) superando estadísticamente a cuando no se aplica (8.19cm) y equivale a 8.05 % más, respecto del último tratamiento. Mientras tanto la dosis alta de biosílíce foliar (1% p/v) obtuvo el mayor crecimiento longitudinal de bulbo de cebolla (8.81 cm) sin diferencias con la dosis intermedia (8.75 cm). Nuevamente, los efectos favorables de levadura y biosílíce en el cultivo son abservados con el mayor crecimiento longitudinal del bulbo de cebolla, estrechamente relacionados a la actividad fotosintética, con la aplicacion de ambos elementos aplicados independientemente. Los resultados son congruentes con lo hallado por Hassan et al. (2023), quienes encontraron un aumento en la longitud de fruto luego de aplicar levadura a plantas de tomate. De otro lado se afirma que el silicio aumenta de manera significativa la fotosíntesis, además reduce la pérdida de agua (Yavaş y Ünay, 2017).

Figura 7

Prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales por efecto de niveles de biosílíce foliar y levadura de pan al suelo en longitud de bulbo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



3.8. Peso fresco total

El análisis de varianza (tabla 9) del peso fresco de la cebolla, podemos apreciar que hay diferencia altamente significativa en la fuente de variabilidad de biosilíce foliar y de la levadura de panificación; mientras que en la interacción no hay diferencias.

Tabla 9

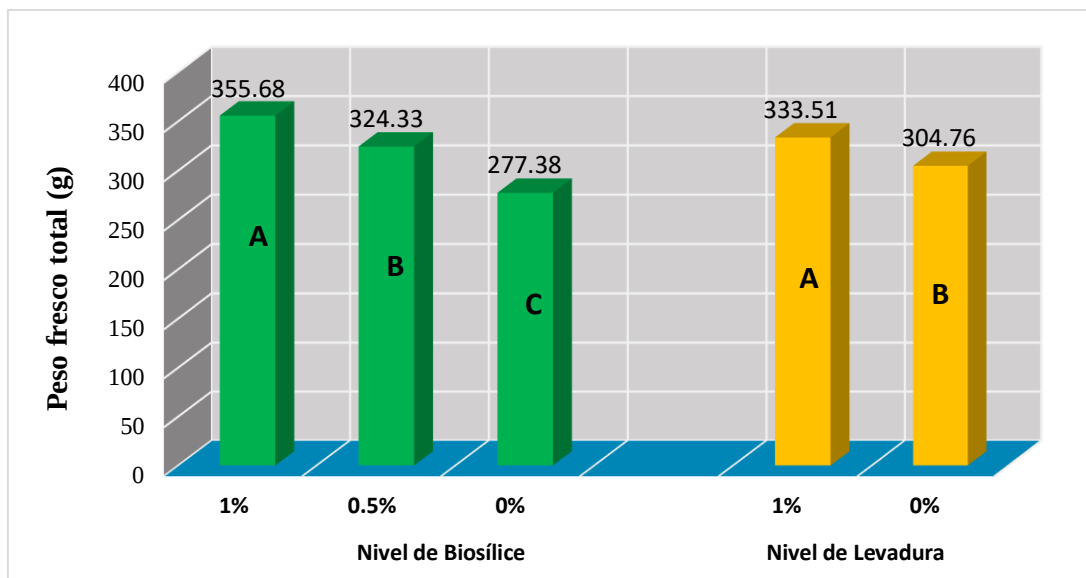
Análisis de varianza de peso fresco total de cebolla por efecto de niveles de biosilíce foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosilíce	2	18640.21	9320.1	50.39	< 0.0001 **
Nivel de Levadura	1	3719.53	3719.53	20.11	0.0012**
Bloque	2	204.40	102.20	0.55	0.5921 ns
Interacción (B*L)	2	856.72	428.36	2.32	0.1491 ns
Error	10	1849.76	184.98		
Total	17	25270.62			

CV= 4.26 %

Figura 8

Prueba de Tukey (0.05) de efectos principales de niveles de biosilíce foliar y levadura de pan al suelo en peso fresco total de la cebolla. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.



La prueba de Tukey (α 0.05) de la figura 8 indica que la dosis más alta de biosilíce foliar (1%) influyó de manera positiva en la obtención del mayor peso fresco (355.68 g) el cual superó estadísticamente a la dosis intermedia y al testigo; por otro lado la aplicación de la dosis más alta de levadura de pan al suelo (1% p/v) obtuvo mayor peso fresco (333.51 g) superando estadísticamente al testigo (304.76 g). Los resultados obtenidos concuerdan con Rangwala et al. (2019), quienes al aplicar silicio foliar a la cebolla aumentó el contenido de clorofila el cual mejora la acción fotosintética y por ende un mejor desarrollo de la biomasa. Como se indica en los parámetros previos, la incorporación de biosilíce (1% p/v) en la cebolla roja arequipeña mostró un aumento en la biomasa y el peso de bulbo.

Respecto a la levadura, Basel et al. (2022), encontraron que aplicar 3% (p/v) de levadura a lechuga aumentó el contenido de clorofila, longitud de planta, peso húmedo en brotes y raíces. Por su parte Taha et al. (2021), menciona que después de aplicar levadura aumentaron las concentraciones de clorofila, azúcares y proteínas, en el cultivo de altramuz.

3.9. Materia seca total

El análisis de varianza (Tabla 10), indica que no hay diferencias significativas en las fuentes de variabilidad de biosilíce, levadura y en la interacción de ambos.

Tabla 10

Análisis de varianza de materia seca total de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	0.02	0.01	0.33	0.7261 ns
Nivel de Levadura	1	0.02	0.02	1.06	0.3276 ns
Bloque	2	0.01	0.01	0.28	0.7640 ns
Interacción (B*L)	2	0.02	0.01	0.35	0.7124 ns
Error	10	0.23	0.02		
Total	17	0.30			

CV= 1.51 %

3.10. Rendimiento total de bulbos

El análisis de varianza del rendimiento total de la cebolla (Tabla 11), indica que hay diferencia altamente significativa en la fuente de variabilidad de biosílice foliar y levadura de panificación, así mismo en la interacción de estos elementos.

Tabla 11

Análisis de varianza de rendimiento total de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacucho 2750 msnm.

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor
Nivel de Biosílice	2	718586440.41	359293220.20	269.85	< 0.0001 **
Nivel de Levadura	1	849635436.05	849635436.05	638.13	< 0.0001 **
Bloque	2	1048949.25	524474.63	0.39	0.6844 ns
Interacción (B*L)	2	93871957.45	46935978.72	35.25	< 0.0001 **
Error	10	13314497.74	1331449.77		
Total	17	1676457281.90			

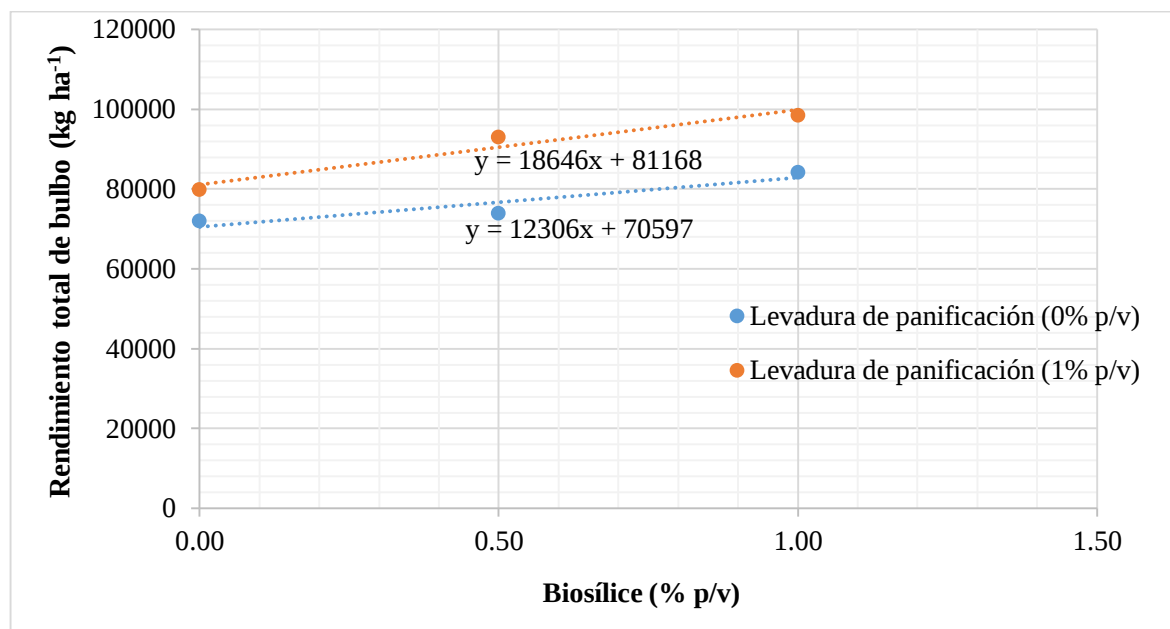
CV= 1.38 %

La figura 9, de la tendencia de aplicar biosílice foliar en cada nivel de levadura de panificación al suelo, se observa que el rendimiento total de bulbos es creciente con la dosis de biosílice y levadura, estimándose alcanzar a un promedio de 81168 kg ha⁻¹ de cebolla, y cuando no va

acompañado de levadura se alcanzaría un promedio de 70597 kg ha⁻¹, con valores diferenciados por cada unidad de silicio aplicado, siendo mayor cuando va acompañado de levadura.

Figura 9

Tendencia del rendimiento total de bulbos de cebolla por efecto de niveles de biosílice foliar y levadura de pan al suelo. Canaán-Ayacachu 2750 msnm.



CONCLUSIONES

1. Dosis de 1% (p/v) de biosílice aplicado al follaje de cebolla, aumentó la altura de planta, número de hojas por planta, diámetro de bulbo y peso fresco total, registrando incrementos del orden de 6.08%, 11.27%, 13.31%, 28.2 % en relación al testigo, respectivamente.
2. La aplicación de 1% (p/v) de levadura de panificación al suelo favoreció el crecimiento longitudinal de la raíz de cebolla, siendo 39.59% más en comparación al testigo. Además, se obtuvo un aumento del 6.7% en la materia seca de bulbo y un crecimiento de 8.05% en la longitud de bulbo, respecto al testigo.
3. El uso simultáneo de biosílice foliar (1% p/v) y levadura de panificación (1% p/v) al suelo, produjo el mayor peso de bulbo (236.48 g), influyendo en el mayor rendimiento total de bulbos (98534.7 kg ha⁻¹).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelaal, K. A., Mazrou, Y. S., & Hafez, Y. M. (2020). Silicon Foliar Application Mitigates Salt Stress in Sweet Pepper Plants by Enhancing Water Status, Photosynthesis,

- Antioxidant Enzyme Activity and Fruit Yield. *Plants* , 9(6), 733.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants9060733>
- Al-Amery, N. J., & Mohammed, M. M. (2017). Influence of adding ascorbic acid and yeast on growth and yield and Rhizobium of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under irrigation with saline water. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 10(10), 23-28.
[https://doi.org/DOI: 10.9790/2380-1010012328](https://doi.org/DOI:10.9790/2380-1010012328)
- Al-madhagi, I. A. (2019). Effect of humic acid and yeast on the yield of greenhouse cucumber. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 2(1), 67-82.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22077/jhpr.2018.1773.1029>
- Ameer, M. A., & Hussein, H. N. (2020). Induction of Rhizophagy by yeast *Saccharomyces cerevisiae* in roots of lettuce *Lactuca sativa*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1664(1), 012116. <https://doi.org/doi:10.1088/1742-6596/1664/1/012116>
- Apáez Barrios, P., Lara Chávez, B., Apáez Barrios, M., & Raya Montaña, Y. A. (2023). Foliar application of *Ascophyllum nodosum* and diatomaceous earth in the production of cowpea and corn. *E-CUCBA*(20), 103 -113.
<https://doi.org/https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.302>
- Arteaga, A. (2022). *Rol de los bioestimulantes en el mecanismo de defensa de las plantas: Revisión de literatura [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]*. Biblioteca Wilson Popenoe. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/7375>
- Basel , N., Masoud, W., & Abu-Khalaf, N. (2022). Effect of Yeast Bio-fertilizer on Lettuce Growth and Productivity. *Indian Journal Of Agricultural Research*, 56(4), 463-468.
<https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-700>
- Bhangare, R. V., & Shinde, S. S. (2020). Study on effect of soil and foliar application of silicon on growth, yield and quality on Kharif onion (*Allium cepa* L.). *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*, 35(3), 128-134. <https://doi.org/10.18805/BKAP236>.
- Bhardwaj, S., Sharma, D., Singh, S., Ramamurthy, P. C., Verma, T., Pujari, M., . . . Prasad, R. (2023). Physiological and molecular insights into the role of silicon in improving plant performance under abiotic stresses. *Plant and Soil* , 486(1), 25–43.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11104-022-05395-4>
- Detmann, K., Araújo, W. L., Martins, S. C., Sanglard, L. M., Reis, J. V., Detmann, E., . . . DaMatta, F. M. (2012). Silicon nutrition increases grain yield, which, in turn, exerts a feed-forward stimulation of photosynthetic rates via enhanced mesophyll conductance

- and alters primary metabolism in rice. *New Phytologist*, 196(3), 752-762.
<https://doi.org/> https://doi.org
- Enciso, C., Vera, P., Santacruz, A., & González, J. (2019). *Guía técnica cultivo de cebolla*. JICA. https://doi.org/https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_02.pdf
- Fouda, K., & Abd-Elhamied, A. (2017). Influence of Mineral Fertilization Rate and Foliar Application of Yeast and Ascorbic Acid on Yield, Vegetative Growth and Fruits Quality of Eggplant. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 8(11), 643 - 648.
<https://doi.org/10.21608/jssae.2017.38191>
- Gao, H., Yu, W., Yang, X., Liang, J., Sun, X., Sun, M., . . . Peng, F. (2022). Silicon enhances the drought resistance of peach seedlings by regulating hormone, amino acid, and sugar metabolism. *BMC Plant Biology*, 22(1), 422.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12870-022-03785-5>
- Hassan, A., Ullah, A., Hammad, Jan, Z., Zakirullah, Khan, A., . . . Shah, Z. (2023). Effect of humic acid and bread yeast application on the vegetative, yield and qualitative attributes of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Pure and Applied Biology*, 12(1), 677-682.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2023.120069>
- Hassanain, M. A., Osman, A. R., Sewedan, E., & El-Dein, M. S. (2018). Influence of Nitrogen and Yeast on Production of Marigold Plants *Tagetes erecta*. *World Rural Observations*, 10(1), 37-46. <https://doi.org/10.7537/marswro100118.05>
- Hussain, S., Mumtaz, M., Manzoor, S., Shuxian, L., Ahmed, I., Skalicky, M., . . . Liu, W. (2021). Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 159, 43-52.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.053>
- Kahlel , A. (2015). Effect of Organic Fertilizer and Dry Bread Yeast on Growth and Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agriculture and Food Technology* , 5(1), 5-11. <https://doi.org/https://dergipark.org.tr/en/pub/turkjans/issue/13311/161010>
- Lonhienne, T., Mason, M., Ragan, M., Hugenholtz, P., Schmidt, S., & Paungfoo-Lonhienne, C. (2014). Yeast as a Biofertilizer Alters Plant Growth and Morphology. *Crop Science* , 54(2), 785-790. <https://doi.org/https://doi.org/10.2135/cropsci2013.07.0488>
- Ministerio de Fomento, Industria y Comercio. (2008). *Ficha producto Cebolla*. Departamento de Análisis Económico.

- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2024). *Boletín Mensual "El Agro en Cifras" - 2023*.
Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.
- Mukherjee, A., Verma, J., Gaurav, A. K., Chouhan, G., Patel, J., & Hesham, A.-L. (2020). Yeast a potential bio-agent: future for plant growth and postharvest disease management for sustainable agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(4), 1497–1510. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00253-019-10321-3>
- Nada, M. (2020). Effect of Foliar Spray with Potassium Silicate and Glycine Betaine on Growth and Early Yield Quality of Strawberry Plants. *Journal of Plant Production*, 11(12), 1295 - 1302. <https://doi.org/10.21608/JPP.2020.149800>
- Nimsi, K., Manjusha, K., Kathiresan, K., & Arya, H. (2023). Plant growth-promoting yeasts (PGPY), the latest entrant for use in sustainable agriculture: a review. *Journal of Applied Microbiology*, 134(2), lxac088. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jambio/lxac088>
- Ning, D., Zhang, Y., Li, X., Qin, A., Huang, C., Fu, Y., . . . Duan, A. (2023). The Effects of Foliar Supplementation of Silicon on Physiological and Biochemical Responses of Winter Wheat to Drought Stress during Different Growth Stages. *Plants*, 12(12), 2386. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants12122386>
- Nowakowska, J., Dang, M., Kiełtyk, P., Niemczyk, M., Malewski, T., Szulc, W., . . . Oszako, T. (2024). Silicon Modifies Photosynthesis Efficiency and hsp Gene Expression in European Beech (*Fagus sylvatica*) Seedlings Exposed to Drought Stress. *Genes*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/genes15091233>
- Rangwala, T., Bafna, A., Vyas, N., & Gupta, R. (2019). Beneficial Role of Soluble Silica in Enhancing Chlorophyll Content in Onion Leaves. *Current Agriculture Research Journal*, 7(3), 358. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.7.3.12>
- Ratnakumar, P., Deokate, P., Rane, J., Jain, N., Kumar, V., Berghe, D., & Minhas, P. (2016). Effect of Ortho-Silicic Acid Exogenous Application on Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Drought. *Journal of Functional And Environmental Botany*, 6(1), 34-42. <http://dx.doi.org/10.5958/2231-1750.2016.00006.8>
- Raya-Montaña, Y. A., Apáez Barrios, M., Lara Chávez, B., & Apáez Barrios, P. (2022). Producción de Girasol (*Helianthus annuus* L.) con aplicación foliar de tierra de diatomea. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081001>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11(40). <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>

- Taha, R. S., Seleiman, M. F., Alhammad, B. A., Alkahtani, J., Alwahibi, M. S., & Mahdi, A. H. (2021). Activated Yeast Extract Enhances Growth, Anatomical Structure, and Productivity of *Lupinus termis* L. Plants under Actual Salinity Conditions. *Agronomy*, 11(1), 74. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy11010074>
- Trejo-Téllez, L. I., García-Jiménez, A., Escobar-Sepúlveda, H. F., Ramírez-Olvera, S. M., Bello-Bello, J. J., & Gómez-Merino, F. C. (2020). Silicon induces hormetic dose-response effects on growth and concentrations of chlorophylls, amino acids and sugars in pepper plants during the early developmental stage. *PeerJ*, 8, e9224. <https://doi.org/https://doi.org/10.7717/peerj.9224>
- Tshapa, L., Naidoo, G., & Naidoo, K. (2022). Yeast supplementation alleviates the negative effects of greywater irrigation on lettuce and maize. *Water SA*, 48(3), 255-263. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17159/wsa/2022.v48.i3.3939>
- Twfiq, A., Al-Shaheen, M., Farhan, M. A., & Al-Shaheen, M. (2018). The possibility of cytokinins production from regular dry bakery yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Journal of Cultural Heritage*, 1(1).
- Vázquez, M. M., Quintana, S., Médici, S., & Gende, L. B. (2022). Evaluar la efectividad de la levadura de cerveza subproducto de la industria cervecera como bioestimulante en hidroponía. *Innotec*(24), e622. <https://doi.org/https://doi.org/10.26461/24.05>
- Wang, W., Cai, C., He, J., Gu, J., Zhu, G., Zhang, W., . . . Liu, G. (2020). Yield, dry matter distribution and photosynthetic characteristics of rice under elevated CO₂ and increased temperature conditions. *Field Crops Research*, 248, 107605. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107605>
- Wu, G., Ling, J., Liu, Z.-X., Liu, Y.-P., Chen, X.-M., Wen, Y., & Zhou, S.-L. (2022). Soil warming and straw return impacts on winter wheat phenology, photosynthesis, root growth, and grain yield in the North China Plain. *Field Crops Research*, 283, 108545. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108545>
- Yan, G. C., Miroslav, N., Ye, M. J., Xiao, Z.-x., & Liang, Y. C. (2018). Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(10), 2138–2150. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62037-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62037-4)
- Yavaş, İ., & Ünay, A. (2017). The Role of Silicon under Biotic and Abiotic Stress Conditions. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(2), 204-209. <https://doi.org/https://doi.org/10.19159/tutad.300023>