

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**TESIS:**

**Bioestimulantes 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. Clenin Simon CHOQUE PEÑA**

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

**AYACUCHO - PERÚ**

**2025**

*A mis adorados padres Pablo y Hermelinda, los seres más abnegados y sin igual, que entregan completamente su inagotable esfuerzo por el bienestar de sus hijos.*

*A mis queridos hermanos: Inés, Yenifer, Isai y Judith, grandes compañeros en el duro camino de la vida.*

***Clenin S. Choque.***

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Alma Mater, a la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía, por brindarme la oportunidad y espacio en mi formación profesional.

Primero y ante todo agradecer a Dios por darme la vida y las oportunidades, además a todas aquellas personas que tengo el enorme gusto de llamar maestros de vida; maestros de lucha, de conocimiento.

A la Ph.D. Marhleni Cerda Gómez, como asesora, por el apoyo en todo el proceso de la tesis.

Al Centro Experimental Canaán al M.Sc. Mateu Mateo, Walter Augusto, responsable, por haberme permitido realizar el trabajo de Tesis.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE GENERAL .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	ix
RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
CAPÍTULO I .....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1.    Antecedentes.....	4
1.2.    Cultivo de cebolla y generalidades .....	5
1.3.    Clasificación taxonómica.....	6
1.4.    Importancia económica.....	6
1.5.    Descripción botánica.....	6
1.6.    Requerimientos edafoclimáticos.....	7
1.7.    Fases fenológicas .....	7
1.8.    Curva de absorción de nutrientes de cebolla de bulbo.....	8
1.9.    Silicio .....	9
1.9.1.    Silicio en la agricultura .....	9
1.10.    Levaduras.....	10
1.10.1.    Levadura: <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	11
1.10.2.    Taxonomía de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	12
1.10.3.    Levadura en agricultura .....	12

1.11.	Diatomita.....	13
1.11.1.	Diatomitas de Ayacucho .....	14
1.12.	Fertilización foliar.....	15
CAPÍTULO II.....		17
METODOLOGÍA.....		17
2.1.	Localización.....	17
2.1.1.	Ubicación específica .....	17
2.1.2.	Ubicación política .....	17
2.1.3.	Ubicación geográfica .....	17
2.1.4.	Ubicación ecológica.....	17
2.2.	Antecedentes del terreno.....	19
2.3.	Características climáticas.....	19
2.4.	Características fisicoquímicas del suelo .....	20
2.5.	Material biológico.....	22
2.6.	Factores de estudio.....	22
2.7.	Tratamientos .....	22
2.8.	Diseño experimental .....	23
2.9.	Análisis estadístico.....	25
2.10.	Instalación y conducción del cultivo.....	25
2.11.	Evaluación de variables de rendimiento .....	28
CAPÍTULO III.....		18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		18
3.1.	Altura de planta.....	18
3.2.	Número de hojas por planta .....	31
3.3.	Diámetro de bulbo.....	32

3.5. Peso de bulbo y rendimiento total.....	34
3.6. Materia fresca y seca total de la planta .....	38
3.7. Correlación de las variables .....	41
CONCLUSIONES .....	43
RECOMENDACIONES.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS .....	45
Anexo 1. Matriz de resultados de la evaluación de los parámetros estudiados .....	53
Anexo 2. Panel fotográfico.....	60
.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.1.</b> Composición nutricional de cebolla de bulbo y cebollín.....	5
<b>Tabla 1.2.</b> Composición de levaduras <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	12
<b>Tabla 1.3.</b> Composición química de la levadura.....	13
<b>Tabla 1.4.</b> Características fisicoquímicas de diatomita de Ayacucho.....	14
<b>Tabla 1.5.</b> Características fisicoquímicas de diatomita de Ayacucho, Arequipa, Piura e Ica.....	15
<b>Tabla 2.1.</b> Balance hídrico según los datos meteorológicos para el área experimental Canaán UNSCH.....	19
<b>Tabla 2.2.</b> Características fisicoquímicas del suelo experimental .....	21
<b>Tabla 2.3.</b> Interpretación de relaciones catiónicas .....	21
<b>Tabla 2.4.</b> Descripción de los tratamientos evaluados .....	23
<b>Tabla 2.5.</b> Descripción de características de las unidades experimentales .....	25
<b>Tabla 2.6.</b> Descripción de fertilización del cultivo de cebolla.....	27
<b>Tabla 3.1.</b> Análisis de varianza de altura de planta de cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ). .....	18
<b>Tabla 3.2.</b> Análisis de varianza de número de hojas por planta de Cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ). .....	31
<b>Tabla 3.3.</b> Análisis de varianza de número de diámetro de bulbo de Cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ). .....	32
<b>Tabla 3.4.</b> Análisis de varianza de longitud de bulbo de Cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ). .....	33
<b>Tabla 3.5.</b> Análisis de varianza de peso promedio del bulbo de Cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ). .....	34
<b>Tabla 3.6.</b> Análisis de varianza de materia fresca y seca total de la planta de cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ). .....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.1.</b> Curva de absorción de los macronutrientes y oligoelementos por el cultivo de cebolla. .....	8
<b>Figura 1.2.</b> Estructura foliar de las plantas .....	16
<b>Figura 2.1.</b> Mapa de ubicación del Centro Experimental Canaán. ....	18
<b>Figura 2.2.</b> Climograma del Centro Experimental Canaán - UNSCH.....	20
<b>Figura 2.3.</b> Croquis de los tratamientos en el campo experimental .....	24
<b>Figura 2.4.</b> Croquis de la unidad experimental.....	24
<b>Figura 3.1.</b> Comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$ ) del efecto principal de levadura ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) en altura de planta de cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.), Canaán a 2750 msnm. .....	30
<b>Figura 3.2.</b> Comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) en peso promedio de bulbo de cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.).....	35
<b>Figura 3.3.</b> Comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) en rendimiento de cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.).....	36
<b>Figura 3.4.</b> Modelos de regresión del rendimiento de bulbos por hectárea en función del efecto de levadura y biosílice. ....	37
<b>Figura 3.5.</b> Comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples en materia seca total de cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ).....	39
<b>Figura 3.6.</b> Modelos de regresión de materia seca total de planta en función del efecto de levadura y biosílice .....	41
<b>Figura 3.7.</b> Correlación general de las variables evaluadas por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ).....	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Matriz de resultados de la evaluación de los parámetros estudiados.....	53
Anexo 2.	Panel fotográfico.....	60

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar los niveles de biosílíce y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) en el rendimiento del cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en condiciones del CE Canaán - UNSCH, se realizó el trabajo de investigación que consta de 6 tratamientos que resultan del arreglo factorial de niveles de biosílíce (0, 0.4 y 0.8% p/v) y niveles de levadura (0, 1.0% p/v), con 3 repeticiones, un total de 18 unidades experimentales, dispuestos en el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Se encontró que aplicar pequeñas dosis de biosílíce y levadura al follaje de cebolla (*Allium cepa* L.) posee efectos positivos y actúan además en interacción. El mayor peso promedio de bulbos (231.2 g), materia seca total de la planta (10.37%) y rendimiento total (86,699.86 kg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo de la interacción de las dosis más altas de ambos bioestimulantes (0.8% de biosílíce y 1% de levadura de cerveza, p/v). La aplicación de 1% de levadura de cerveza aumentó la altura de planta (73.62 cm). Las variables número de hojas por planta, diámetro y longitud de bulbo, no mostraron diferencia estadística. Se encontró correlación alta y significativa entre el peso de bulbo y materia seca de planta total, lo que sugiere que un mayor peso de bulbo se traduce en un mayor porcentaje materia seca del mismo.

**Palabras clave:** *Allium cepa*, biosílíce, levadura de cerveza, rendimiento.

## INTRODUCCIÓN

La cebolla tiene su origen en Asia Central, entre Afganistán, India e Irán, pertenece a la familia Alliaceae y especie *Allium cepa* L. (Enciso et al., 2019). Es consumida y reconocida por sus componentes bioactivos (fenoles y antioxidantes) que varían, por influencia de algunos factores (Ren & Zhou, 2021). En Perú se cultivan variedades Roja arequipeña, Criolla, Piurana, Red creole, Roja italiana, Roja Lurín y Roja americana (Nicho, 1993, citado por Paz, 2018). Al 2020 se produjo 605,619 toneladas, en una superficie de 13.3 mil hectáreas, siendo mayor en costa (81.5%) (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022). La producción del cultivo implica normalmente uso indiscriminado de fertilizantes, fungicidas, herbicidas, etc., con consecuencias negativas de alteración fisicoquímica y biológica de los suelos y el agua. Por lo cual, la disminución de los insumos es una preocupación permanente. El empleo de bioestimulantes, resulta favorable en la producción de alimentos, calidad y cuidado del medio ambiente (Wang et al., 2020), posee efectos positivos en los cultivos, en los que promueve el crecimiento, aumenta la eficiencia de abonos. Las levaduras *Saccharomyces* sp., muestran atributos fitobenéficos, relacionado con la producción de fitohormonas, sideróforos, solubilizar fósforo, contribuye a tolerar el estrés abiótico y biótico al competir eficazmente contra patógenos (Nimsi et al., 2023), que resultan estratégicas en el control de enfermedades (Kowalska et al., 2022), tal como hallado por Rivitra et al. (2021) que obtuvieron mejora en ajonjolí con el empleo de abono orgánico, mineral y ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ) de levadura al follaje. Por su parte, el silicio capacitado de proteger pigmentos fotosintéticos y reducir el daño de estructura del cloroplasto, participa en el aumento de la expresión de genes relacionados con la fotosíntesis (Rastogi et al., 2021), promover el crecimiento de plantas y favorece en condiciones de estrés abióticos y bióticos. Shen et al. (2022) reporta que aplicar silicio al follaje de regaliz, mejoró la fotosíntesis, eficiencia de transpiración, crecimiento, rendimiento y alivia el estrés a sales. Consideraciones que permitió proponer aplicar biosilice y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) al follaje de cebolla (*Allium cepa* L.) y evaluar su influencia en el rendimiento, considerando los siguientes objetivos:

**Objetivo principal:**

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

**Objetivos específicos:**

- i. Evaluar niveles de biosílíce foliar en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) en Canaán, a 2750 msnm, Ayacucho
- ii. Evaluar niveles de levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) foliar en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) en Canaán, a 2750 msnm, Ayacucho.
- iii. Encontrar los niveles de biosílíce y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) foliar, de mayor influencia en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) en Canaán, a 2750 msnm, Ayacucho.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

Taha et al. (2021) evaluaron el efecto de aplicar cuatro dosis (0, 50, 75 y 100 ml L<sup>-1</sup>) de levadura activada sobre la productividad de lupino (*Lupinus termis* L.) en suelo salino de regiones áridas y semiáridas de Egipto. Como resultado, reportaron que la dosis 75 ml L<sup>-1</sup> resultó ser superior al mejorar el crecimiento de la planta, los pigmentos fotosintéticos de las hojas, los azúcares solubles totales, las proteínas totales y rendimiento de las semillas.

Alobaidy et al. (2022), encontraron que la aplicación foliar de 10 g L<sup>-1</sup> de (*Saccharomyces cerevisiae*) al cultivo de maíz para ensilado (*Zea mays* L. Cv. Tuano) en suelo alcalino, aumentó la altura de planta, peso de tallo, número de hojas, mazorcas por planta, peso total de planta, rendimiento de forraje verde y seco.

Tipán (2022) evaluó el efecto de 3 dosis de silicio (0.15, 0.25 y 0.35 g planta<sup>-1</sup>) más un testigo, sobre el crecimiento, productividad y calidad nutraceútica de tomate, en Quevedo - Ecuador. Concluyendo que la dosis 0.35 g planta<sup>-1</sup> de silicio dio mejores resultados en longitud de tallo, diámetro de tallo, biomasa seca de hojas, longitud de raíz, número de frutos por racimo, número de frutos por planta, diámetro de fruto, grados brix y contenido de vitamina C.

Adam et al. (2022) evaluaron el efecto de 2 dosis de extracto de levadura y extracto de raíces de regaliz (2 y 4 g L<sup>-1</sup>) vía foliar sobre el desarrollo vegetativo del cultivo de haba *Vicia faba* L., en condiciones de Libia. Los resultados mostraron que las aplicaciones de las dosis más altas de extracto de levadura y raíces de regaliz (4 g L<sup>-1</sup>) mejoraron la altura de la planta, número de hojas/planta, área foliar, peso fresco/brote y peso seco/brote.

Jam et al. (2023) evaluaron el efecto de 3 dosis de silicio (0, 1.5 y 2.5 mM) aplicados foliarmente a plantas de cártamo que fueron sembrados en condiciones de estrés salino dentro de un invernadero. Los resultados mostraron que la aplicación de 2.5 mM de silicio aumento la altura de planta, peso fresco y seco, el contenido de potasio, el contenido relativo de agua.

## 1.2. Cultivo de cebolla y generalidades

La cebolla es originaria de Asia Central y el Mediterráneo es el centro secundario de diversificación, posteriormente fueron llevados a distintas partes del mundo (INIA, 2003; Japón, 1982). La cebolla de bulbo pertenece al género *Allium*, donde están agrupados *Allium tuberosum* (cebollino chino), *A. festulosum* (cebolla de rama), *A. sativum* (ajo), *A. ampeloprasum* (puerro) (Hanelt, 1990, citado por Pinzón, 2009).

La producción de cebolla en el Perú, en los últimos 7 años, creció 21% en producción, siendo la hortaliza más consumida, con exportaciones de solo el 2.2% del total de exportaciones mundiales (Miranda-Barreda et al., 2017). Un aspecto relevante del cultivo es el contenido de ingredientes bioactivos, incluidos los fenoles, que son antioxidantes con efectos positivos para la salud. Ren y Zhou (2021) afirman que los componentes pueden cambiar dependiendo de una serie de variables, como los fertilizantes.

Según Zamora (2016) las cebollas, puede proteger de enfermedades como cardiovasculares, reducir el riesgo de cáncer. La siguiente tabla muestra composición nutricional del cultivo.

**Tabla 1.1**

*Composición nutricional de cebolla de bulbo y cebollín*

Nutriente	Valor (de 100 g de muestra fresca)
Agua (%)	91-92
Energía (kcal)	34-25
Proteína (g)	1.2-1.7
Grasa (g)	0.3-0.1
Carbohidratos (g)	7.3-5.6
Fibra (g)	0.4-0.8
Ca (mg)	25-60
P(mg)	29-33
Fe (mg)	0.4-1.9
K (mg)	155-275
Vitamina A (UI)	0-5000
Niacina (mg)	0.10-0.20
Ácido ascórbico (mg)	8.4-45.0

**Fuente:** (Haytowitz y Mattehews, 1984, citado por Zamora, 2016).

### 1.3. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de *Allium cepa* L., descrita por Carlos Linneo en *Species Plantarum*, citado por Vásquez (2019) se describe de la siguiente manera:

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Orden	: Asparagales
Familia	: Amaryllidacea
Sub-familia	: Allioideae
Tribu	: Allieae
Género	: Allium
Especie	: <i>Allium cepa</i> L.

### 1.4. Importancia económica

El consumo per cápita nacional de cebolla es 11 kg por persona, cantidad superior a otras hortalizas como: coles (2.2 kg), lechuga (1.5 kg), tomate (6.8 kg), zanahoria (6.9 kg), Zapallo (3.3 kg) (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2009). El precio en mercado es variable, debido al volumen de producción que existe en distintas zonas y épocas del año.

### 1.5. Descripción botánica

De acuerdo a Enciso et al. (2019), la cebolla muestra las siguientes características botánicas:

- a. **Hojas.** Las hojas de cebolla de bulbo están dispuestas en direcciones opuestas y alternas. Su forma es lanceolada, vaina envolvente y una lámina fistulosa hueca y redondeada. Están dispuestos de forma alterna y opuesta. Una nueva hoja surge de un agujero que se forma entre los límites de la lámina y la vaina, lo que da como resultado que la lámina exterior cubra cada hoja expandida. Las vainas circundantes se combinan para formar una estructura hinchada conocida como bulbo tunicado en botánica. Una planta tiene 13 a 18 hojas, que normalmente están protegidas de los patógenos foliares por una capa cerosa.
- b. **Raíces.** Tiene tipo fasciculada, es decir, durante su desarrollo vegetativo, de su tallo cónico crecen raíces adventicias. En una planta adulta se extienden lateralmente en un radio de 15 cm y una profundidad de 25 cm.

- c. **Tallo.** Es una estructura en forma de disco con entrenudos cortos espaciados que forma la base del bulbo debajo de la tierra. El meristemo apical, que da origen a las hojas, se sitúa en el centro del disco.
- d. **Bulbo.** Se crea a partir de las hojas basales por engrosamiento, también conocidas como hojas catáfilas, almacenan todos los materiales de reserva. De acuerdo a la variedad, los bulbos pueden tener diversas morfologías, incluyendo cónicas, globosas, planas, deprimidas, de colores blanco, amarillo, marrón, cobrizo, rojo, violeta y morado.
- e. **Flores.** Se agrupan en inflorescencias tipo umbela de color blanco o lila. Debido a su protandria (la liberación de polen antes de que el estigma esté apta o receptivo), estas flores son hermafroditas y no autógamas. Como resultado, la apertura floral es irregular y las flores son 100% alógamas (polinización cruzada).
- f. **Fruto.** Es de tipo cápsula trilocular, puede contener entre uno a dos semillas por cada lóculo.
- g. **Semilla.** Color negro y, cuando no está maduro, su superficie lisa se vuelve áspera debido a la pérdida de agua a medida que envejece. Permanece inactivo durante unas dos semanas después de la cosecha.

### 1.6. Requerimientos edafoclimáticos

Debido a sus numerosas variedades, las cebollas pueden soportar una amplia gama de condiciones ambientales, pero prefieren los climas cálidos y secos. Si bien las plántulas pueden soportar temperaturas tan bajas como  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y tan altas como  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el rango ideal para la germinación es entre  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En general, el cultivo se desarrolla muy bien entre  $10$  y  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; El crecimiento óptimo de las hojas se produce muy bien entre  $23$  y  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para una óptima formación del bulbo, las cebollas necesitan un fotoperiodo de 12 a 16 horas de luz; sin embargo, existen variedades con días más cortos y más largos (Castillo, 1999; Japon, 1982).

El cultivo de cebolla se adapta a diversos tipos de suelos, prefiriendo a los suelos profundos con buena materia orgánica (3%), de textura suelta. El pH óptimo es de 6 a 7 (Japón, 1982). No tolera suelos salinos ( $<1.2\text{mmhos/cm}$ ) (MIDAGRI, 2017).

### 1.7. Fases fenológicas

Las fases fenológicas de la cebolla de bulbo según Jaramillo et al. (1997) y Yzarra & López (2011) se clasifican en cuatro, se detalla a continuación:

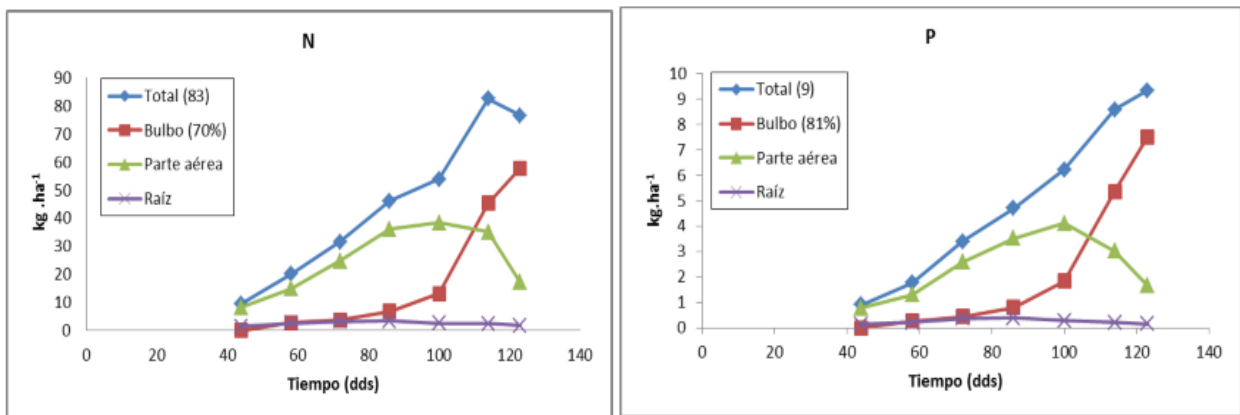
- **Aparición hojas.** Desde la siembra hasta la emergencia de la hoja cotiledonar. Después de trasplante, las plántulas comienzan a brotar nuevas hojas de forma tubular que pueden variar de 12 a 16 hojas.
- **Formación del bulbo.** Desde la emergencia de la hoja cotiledonar hasta inicio del llenado de bulbo cotiledonar. Comienza cuando cesa aparición de las nuevas hojas y empieza la acumulación de reservas en el bulbo, luego este empieza a crecer por engrosamiento de catáfilos.
- **Maduración inicial.** Desde el inicio de llenado del bulbo hasta el inicio del doblamiento del follaje. Las hojas empiezan a doblarse y el cultivo en general comienza a amarillarse.
- **Maduración completa.** Desde el doblamiento del follaje y la cosecha. Los bulbos están desprovistos completamente de sus hojas y listos para comercializar.

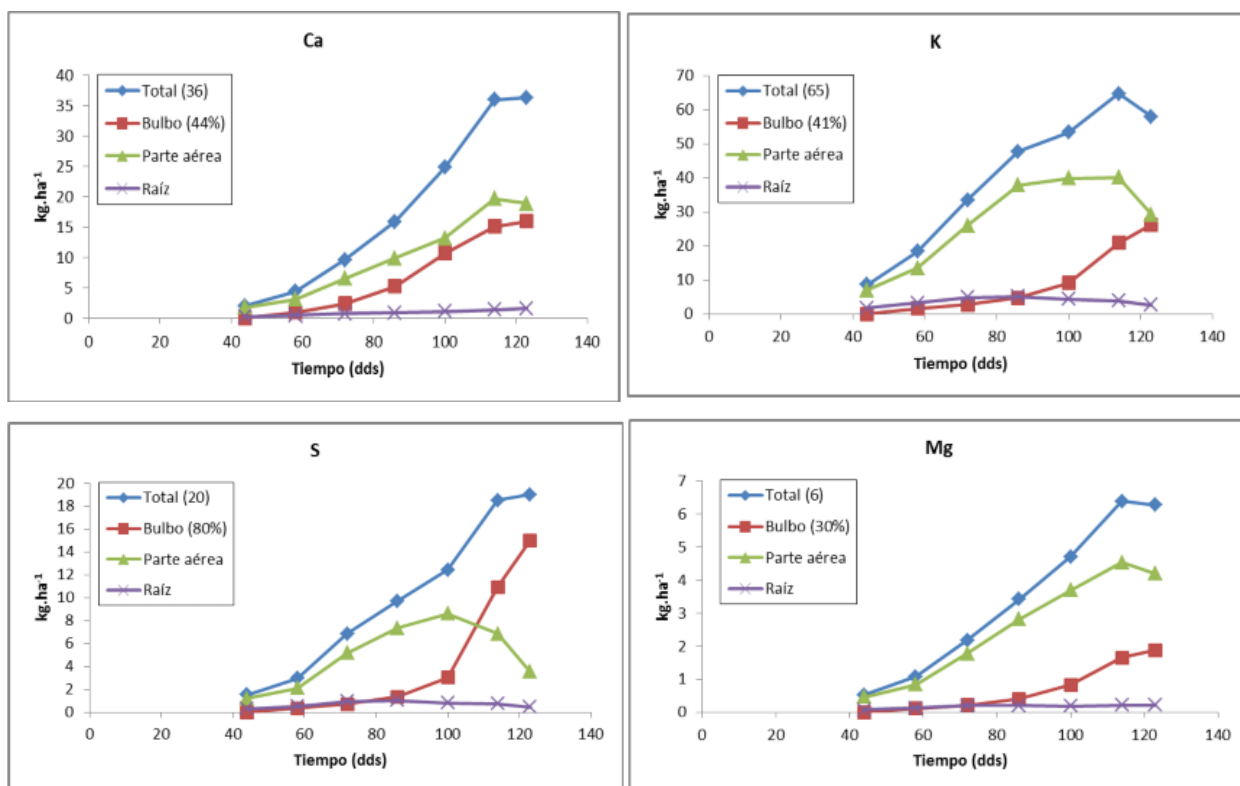
### 1.8. Curva de absorción de nutrientes de cebolla de bulbo

La mayor absorción de N se produce a los 120 DDT (días después de trasplante) con 149 kg, el P se absorbe más en etapa de bulbificación entre los 90 y 120 días, el K se absorbe más entre los 60 y 120 días (Pacheco-Bejarano, 2013).

**Figura 1.1**

*Curva de absorción de los macronutrientes y oligoelementos por el cultivo de cebolla.*





Fuente: (Pacheco-Bejarano, 2013)

## 1.9. Silicio

Aunque su esencialidad aún es objeto de debate, el silicio se encuentra en cantidades significativas en determinadas plantas. A un pH de 2.0 a 9.0, se absorbe como ácido silícico soluble ( $\text{SiO}_4\text{H}_4$ ), que está presente en la solución del suelo como sílice hidratada ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Se representa como  $\text{SiO}_2$  y su concentración en los tejidos vegetales varía del 0.25 al 2% en peso seco. Puede reemplazar al P y al B en algunas funciones debido a su similitud química, pero aún se necesitan más estudios para comprender completamente esta relación. Es un componente de numerosos silicatos y minerales arcillosos que se encuentran en el suelo y se produce por la erosión de rocas ígneas (Navarro & Navarro, 2003).

### 1.9.1. Silicio en la agricultura

El uso de silicio es común en hortalizas, la perspectiva positiva está asociada a la aplicación de este elemento vía foliar y resulta menos costoso. Tiene efecto bioestimulante, cuyos resultados positivos se dan en condiciones estresantes (salinidad, deficiencia o exceso de agua, extremos de temperatura, extremos ataques de plagas y enfermedades) (Artyszczak, 2018). El silicio es un elemento muy común y crucial para que las plantas se curen cuando están estresadas por su

entorno. Emplear Silicio es crear resistencia contra diversas enfermedades, infecciones y factores estresantes. El Si también puede ayudar a los suelos que tienen deficiencia de ciertos elementos químicos y tienen concentraciones peligrosas de metales pesados. Al formar tejidos silicificados en las plantas, el silicio reduce la toxicidad del Fe, Al y Mn, aumenta la disponibilidad de P y mejora la tolerancia a la sequía y la sal en las plantas. Sin embargo, los genotipos del organismo y de las plantas afectan la concentración de silicio. En consecuencia, la aplicación de Si puede tener un impacto en los procesos fisiológicos y las actividades metabólicas de las plantas (Mahbod-Sahebi et al., 2015).

En condiciones de déficit de fósforo (P), se demostró que la aplicación de silicio (Si) compensa significativamente el déficit de P en las plantas, aliviando el déficit de P en el crecimiento, incrementó la tasa fotosintética neta, la biomasa; las concentraciones de osmorreguladores como prolina, azúcar, soluble, proteínas solubles, aminoácidos libres y ácidos orgánicos. Mejoró las concentraciones de elementos esenciales (K, Na, Ca, Mg, Fe y Mn) en los diferentes tejidos de la planta de tomate (raíz, hojas y tallos) (Zhang et al., 2019)

Yu et al. (2022) al evaluar la fertilización con silicio, junto a microbios, mejoraron la calidad del suelo aplicando durante tres años consecutivos. Incrementó la diversidad microbiana en los géneros *Pseudomonas*, filo Actinobacteria, género *Nordella* y *Devosia*; muy importantes en la mejora de la salud del suelo.

Según González-Moscoso et al. (2022) en el ambiente existen dos formas de arsénico (As), como arsenito (AsIII) y arsenato (AsV), los cuales son altamente tóxicos y amenazan la seguridad alimentaria. Mediante una investigación en tomate, demostraron que nanopartícula de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) puede mitigar parcialmente la toxicidad de As y reduce la translocación de AsV en la planta. Seleiman et al. (2023) en el cultivo de la papa, demostraron que la aplicación foliar de nanopartículas (NP) de  $\text{SiO}_2$  contrarresta el déficit de agua en condiciones de zonas áridas. Incrementó significativamente el rendimiento y calidad de los tubérculos. Por lo tanto, las NP de  $\text{SiO}_2$  son alternativa para mitigar los efectos negativos de déficit de agua.

### **1.10. Levaduras**

Se han denominado como levaduras a los hongos con predominio de una fase unicelular en su ciclo de vida, las levaduras más conocidas son los pertenecientes al género *Sacharomyces*. Sin embargo, no todas las levaduras son benéficas, otros causan enfermedades (Sánchez et al., 2017). Su

estructura es de células eucariotas, no poseen flagelos o estructuras de locomoción. Muchos de ellos se reproducen de manera asexual por gemación o por fisión binaria (Vera-García, 1995).

Son organismos microscópicos eucariotas (es decir, seres vivos con una membrana nuclear que encierra el núcleo celular) (principalmente división Ascomycota y Basidiomycota). Requieren carbono y nitrógeno como nutrientes porque son organismos heterótrofos. Las levaduras consumen carbohidratos para producir CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en un ambiente aeróbico. En un ambiente anaeróbico, fermentan los carbohidratos para producir alcohol. La forma, el tamaño y la forma de sus células, que pueden ser redondas, elipsoidales, ovaladas o cilíndricas, dependen de la especie, la condición del cultivo y la edad de la colonia. Normalmente, las células miden de 3 a 10 µm de largo y de 2 a 7 µm de ancho. Pueden ser poliploides, diploides o haploides. Pueden ser heterotálicos (donde el material genético se intercambia dentro de un solo individuo) u homotálicos (para intercambio de material genético se requiere otro individuo) (Kowalska et al., 2022).

#### **1.10.1. Levadura: *Saccharomyces cerevisiae***

Son hongos eucariotas unicelulares con 16 cromosomas. Tienen su aplicación en fermentaciones, en la industria de chocolate, síntesis de biocombustibles, producción de vinos, industria alimentaria y bebidas (Parapouli et al., 2020). Esos microorganismos se reproducen por gemación (Hartwell, 1974).

Bajo el término general "levadura" se agrupa una amplia gama de organismos unicelulares, incluidas especies patógenas para plantas y animales, así como especies inofensivas pero muy útiles. Si bien la mayoría de las levaduras pueden sobrevivir en ambientes con rangos de pH de 3 a 10, prefieren medios ligeramente ácidos con valores de pH de 4.5 a 6.5. Cuando se trata de azúcares solubles, pueden competir contra *Streptococcus bovis*, el principal productor de ácido láctico del rumen. Las cepas de las especies de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (levadura de panadería comercial), *Kluyveromyces fragilis* y *Candida utilis* son las levaduras más estudiadas en todo el mundo (Suárez-Machín, 2016).

**Tabla 1.2***Composición de levaduras Saccharomyces cerevisiae*

Componentes	Valores (%)
Polisacáridos	34.1
Trehalosa	5.0
Ácidos nucleicos y nucleótidos	10.8
Fosfolípidos	4.5
Triglicéridos	2.5
Esteroles	1.0
Ceniza	3.1
Proteína	39

**Fuente:** (García et al., 2000, citado por Suárez-Machín, 2016).**1.10.2. Taxonomía de la levadura *Saccharomyces cerevisiae***

La escala taxonómica de la levadura, específicamente de la especie *Saccharomyces cerevisiae*, consiste de la siguiente manera:

Reino: Hongo

División: Ascomycota

Clase: Ascomycetes

Subclase: Hemiascomycetidae

Orden: Endomycetales

Familia: Saccharomycetaceae

Subfamilia: Saccharomycetidae

Género: *Saccharomyces*Especie: *Saccharomyces cerevisiae***Fuente:** (Gutiérrez, 2017).**1.10.3. Levadura en agricultura**

Para Kowalska et al. (2022) las levaduras son agentes biológicos que tienen mecanismos de acción directa o indirecta. De manera directa, influye la capacidad de levaduras para propiciar nutrientes solubles a las plantas, producir ácidos orgánicos y fitohormonas (ácido indol-3-acético). En forma indirecta, está dirigido a la capacidad de las levaduras de actuar como agentes biocontroladores, porque tiene actividad antifúngica y menor actividad como insecticida y herbicida. Asimismo, las

levaduras activan mecanismos de defensa de las plantas frente a factores ambientales extremos. Hernández-Fernández et al. (2021) afirma que en el futuro, las levaduras son potencialmente importantes para poder crear biofertilizantes y bioplaguicidas en una orientación de producción ecológica.

Las levaduras viven en varias condiciones del medio ambiente, estos pueden actuar como antagonistas de los otros patógenos de las plantas. Viven en un rango de temperatura amplio, no producen metabolitos dañinos y efectos nocivos en los alimentos finales. Muchos se encuentran en la rizosfera y de esta forma ayudan el desarrollo radicular produciendo hormonas vegetales como auxinas y citoquininas (Kowalska et al., 2022).

Chen et al. (2022) mediante aislamiento de la rizosfera de tomate Cherry silvestres, encontraron que el 66 de las 118 cepas de levaduras producen amoníaco (0.31 a 474.75 ug/mL) con triptófano como precursor. Estos resultados destacan el uso de las levaduras como potenciales biofertilizantes en condiciones controladas y campo. Por ejemplo, la especie *Saccharomyces cerevisiae* favorece en la solubilización de fósforo en el suelo.

**Tabla 1.3**

*Composición química de la levadura*

Indicador	%
Proteína bruta	40
Humedad	8.0
Grasa	0.02
Ceniza	8.0
Fibra cruda	35

**Fuente:** (Cifuentes y González, 2013).

### 1.11. Diatomita

Llamados también como roca silíceo sedimentaria de algas unicelulares, tienen característica de poseer pared celular a base de sílice opalina o llamado también como dióxido de silicio hidratado, su origen es alrededor del periodo Jurásico, la mayoría son autótrofos fotosintéticos (Round et al., 1990). La diatomita se puede usar en muchas áreas, como material absorbente, fertilizante, aditivo alimentario para animales, insecticida de contacto amigable con el medio ambiente (Sannikova et al., 2021).

### Propiedades fisicoquímicas de diatomita.

Según Round et al. (1990) las principales propiedades se resumen a continuación:

- ✓ Alta porosidad.
- ✓ Muy baja densidad.
- ✓ Capacidad muy alta para absorber líquidos.
- ✓ Capacidad abrasiva suave.
- ✓ Conductividad térmica muy baja.
- ✓ Alta resistencia a la temperatura.
- ✓ Punto de fusión entre 1400° a 1750°C.
- ✓ Peso específico 2.0 (la calcinación la incrementa a 2.3).
- ✓ Área superficial 10 a 30 m<sup>2</sup>/g (calcinada reduce a 0.5 a 5 m<sup>2</sup>/g).
- ✓ Índice de refracción 1.40 a 1.46 (la calcinación la incrementa a 1.49).
- ✓ Dureza (Mohs) 1.5 a 2.
- ✓ Químicamente inerte.

#### 1.11.1. Diatomitas de Ayacucho

En el Perú hay yacimientos como: Quicapata en Ayacucho, Tacurani en Arequipa, Bayóvar en Piura. El yacimiento de Ayacucho, cuando no están hidratados, son de coloración blanca, su densidad aparente es 0.77. Pertenecen al género de diatomeas *Fragilaria brevistriata*, *Melosira perpusilla* y *Epithemia zebra* (en menor cantidad); todos típicos de agua dulce (Agramonte, 1983).

**Tabla 1.4**

*Características fisicoquímicas de diatomita de Ayacucho.*

Composición	Cantidad (%)
SiO <sub>2</sub>	79
Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	7.37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.17

K <sub>2</sub> O	0.63
Na <sub>2</sub> O	0.85
CaO	0.88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04
MgO	2.01

Fuente: (Agramonte, 1983).

**Tabla 1.5**

*Características fisicoquímicas de diatomita de Ayacucho, Arequipa, Piura e Ica.*

Tipo de yacimiento	LACUSTRE					MARINO	
	Arequipa		Ayacucho		Tacna	Piura	Ica
Región Yacimiento	Maca	Tarucani	Quicapata	Tambillo	Tripartito	Bayovar	Ocucaje
SiO <sub>2</sub>	84,89	86,20	89,50	85,78	68,00	65,50	73,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,62	5,90	2,70	2,71	8,15	2,00	9,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,04	1,70	0,90	1,22	3,00	1,30	3,00
CaO	0,94	1,20	1,40	0,64	2,00	9,60	2,90
MnO	0,03	-	-	0,01	0,56	-	-
MgO	0,50	0,60	0,50	0,55	2,57	3,30	1,20
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	0,14	0,31	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,92	-	0,10	0,26	1,38	1,90	1,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	-	-	0,02	0,33	-	-
K <sub>2</sub> O	0,58	-	0,40	0,39	1,45	0,50	1,30
PXC	7,34	3,80	4,45	8,29	11,20	14,75	4,66

PXC: Perdida por calcinación, Fuente: (Bustamante, 1998)

### 1.12. Fertilización foliar

Es un método eficaz después de aplicación edáfica de nutrientes, sin embargo, se puede presentar dificultades en la absorción y translocación de nutrientes en la planta (Niu et al., 2021). Es una técnica de suministrar vía foliar fertilizante líquido, la absorción se produce por medio de los estomas y epidermis, es efectivo para suministrar nutrientes en pequeñas cantidades, pero no es sustituto de fertilización edáfica. Como ventajas, son eficientes y oportuno en momentos críticos de deficiencias y es un medio para compensar deficiencias inducidas por el suelo o el medio ambiente (Patil & Chetan, 2018).

#### Mecanismos de absorción foliar

La adsorción en la superficie de la hoja, la penetración cuticular, la adsorción y absorción en compartimentos celulares metabólicamente activos en la hoja y, en última instancia, el movimiento

y la utilización de los nutrientes absorbidos por la planta son los procesos mediante los cuales una solución nutritiva aplicada al follaje de un cultivo es absorbida por las plantas. Desde un punto de vista práctico, con frecuencia es difícil distinguir entre estos procesos, aunque en muchos estudios que utilizan el término "absorción foliar", éste se emplea con frecuencia para referirse a un aumento del contenido de nutrientes en los tejidos sin tener en cuenta específicamente el beneficio biológico relativo de aplicar el tratamiento a la planta en su conjunto (Fernández et al. 2021).

Para que la pulverización de nutrientes foliares sea eficaz, es esencial que el ingrediente activo llegue a la superficie de la planta y se active metabólicamente en las células objetivo donde se requieren los nutrientes. Cuando un producto se aplica de forma tópica, puede atravesar la cutícula, las imperfecciones o fisuras de la cutícula o las estructuras epidérmicas modificadas, como los pelos y las estomas (Fernández et al. 2021).

### Figura 1.2

#### *Estructura foliar de las plantas*



**Nota.** Análisis de micrografías electrónicas de estomas presentes en la superficie de: (A) fruto de durazno; (B) fruto de cereza; (C) superficie abaxial de hoja de rosal; y (D) superficie abaxial de hoja de brócoli Fuente: Fernández et al. (2021).

Las propiedades e interacciones de la superficie de una planta con agua, soluciones nutritivas, contaminantes, microorganismos, agroquímicos y otras sustancias están determinadas por la estructura y composición de las ceras cuticulares en superficies lisas o pubescentes. Una cutícula hidrofóbica cubre las plantas, limitando la cantidad de agua y solutos gaseosos que escapan al ambiente circundante, al mismo tiempo que evita que estos solutos entren libremente al interior de la planta. Las superficies de las plantas son difíciles de mojar y, en consecuencia, de impregnarse con soluciones nutritivas polares debido a su composición estructural y química. Dado el estado actual del conocimiento, es posible abordar las siguientes oportunidades, incertidumbres y certezas con respecto a la aplicación de fertilizantes foliares (Fernández et al. 2021)

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1. Localización**

##### ***2.1.1. Ubicación específica***

La investigación se realizó en el centro experimental Canaán, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, a 2750 msnm.

##### ***2.1.2. Ubicación política***

Departamento : Ayacucho  
Provincia : Huamanga  
Distrito : Andrés Avelino Cáceres  
Localidad : Canaán

##### ***2.1.3. Ubicación geográfica***

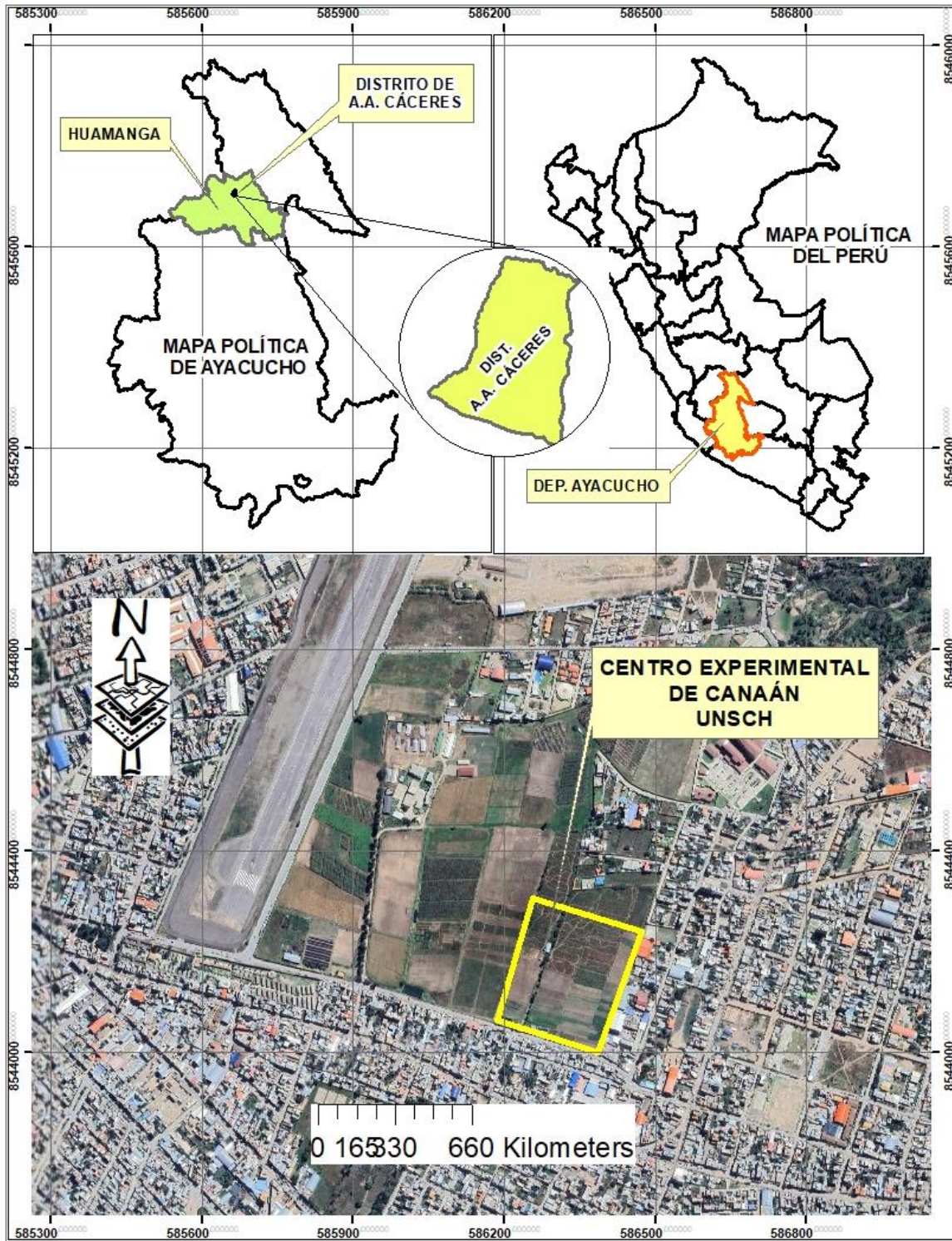
Latitud : 13° 9'20.85"S  
Longitud : 74°13'12.72"O  
Altitud : 2750 m.s.n.m.  
Región natural : Región Quechua

##### ***2.1.4. Ubicación ecológica***

Según la clasificación de zonas de vida por Holdridge, el centro experimental Canaán - UNSCH pertenece a la zona de vida estepa espinosa montano bajo subtropical (ee-MBS), esta zona comprende altitudes de 2000 a 3100 metros. Según la clasificación de áreas naturales del Perú, se encuentra en la región quechua.

**Figura 2.1**

*Mapa de ubicación del Centro Experimental Canaán.*



## 2.2. Antecedentes del terreno

El área experimental, es dedicada a la siembra en general de hortalizas y en el año 2022, se cultivó leguminosas (arveja) y maíz

## 2.3. Características climáticas

Según los datos de estación meteorológica de INIA – Canaán, el área experimental tiene temperatura media mínima y máxima de 9.25 °C y 25.15 °C, respectivamente. Presenta una precipitación acumulada anual de 493.5 mm. El déficit hídrico se presenta en los meses abril hasta noviembre.

**Tabla 2.1**

*Balance hídrico según los datos meteorológicos para el área experimental Canaán UNSCH.*

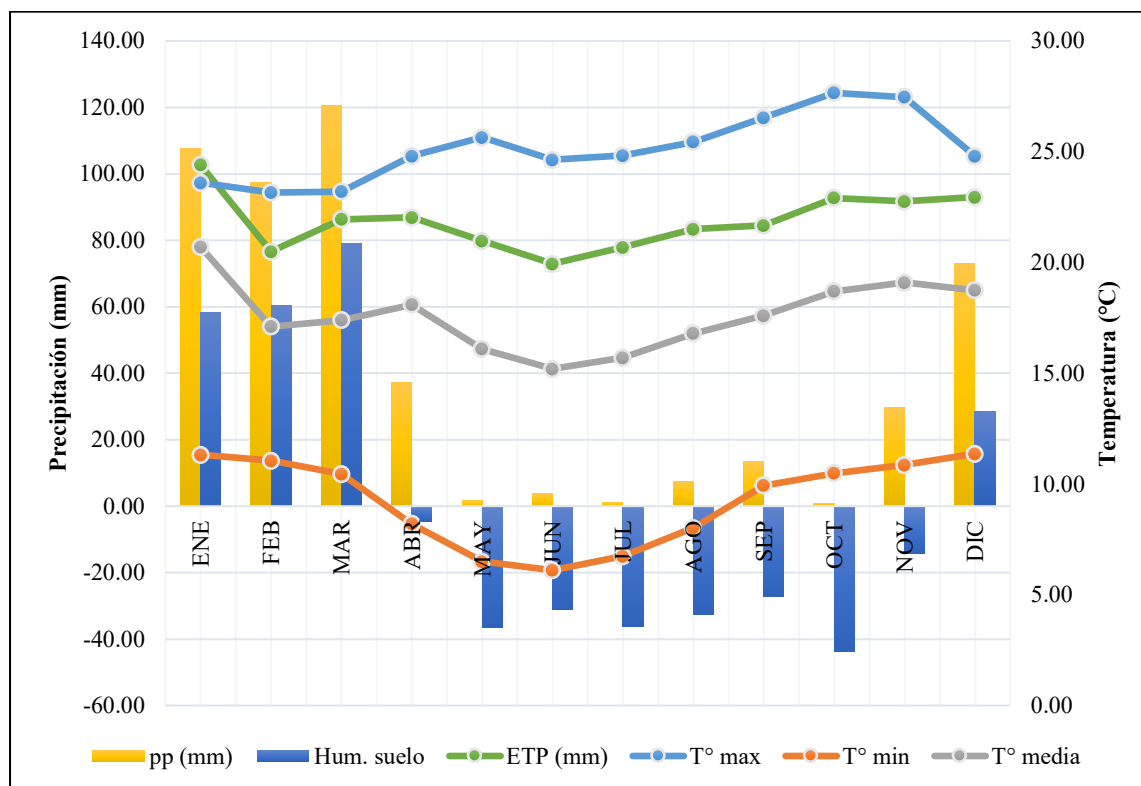
ESTACIÓN : INIA-CANAÁN		DISTRITO : AYACUCHO		ALTITUD : 2735 msnm									
		PRO VINCIA : HUAMANGA		LATITUD : 13° 10' 00.06" S									
		DEPARTAMENTO : AYACUCHO		LONGITUD : 74° 12' 22.92" W									
DESCRIPCIÓN	UNID	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Días		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
T° max. Media mensual	°C	23.60	23.16	23.21	24.80	25.65	24.63	24.83	25.45	26.53	27.66	27.46	24.81
T° min. Media mensual	°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
T° media mensual	°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
Factor de multiplicacion		4.96	4.48	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96
ETP	mm	102.67	76.62	86.30	86.88	79.86	72.96	77.87	83.33	84.48	92.75	91.68	93.00
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
ETP ajustado	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				<b>-4.49</b>	<b>-36.62</b>	<b>-31.2</b>	<b>-36.3</b>	<b>-32.6</b>	<b>-27.2</b>	<b>-43.61</b>	<b>-14.29</b>	

**Nota.** Los datos meteorológicos corresponden al año 2022, ETP: evapotranspiración

Según el climograma de la Figura 2.2, el pico más alto de temperatura se alcanzó en el mes de octubre (27.7 °C); la precipitación más alta se alcanzó en el mes de marzo (120.5 mm) y la temperatura más baja en el mes de junio.

**Figura 2.2**

*Climograma del Centro Experimental Canaán - UNSCH*



**Nota.** Pp: precipitación, T°: temperaturas, ETP: evapotranspiración.

#### **2.4. Características fisicoquímicas del suelo**

Según el análisis de caracterización del suelo, cuyos resultados se observan en la tabla 2.2, se trata de un suelo un PH neutro, conductividad eléctrica indica niveles de sales solubles es bajo, ausencia de carbonatos, pobre en materia orgánica, fósforo y potasio disponibles muy alto, tiene alta capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total pobre, textura franco arcilloso, relaciones catiónicas, donde el exceso de magnesio en relación al potasio, esto podría disminuir el accionar del potasio debido al desequilibrio existente entre sí.

**Tabla 2.2***Características fisicoquímicas del suelo experimental*

Descripción	Valores	Unidad	Interpretación	Método
pH	7.19	--	Neutro	Potenciométrico (1:1)
C.E.	0.54	dS/m	Normal	Conductimétrico (1:1)
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.0	%	Sin carbonatos	Gasovolumétrico – neutralización ácida.
MO	1.79	%	Pobre	Walkley y Black
P disponible	37.41	ppm	Muy alto	Olsen modificado
K disponible	280	Ppm	Muy alto	Saturación con absorción atómica
CIC	26.92	Cmol(+)/kg	Alto	Acetato de amonio 1N, pH 7.
Nt	0.09	%	Pobre	Micro Kjendhal
Textura	--	--	Franco arcilloso	Hidrómetro de Bouyoucos

**Nota.** Laboratorio Multiservicios Agrolab, 2023.

En la Tabla 2.3 se observan las relaciones catiónicas.

**Tabla 2.3***Interpretación de relaciones catiónicas*

Relaciones catiónicas	Rangos normales	Valor actual	Interpretación
Ca <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup>	5 – 8	4.58	Normal
Ca <sup>++</sup> /K <sup>+</sup>	14 – 16	15.34	Normal
Mg <sup>++</sup> /K <sup>+</sup>	1.8 – 2.5	3.36	Desequilibrio

## 2.5. Material biológico

- **Cultivo.** Se utilizó la cebolla de bulbo (variedad roja arequipeña), por tener una buena aceptación nacional en el mercado peruano. 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, llegara alcanzar a una altura mayor a los 45 cm, el bulbo puede exhibir una forma achatada o redondeada, de color rojo granate.
- **Biosílice.** El biosílice se obtuvo del yacimiento de Quicapata - Carmen alto. Se utilizó este material debido a su elevado contenido de SiO<sub>2</sub>, este material 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 (0.125mm).
- **Levadura de cerveza.** Se obtuvo de los residuos de la industria de cerveza artesanal “NEVARIA” en Ayacucho.

## 2.6. Factores de estudio

- **Niveles de biosílice foliar (B)**
  - b1:** Biosílice (0 % p/v)
  - b2:** Biosílice (0.4% p/v)
  - b3:** Biosílice (0.8 % p/v)
- **Niveles de Levadura de cerveza (L)**
  - l1:** Levadura de cerveza (0% p/v)
  - l2:** Levadura de cerveza (1% p/v)

## 2.7. Tratamientos

Se consideraron 6 tratamientos resultantes del arreglo factorial de 2 niveles de levadura de cerveza y 3 niveles de biosílice, cuyas concentraciones se muestran en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4***Descripción de los tratamientos evaluados*

Tratamientos (T)	Descripción
T1	Biosílice (0% p/v) + levadura de cerveza (0% p/v)
T2	Biosílice (0% p/v) + levadura de cerveza (1% p/v)
T3	Biosílice (0.4% p/v) + levadura de cerveza (0% p/v)
T4	Biosílice (0.4% p/v) + levadura de cerveza (1% p/v)
T5	Biosílice (0.8% p/v) + levadura de cerveza (0% p/v)
T6	Biosílice (0.8% p/v) + levadura de cerveza (1% p/v)

**2.8. Diseño experimental**

Se utilizó Diseño Bloques Completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial de tres niveles de biosílice (0, 0.4 y 0.8% p/v) por dos niveles de levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) (0 y 1% p/v), con 3 repeticiones. Haciendo un total de 18 unidades experimentales. Cuya distribución se observa en la Tabla 2.4

El modelo aditivo lineal del análisis estadístico fue el siguiente:

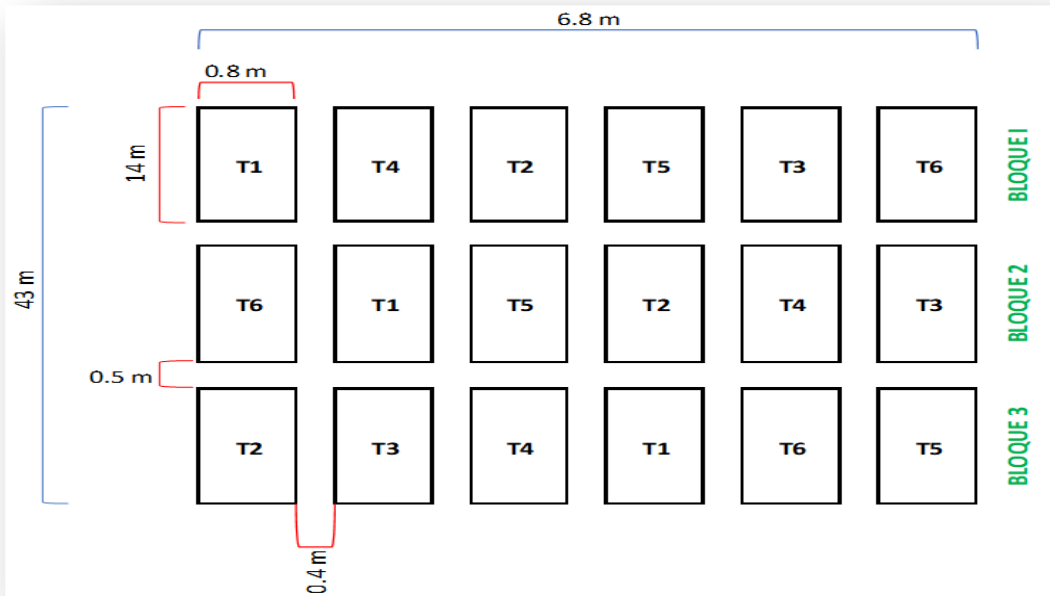
$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \tau_i + \alpha_j + \tau\alpha_{(ij)} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

- ✓  $Y_{ijk}$  = Es la observación de la i-ésimo dosis de biosílice y j-ésimo dosis de levadura.
- ✓  $\mu$  = Es la media general.
- ✓  $\beta_k$  = Es el efecto de k-ésimo bloque
- ✓  $\tau_i$  = Es el efecto principal de la i-ésimo del factor.
- ✓  $\alpha_j$  = Es el efecto principal de la j-ésimo del factor.
- ✓  $\tau\alpha_{(ij)}$  = Efecto de la interacción entre el j-ésimo del factor biosílice y el k-ésimo del factor levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*).
- ✓  $\epsilon_{ijk}$  = Es el efecto del error experimental

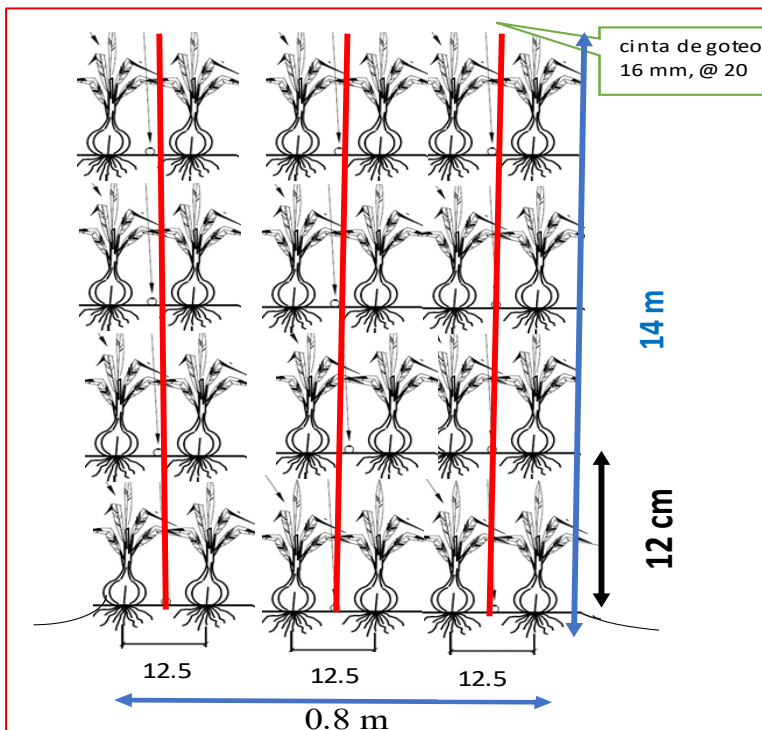
**Figura 2.3**

*Croquis de los tratamientos en el campo experimental*



**Figura 2.4**

*Croquis de la unidad experimental*



**Tabla 2.5***Descripción de características de las unidades experimentales*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medida</b>
<b>a. parcelas</b>		
Longitud	m	14
Ancho	m	0.80
Número de hileras		6
Distancia entre hileras	cm	12.5
Distancia entre plantas	cm	12.
Numero de plantas		700
Área	m <sup>2</sup>	11.2
<b>b. bloque</b>		
Número de bloques		3
Largo	m	14
Ancho	m	6.8
Área	m <sup>2</sup>	95.2
<b>c. Campo experimental</b>		
Largo	m	43
Ancho	m	6.8
Área total de unidades experimentales	m <sup>2</sup>	201.6
Área total del experimento	m <sup>2</sup>	292.4

## 2.9. Análisis estadístico

Los resultados cuantitativos fueron procesados mediante Análisis de Varianza (ANVA), la prueba de contraste de Tukey (0,05), correlación de las variables cuantitativas. Todo análisis se realizó mediante el software “Rstudio” versión 4.3.1 y Excel para algunos gráficos.

## 2.10. Instalación y conducción del cultivo

**a. Almacigado de semillas.** Las camas de almacigado se realizaron el 01 de junio del 2023 en el Centro Experimental Canaán – Ayacucho. Las semillas de la cebolla fueron almacenadas en camas, cuyo proceso tuvo los siguientes procedimientos:

- ✓ Preparación de la cama de almácigo con sustratos de humus de lombriz y musgos molidos.
- ✓ Almacigado al voleo de semillas.
- ✓ Cuidado permanente hasta el momento de trasplante.

**b. Preparación del terreno para trasplante.** Se realizó la limpieza general de restos de cosecha anterior, luego el arado respectivo con maquinaria agrícola y mullido de los

terrones, para finalmente continuar con la preparación de camas que fueron dimensionadas como cama efectiva de 0.8 m de ancho y 14 m de largo por cada unidad experimental. La fecha de esta labor fue el 27 de julio del 2023.

**c. Riego.** Se realizó por goteo, para lo cual se instaló cintas de riego (16 mm con goteros cada 20 cm) para cada hilera. La frecuencia de riego estuvo sujeto al comportamiento climático.

**d. Trasplante.** Se realizó con plantines cuya altura promedio fue de 10 cm. los distanciamientos fueron 12 cm entre plantas y 12.5 cm entre hileras. El trasplante se realizó 24 de agosto del 2023.

**e. Preparación y aplicación de biosílíce.**

Se tamizó utilizando un tamiz fino con la finalidad de obtener polvos de textura más fina (0.125mm). Las soluciones preparadas en dosis de (0.4 y 0.8 % p/v). El volumen que se aplicación por parcela 30 L y 1025 L ha<sup>-1</sup>.

La aplicación del biosílíce 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).

**f. Activación y aplicación de levadura.**

Disuelve levadura (*Sacharomyces cerevisiae*) seca de 200 g en agua tibia con un poco de azúcar (200 g/litro de agua). La mezcla debe reposar 48 horas antes de la aplicación en un lugar cálido hasta que se forme espuma, lo que indica que la levadura está activa.

A partir del cual se diluye para su aplicación foliar 30 L/parcela experimental y 683 L ha<sup>-1</sup>.

**g. Fertilización.** La fertilización, basada en la extracción del cultivo y los resultados del análisis de suelo, fue orgánica y mineral, esta última fraccionada hasta en tres momentos. El detalle del proceso se observa en la Tabla 2.6 para una superficie total de 292.4 m<sup>2</sup>. Se empleó 1.6 t ha<sup>-1</sup> humus de lombriz Los fertilizantes sintéticos (macronutrientes y micronutrientes) aplicados en todos los tratamientos. El primer abonamiento después del trasplante, el 30 de agosto. El segundo abonamiento a inicio de formación de bulbo, el 3 de noviembre del 2023. Finalmente, el 18 de noviembre, las ultimas dosis de P y N.

La aplicación de fertilizantes sintéticos a todos los tratamientos fue fraccionada, según la fórmula establecida de acuerdo al análisis de suelo de la parcela: 118-81-36-36 kg ha<sup>-1</sup> de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> -K<sub>2</sub>O-S y 2.3-0.25-0.13-0.43-0.5 kg ha<sup>-1</sup> de Fe-Zn- Cu-Mn-B.

**Tabla 2.6***Descripción de fertilización del cultivo de cebolla*

Fuente	Número de aplicaciones			Total
	1°	2°	3°	
Fosfato di amónico	2.1 kg	2.1 kg	0.9 kg	5.1 kg
Urea	1.5 kg	--	--	1.5 kg
Nitrato de amonio	--	1.5 kg	1.5 kg	3.0 kg
Cloruro de potasio	--	2.0 kg	--	2.0 kg
Sulfato de amonio	--	4.5 kg	--	4.5 kg
Humus de lombriz	50 kg	--	--	50 kg
Microelementos (g)				
Quelato de Fe	292.5 g	295.5	--	585 g
Sulfato de zinc	17.5 g	17.5g		35 g
Sulfato de cobre	7.5 g	7.5 g		15 g
Sulfato de manganeso	20 g	20 g		40 g
Etibor	40 g	40 g	--	80 g

**h. Control fitosanitario.** El control fitosanitario se realizó ante la presencia de insectos como el trips y enfermedad mildiu; consistió en preparar un extracto a base de rocoto, ajo, así como canela y jabón. Este producto se aplicó en 3 ocasiones a una dosis de 1 L/20 L o 34 L ha<sup>-1</sup>, específicamente a los 45, 52 y 59 DDT.

Para controlar el mildiu (*Peronospora destructor*) se aplicó un producto fungicida fitoklin, en dosis recomendada en ficha técnica.

**i. Manejo de malezas.** El control de arvenses consistió en deshierbo manual y de manera constante, a fin de evitar propagación de enfermedades, plagas y competencias nutricionales entre el cultivo y los arvenses. La eliminación de las malezas presentes en el cultivo de la cebolla se realizó de manera manual a los 25, 45, 65 y 80 DDT.

**j. Agobio.** Consistió en doblar las plantas a mano, con el objeto de retardar la maduración de las plantas que iban adelantadas en su formación del bulbo, lo cual permitió obtener un cultivo con mayor uniformidad. Esta labor se realizó 15 días antes de la cosecha, según lo

propuesto por Cargua (2013). Esta labor se hizo de manera manual el 1 de diciembre del 2023.

- k. **Cosecha y empaque.** Se realizó a los 116 DDT, el 17 de diciembre del 2023, se realizó la cosecha de bulbos de cebolla, cuando las hojas estuvieron dobladas en 90% de las plantas. Los bulbos fueron removidos manualmente y luego llevados a la sombra para continuar con las evaluaciones.

## 2.11. Evaluación de variables de rendimiento

- a. **Altura de la planta (cm).** Empleando el flexómetro se midió la altura en 10 plantas por cada tratamiento, un día antes del agobio o doblado de los cuellos de la cebolla, la altura se tomó desde el cuello del bulbo hasta el ápice de la hoja más larga.
- b. **Número de hojas por planta.** Se realizó el conteo en 10 plantas por cada tratamiento y repetición. Estos datos fueron recolectados durante maduración inicial del cultivo.
- c. **Diámetro de bulbo (cm).** Empleando el vernier se midió el diámetro de los bulbos después de la cosecha, para lo cual se tomaron 10 bulbos al azar por cada tratamiento.
- d. **Longitud e bulbo.** Empleando el vernier se midió el diámetro de los bulbos después de la cosecha, para lo cual se tomaron 10 bulbos al azar por cada tratamiento.
- e. **Peso promedio de bulbo (g).** Se tomó el peso de los 10 bulbos en una balanza analítica, expresándose el resultado en gramos (g).
- f. **Materia seca de la planta (MS).** Se recolectó 10 plantas por tratamiento a la madurez de cosecha. Luego fueron secados en la estufa por 48 horas a una temperatura constante de 105 °C. La obtención de materia seca fue por gravimetría empleando una balanza analítica, para el cálculo del porcentaje de MS fue empleada la siguiente relación:

- a.  $MS = \frac{PS}{PF} \times 100$

- b. Donde:

MS: materia seca

PS: peso seco de la planta

Peso fresco de la planta

- g. **Rendimiento total de bulbos (kg ha<sup>-1</sup>).** El rendimiento total de los bulbos por hectárea se realizó pesando el rendimiento por cada parcela y extrapolando a una hectárea.

**CAPÍTULO III**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**3.1. Altura de planta**

**Tabla 3.1**

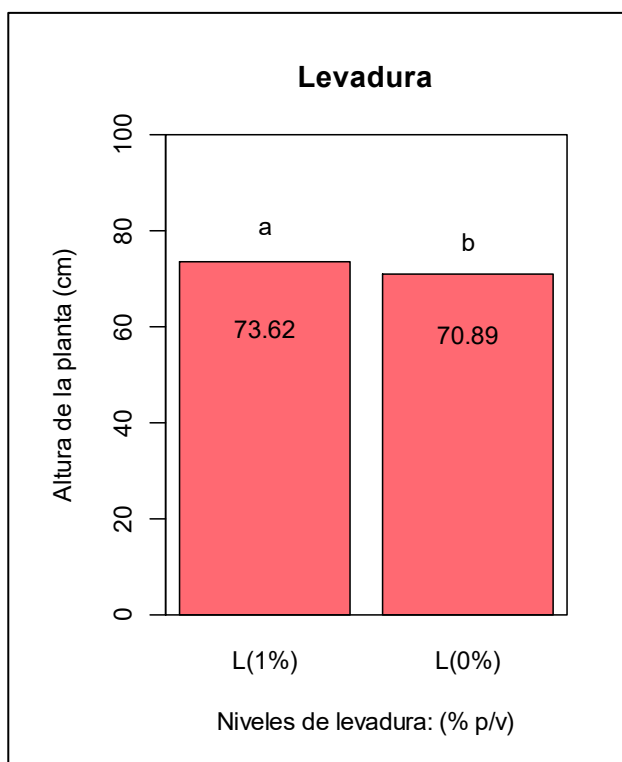
*Análisis de varianza de altura de planta de cebolla (*Allium cepa* L.), por efecto de la aplicación de biosílíce y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*).*

F. V	G. L	S. C	C. M	F.c	p-valor
Bloques	2	116.040	58.020	13.110	0.002**
Tratamientos	5	71.100	14.220	3.210	0.055ns
Biosílíce (B)	2	32.070	16.035	3.620	0.065ns
Levadura (L)	1	33.620	33.620	7.600	0.020*
Interacción(B*L)	2	5.410	2.705	0.610	0.562ns
<b>Levadura 0%</b>					
R. Lineal	1	14.110	14.110	3.190	0.105ns
R. cuadrático	1	3.210	3.210	0.730	0.414ns
<b>Levadura 1%</b>					
R. Lineal	1	18.030	18.030	4.080	0.071ns
R. cuadrático	1	2.140	2.140	0.480	0.503ns
Error	10	44.250	4.425		
Total	16	268.880			
C.V (%): 2.91					

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 3.1) de altura de planta de cebolla, indican que existe significancia estadística en las fuentes de variación, bloques y levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). El coeficiente de variabilidad 2.91% es indicio de la precisión y confiabilidad de los resultados.

### Figura 3.1

Comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) del efecto principal de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en altura de planta de cebolla (*Allium cepa* L.), Canaán a 2750 msnm.



La prueba de Tukey en la Figura 3.1, muestra que existe mejor respuesta en altura de planta de cebolla cuando se incorpora al follaje 1% de levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*), alcanzado 73.62 cm de altura, de este modo 2.73 cm más, que el testigo o sin levadura, equivalente al 3.85% de incremento. Las levaduras empleadas son microorganismos residuales obtenidos del proceso de elaboración de cerveza; los que actuarían como bioestimulante por su contenido de fitohormonas y aminoácidos, que influyen en el crecimiento de la planta (Taha et al., 2021). Fueron denominadas “levaduras promotoras del crecimiento vegetal” (Nimsi et al., 2023). Estudios de Chen et al. (2022) encontraron que el 66% de cepas de levadura aisladas (incluido *Saccharomyces cerevisiae*) producían amoníaco, fuente de nitrógeno, elemento esencial para las plantas.

Los resultados son concordantes a los hallazgos de Taha et al. (2021), quienes encontraron en cultivo de *Lupinus termis* L., una influencia notoria de dosis alta de levadura (7.5%) en el crecimiento de planta, pigmentos fotosintéticos, azúcares solubles, proteínas totales y rendimiento respecto al testigo. Adam et al. (2022), demostraron que la aplicación foliar de 0.4% de levadura

seca incrementó significativamente la altura de *Vicia faba* L, alcanzando 65 cm a los 75 días de evaluación respecto al testigo. Alsaady (2020) encontraron que la aplicación foliar de 3 y 6 g L<sup>-1</sup> de suspensión de levadura activa incrementó significativamente el crecimiento vegetativo (altura de planta, longitud de hoja, ancho de hoja, diámetro de cogollo, peso de cogollo) en la col respecto al testigo. Alobaidy et al. (2022) tras aplicar 1% de levadura foliar encontraron respuesta significativa en la altura de la planta en cultivo de *zea mays* L.

### 3.2. Número de hojas por planta

**Tabla 3.2**

*Análisis de varianza de número de hojas por planta de Cebolla (Allium cepa L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza (Saccharomyces cerevisiae).*

F. V	G. L	S. C	C. M	F.c	p-valor
Bloques	2	3.658	1.829	3.268	0.081ns
Tratamientos	5	5.116	1.023	1.828	0.195ns
Biosílice (B)	2	3.134	1.567	2.800	0.108ns
Levadura (L)	1	1.681	1.681	3.004	0.114ns
Interacción(B*L)	2	0.301	0.151	0.269	0.770ns
<b>Levadura 0%</b>					
R. Lineal	1	1.130	1.130	2.019	0.186ns
R. cuadrático	1	0.220	0.220	0.393	0.543ns
<b>Levadura 1%</b>					
R. Lineal	1	2.040	2.040	3.645	0.085ns
R. cuadrático	1	0.040	0.040	0.071	0.783ns
Error	10	5.596	0.560		
Total	16	17.800			
C.V (%): 6.68					

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 3.2) del número de hojas de cebolla indican que no hay significancia en los efectos principales de biosílice y levadura, así como en la interacción (B\*L) y los tratamientos, lo que sugiere que no hay respuesta diferenciada a los tratamientos aplicados. El coeficiente de variabilidad (6.68%) indica una alta precisión y fiabilidad de los resultados.

### 3.3. Diámetro de bulbo

**Tabla 3.3**

*Análisis de varianza de número de diámetro de bulbo de Cebolla (*Allium cepa* L.), por efecto de la aplicación de biosílíce y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*).*

F. V	G. L	S. C	C. M	F.c	p-valor
Bloques	2	28.230	14.115	0.761	0.493ns
Tratamientos	5	26.010	5.202	0.280	0.911ns
Biosílíce (B)	2	15.100	7.550	0.407	0.676ns
Levadura (L)	1	10.890	10.890	0.587	0.461ns
Interacción(B*L)	2	0.020	0.010	0.001	1.000ns
<b>Levadura 0%</b>					
R. Lineal	1	0.070	0.070	0.004	0.552ns
R. cuadrático	1	0.009	0.009	0.000	0.943ns
<b>Levadura 1%</b>					
R. Lineal	1	0.079	0.079	0.004	0.528ns
R. cuadrático	1	0.001	0.001	0.000	0.962ns
Error	10	185.550	18.555		
Total	16	239.949			
C.V (%): 7.48					

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 3.3) del diámetro promedio del bulbo de cebolla indican que no son significativos los efectos principales de biosílíce y levadura, así como la interacción (B\*L) y los tratamientos, lo que sugiere que no hay respuesta favorable a la aplicación de los factores de estudio. El coeficiente de variabilidad (7.48%) indica una alta precisión y fiabilidad de los resultados.

### 3.4. Longitud del bulbo

**Tabla 3.4**

*Análisis de varianza de longitud de bulbo de Cebolla (*Allium cepa* L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*).*

F. V	G. L	S. C	C. M	F.c	p-valor
Bloques	2	0.038	0.019	0.161	0.854ns
Tratamientos	5	0.085	0.017	0.141	0.978ns
Biosílice (B)	2	0.037	0.018	0.154	0.860ns
Levadura (L)	1	0.047	0.047	0.393	0.545ns
Interacción(B*L)	2	0.001	0.000	0.003	0.997ns
<b>Levadura 0%</b>					
R. Lineal	1	0.023	0.023	0.191	0.671ns
R. cuadrático	1	0.001	0.001	0.006	0.942ns
<b>Levadura 1%</b>					
R. Lineal	1	0.014	0.014	0.117	0.739ns
R. cuadrático	1	0.000	0.000	0.000	0.995ns
Error	10	1.195	0.120		
Total	16	1.355			
C.V (%): 4.58					

Los resultados de análisis de varianza (Tabla 3.4) de longitud de bulbo de cebolla, indican no significativo en los efectos principales, biosílice y levadura, así como para la interacción (B\*L) y los tratamientos, indicando que la respuesta a los tratamientos aplicados, resultan de acción similar; en tal sentido. El coeficiente de variabilidad 4.58% nos indica alta precisión y fiabilidad de los resultados.

### 3.5. Peso de bulbo y rendimiento total

**Tabla 3.5**

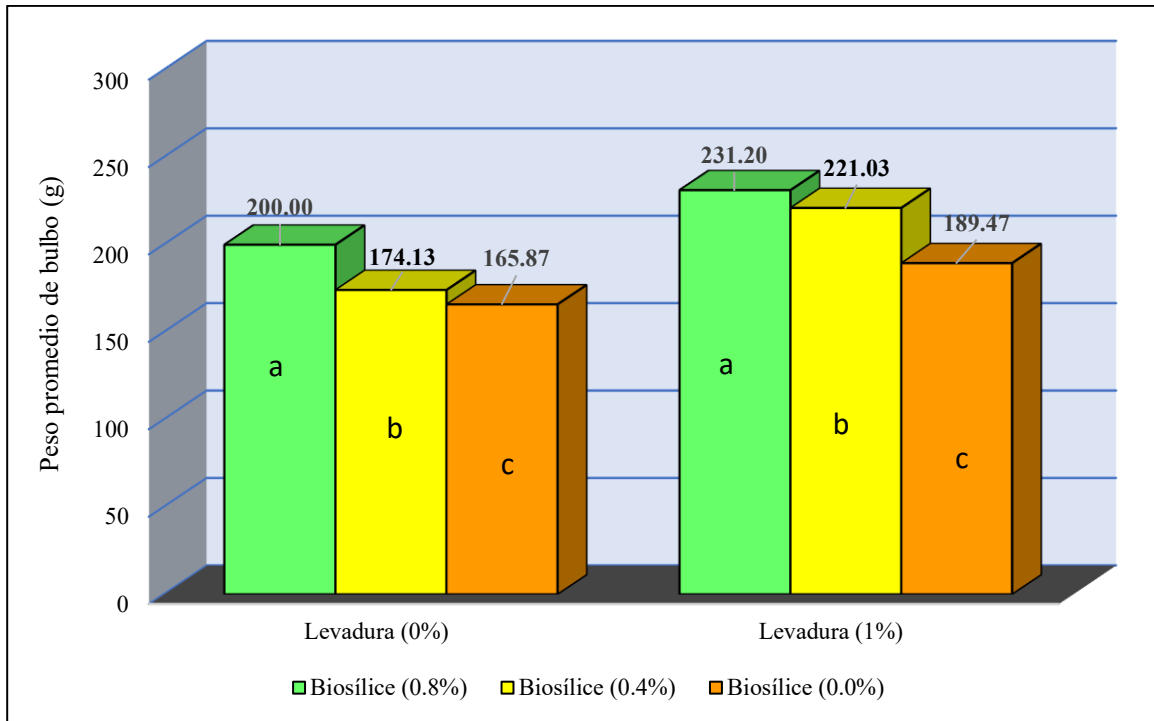
*Análisis de varianza de peso promedio del bulbo de Cebolla (*Allium cepa* L.), por efecto de la aplicación de biosílíce y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*).*

F. V	G. L	Peso de bulbo	
		(g)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
<b>Cuadrados medios (CM)</b>			
Bloques	2	4.5ns	612416.2 ns
Tratamientos	5	1983.0**	278870164.7**
Biosílíce (B)	2	2160.0**	303778133.3**
Levadura (L)	1	5171.0**	727230385.1**
Interacción (B*L)	2	212.0**	29782085.8**
<b>Levadura 0%</b>			
R. Lineal	1	1747.6**	245758720.0**
R. cuadrático	1	154.9*	21779824.0**
<b>Levadura 1%</b>			
R. Lineal	1	2612.5**	367381715.5**
R. cuadrático	1	228.0**	32200178.7**
Error	10	6.2	875761.3
Total	16		
C.V (%):		1.26	1.26

Los resultados de análisis de varianza (Tabla 3.5) de peso promedio de bulbo de cebolla y rendimiento total por hectárea de bulbos, indican diferencia altamente significativa en los efectos principales, biosílíce y levadura, así como para la interacción (B\*L), indicando que sí hay interdependencia positiva de los niveles de biosílíce y levadura aplicada. El coeficiente de variabilidad 1.26% nos indica alta fiabilidad de los resultados. Los modelos de regresión evaluados para 0 y 1% de levadura, tanto lineales y cuadráticos resultaron altamente significativo; es decir, que los pesos y rendimiento se ajusta a estos modelos.

**Figura 3.2**

*Comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples de la aplicación de niveles de biosílice y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) del peso promedio de bulbo de cebolla (*Allium cepa* L).*

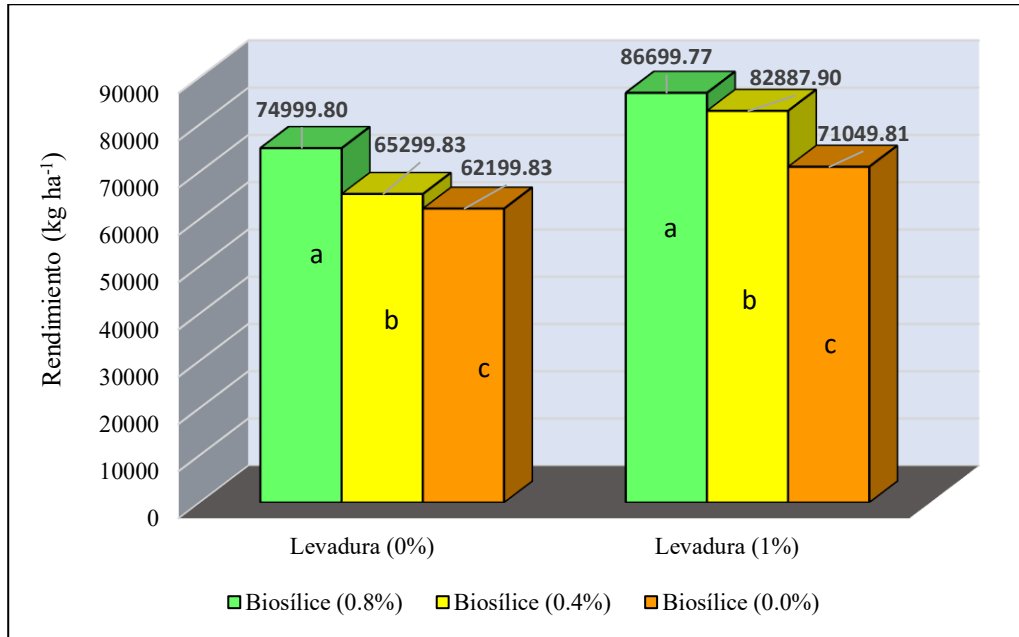


Los resultados de prueba de Tukey (Figura 3.2) de los efectos simples, muestra que en general cualquier aplicación de biosílice al follaje contribuye con el mayor peso, siendo mayor en presencia de levadura. Se tiene que el peso de bulbo de cebolla con la dosis 0.8% de biosílice, en interacción con 1% de levadura, permite obtener bulbos con peso promedio de 231.20 g, y es 22.02% más respecto al que recibe levadura (1%) sin biosílice. Se le atribuye al silicio la protección del aparato fotosintético de plantas, contribuir al mejor funcionamiento del sistema, la estabilidad de vasos conductores, lo que favorece la mayor producción de fotosintatos, tal como lo refiere Shen et al. (2022). Fotosintatos que se trasladan mejor cuando el floema está más estable, razón por la cual las cebollas tendrán la oportunidad de aumentar en peso. Así Souza et al. (2019), refieren que aplicaciones foliares de biosílice es fundamental en el incremento de los rendimientos de los cultivos hortícolas. En relación a las levaduras, estas se distinguen por su abundancia en proteínas, carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y minerales, además de tiamina, riboflavina, piridoxina y hormonas (como auxinas y citoquininas) (Medani y Ragab, 2015). Por ello Ahmed et

al. (2011) encontraron que el uso foliar de levadura seca activa, amplió las características de crecimiento vegetativo, la productividad y la calidad de los tubérculos de papa.

**Figura 3.3**

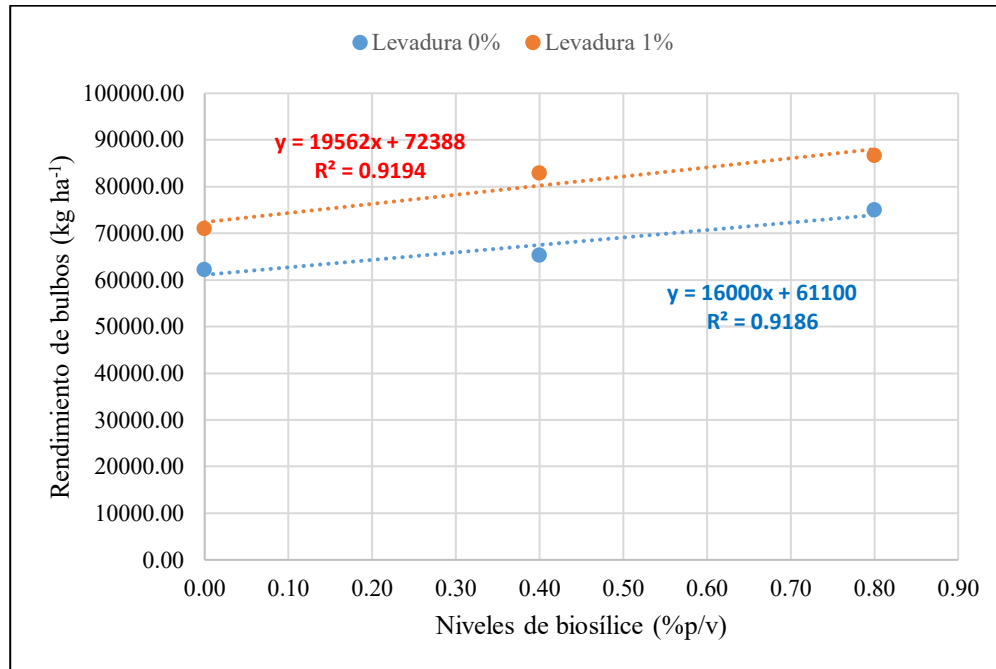
*Comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples de la aplicación de niveles de biosílice y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) de rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L).*



La estimación del rendimiento total de cebolla por hectárea (Figura 3.3), indica que la mayor producción (86,699.77 kg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con la aplicación de 0.8% de biosílice (p/v) + 1% de levadura de cerveza (p/v) (T6), superando ampliamente al testigo con incremento equivalente al 39.38% (24,499.71 kg ha<sup>-1</sup>). Un rendimiento también alto se consigue con al aporte de 0.4% biosílice + 1% de levadura de cerveza (82,887.90 kg ha<sup>-1</sup>). La sola aplicación de levadura supone un incremento estimado de 14.22%; del mismo modo la sola aplicación de biosílice permitió incrementos del orden de 4.98 y 20.58% con las dosis de 0.4 y 0.8% (p/v), respectivamente. No obstante, lo recomendable es la interacción de ambos.

**Figura 3.4**

*Modelos de regresión del rendimiento de bulbos kg ha<sup>-1</sup> en función del efecto de levadura y biosílice.*



En la Figura 3.4 se muestra que sin el aporte de levadura (0% p/v), así como cuando se aplica 1 % p/v de levadura, el comportamiento del rendimiento de bulbo se ajusta al modelo lineal siendo las ecuaciones  $y = 16000x + 61100$  y  $y = 19562x + 72388$ , respectivamente. Según los rendimientos evaluados, es notoria la participación de ambos bioestimulantes en el efecto de contribuir al aumento del rendimiento y en este caso se observa que la interacción resulta muy interesante, la literatura es aún escasa, se conocen generalidades en el efecto de las levaduras en agricultura, a pesar de que se conoce y acepta que resultan inocuas para el hombre debido a algunas propiedades bioactivas y químicas (Poloni et al., 2017). En el caso específico de las *S. cerevisiae*, estas se caracterizan por su riqueza en proteínas, carbohidratos, ácidos nucleicos, lípidos y minerales (N, P, K, Na, Fe, Mg, S, Zn, Mn, Cu, Si, Cr, Ni, Va y Li), así como tiamina, riboflavina, piridoxina, hormonas (como auxinas y citoquininas) entre otros (Medani y Ragab, 2015). Razón por la cual las levaduras surgieron en las últimas décadas como una alternativa positiva a los fertilizantes químicos (Hernández- Fernández et al., 2021). Característica que resultaría útil para favorecer la interacción con el biosílice, lo obtenido está relacionado con lo hallado por Alsaady et al. (2020), quienes luego de aplicar una suspensión de levadura a plantas de col en dosis de 3 y 6 g L<sup>-1</sup>, se

incrementó significativamente rendimiento/hectárea. Respecto a la participación del biosílice, la concentración de 0.8% (p/v) aplicado al follaje influye de forma significativa, coincidiendo con lo hallado por investigadores como Seleiman et al. (2023), quienes demostraron que al aplicar nanopartículas de 100 mg L<sup>-1</sup> de silicio (SiO<sub>2</sub>) mediante aspersión foliar, incrementó el rendimiento y calidad del cultivo de papa. González-Moscoso et al. (2022) demostraron que la aplicación de silicio en forma de nanopartículas de SiO<sub>2</sub> (1000 ppm) en 6 momentos cada 21 días al sustrato, influyó en el incremento del rendimiento de frutos, concentración de clorofilas, tasa fotosintética de tomate y redujo concentración de arsénico en la planta. De Souza et al. (2019), descubrieron que la fertilización foliar de las hojas con silicio a una concentración de 2.52 g L<sup>-1</sup> es crucial para las hortalizas de hoja como la col rizada y las acelgas, porque aumentan el crecimiento de las plantas, la biofortificación y la calidad de las hortalizas.

### 3.6. Materia fresca y seca total de la planta

**Tabla 3.6**

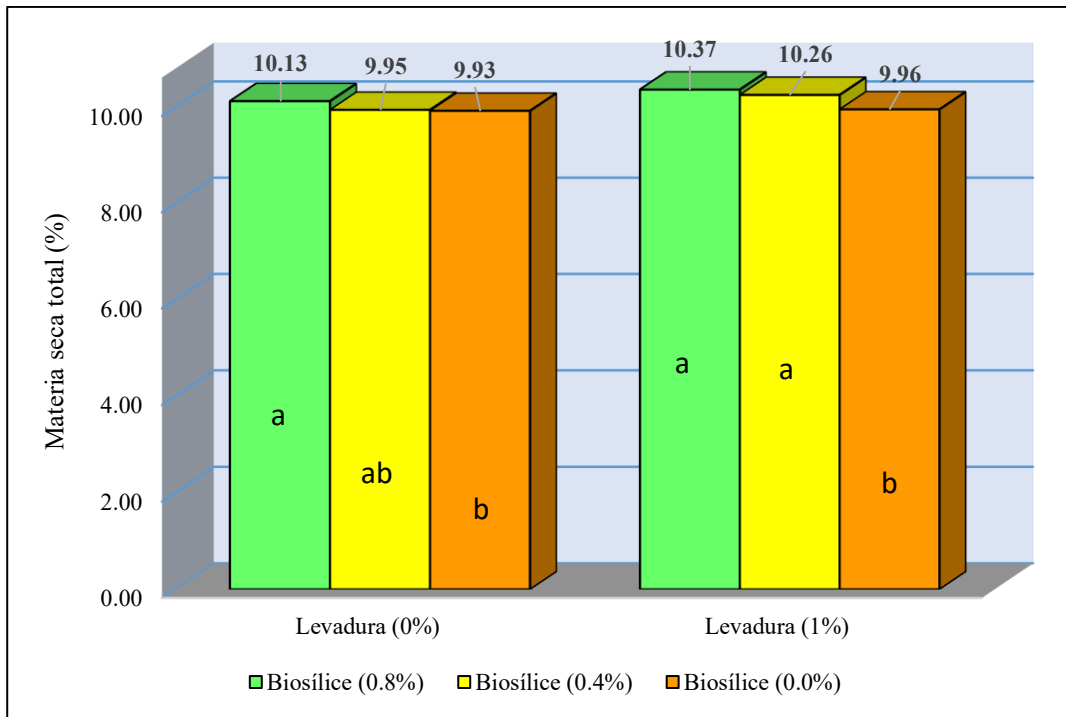
*Análisis de varianza de materia fresca y seca total de la planta de cebolla (Allium cepa L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza (Saccharomyces cerevisiae).*

F. V	G. L	Materia fresca	Materia seca
		total (g)	total (%)
		Cuadrados medios (CM)	
Bloques	2	1724.00ns	0.00ns
Tratamientos	5	36.20ns	0.10**
Biosílice (B)	2	57.50ns	0.14**
Levadura (L)	1	56.00ns	0.17**
Interacción (B*L)	2	5.00ns	0.03*
<b>Levadura 0%</b>			
R. Lineal	1	47.83ns	0.06**
R. cuadrático	1	6.31ns	0.01ns
<b>Levadura 1%</b>			
R. Lineal	1	68.01ns	0.26**
R. cuadrático	1	2.72ns	0.01ns
Error	10	703.60	0.00
Total	16		
C.V (%):		7.84	0.66

Los resultados de análisis de varianza en la Tabla 3.6, indican que no existe diferencia significativa en ninguna fuente de variabilidad al evaluar la materia fresca total, en el caso de materia seca se observa diferencia significativa en la interacción de biosilíce y levadura. El coeficiente de variabilidad 7.84 y 0.66%, respectivamente, estos nos indica fiabilidad de los resultados.

**Figura 3.5**

*Comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples en materia seca total de cebolla (*Allium cepa* L.), por efecto de la aplicación de biosilíce y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*).*



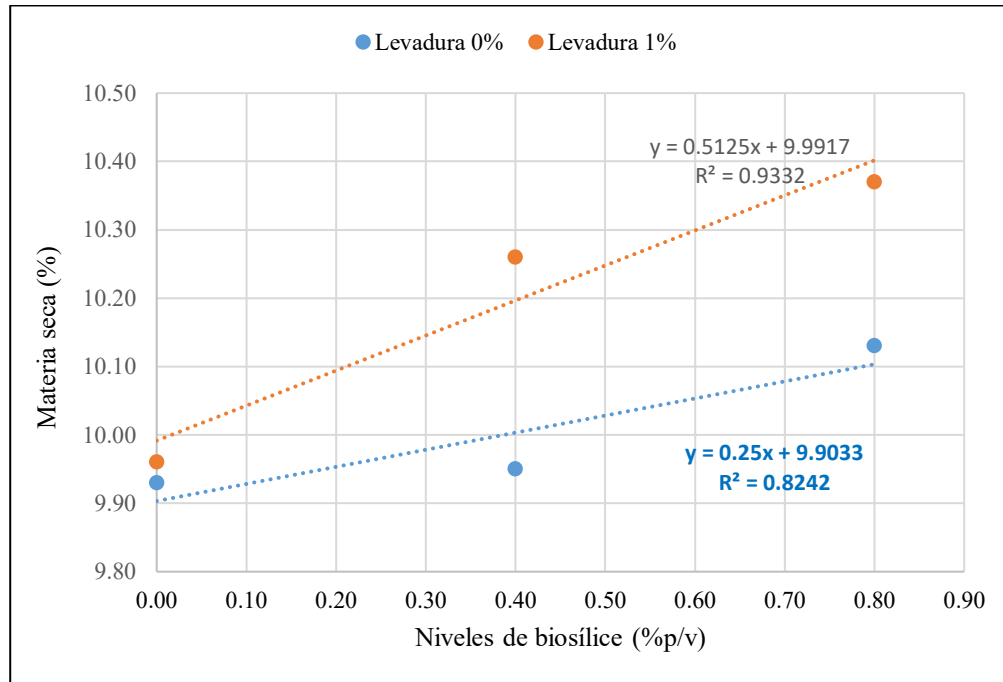
Los resultados de prueba de Tukey (Figura 3.5) de los efectos simples, muestra la interacción de biosilíce (0.8%) con levadura de cerveza, son los que presentan mayor efecto en la acumulación de fotosintatos, que se expresan en la materia seca total de la cebolla, que alcanza hasta 10.37%, seguido de la menor dosis 0.4 % p/v de biosilíce); no obstante, ambos resultan significativamente mayores respecto al testigo y cuando se emplea solo biosilíce. Lo obtenido es comparable a lo hallado por Helaly et al (2017) quienes aplicando silicato de potasio al 3% combinado con levadura a 20 g L<sup>-1</sup> obtuvieron los mejores resultados en cuanto a crecimiento, floración, así como rendimiento y calidad de fruto de banano Williams, irrigadas con agua salina.

Los resultados podrían obedecer a los efectos que ejerce el biosilíce sobre la actividad fotosintética, no solo por la estabilidad del aparato fotosintético, sino también por la acción a nivel de estructuras de vasos conductores, como consecuencia traslado de fotosintatos, tal como lo refiere González-Moscoso et al. (2022), quienes indican que el silicio, incrementa la concentración de clorofilas en las hojas, esto repercute en el incremento de la tasa fotosintética con consecuente acumulación de materia seca. Los resultados son comparables a los obtenidos por Shi et al. (2023), quienes demostraron que 1.5 mmol de silicato de potasio foliar aumentó la materia seca de *Paeonia ostii* (flor comercial); en condiciones de salinidad. En el cultivo de papa Seleiman et al. (2023), encontraron efecto diferenciado en la materia seca de los tubérculos al aplicar nanopartículas de SiO<sub>2</sub> foliar (50 y 100 mg L<sup>-1</sup>), con incrementos del orden de 20.62% y 21.14% respecto al testigo. Respecto del accionar de las levaduras, los resultados también concuerdan con lo hallado por Alobaidy et al. (2022) quienes demuestran influencia significativa en la acumulación de materia seca del cultivo de maíz (*zea mays* L), luego de aplicar 1% de levadura, siendo mayor en 3.18 g respecto al testigo. Del mismo modo, Taha et al. (2021), refiere que la aplicación de 75 ml L<sup>-1</sup> de levadura foliar, tuvieron influencia significativa en las características anatómicas, incremento de la masa, concentración de pigmentos fotosintéticos de lupino cultivados bajo estrés salino. Sin embargo, en el trabajo se demuestra que el accionar del biosilíce de nuestra zona, no solo es comparable con los otros comerciales, sino que en interacción con la levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) posee un mayor efecto, que permite aumentar la materia seca total de la cebolla que se traduce en un mayor peso y rendimiento. Constituyendo así en una alternativa de bioestimulación saludable en el producto y la naturaleza.

La figura 3.6, muestra que por cada unidad de biosilíce aplicado al cultivo existe un incremento de 0.5125% de materia seca, con tendencia que se ajusta a la ecuación lineal ( $y = 0.5125x + 9.9917$  y  $R^2 = 0.9332$ ) y mayor a cuando se aplica solo ( $y = 0.25x + 9.9033$  y  $R^2 = 0.8242$ ).

**Figura 3.6**

*Modelos de regresión de materia seca total de planta en función del efecto de levadura y biosilíce*

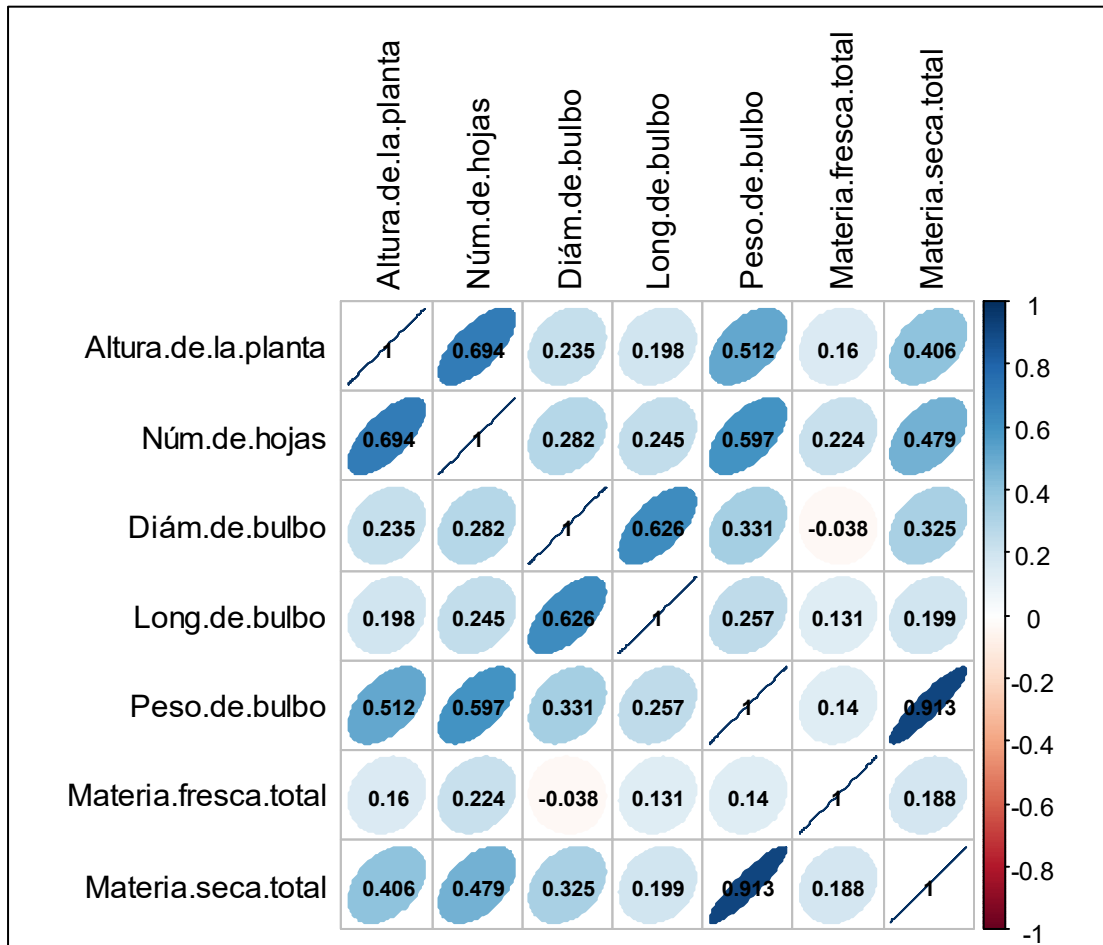


### 3.7. Correlación de las variables

Los resultados de la correlación general (Figura 3.7), indican una asociación alta y significativa entre peso de bulbo y materia seca total, 0.913\*\*; esto significa que la acumulación de materia seca permite aumentar el peso de bulbo. Hay una correlación 0.694\*\* entre altura de la planta y número de hojas de la planta; correlación de 0.626\*\* entre diámetro de bulbo y su longitud. Las correlaciones positivas indican que existe una relación directamente proporcional entre ellos. Algunas de las correlaciones coinciden con los reportes de Wang et al. (2020), quienes al evaluar 0.2 y 0.8% de silicio demostraron una correlación alta entre los índices de crecimiento de las plantas (incluido el peso fresco, el peso seco, el grosor de las hojas, la altura de la planta, el número de hojas) y la absorción de nutrientes en la col china (*Brassica chinensis* L.). Finalmente, es importante señalar que las fuentes de silicio son diversas, la mayoría son ligadas al calcio, potasio, etc. Por ello, Laane (2018) refiere que la fuente de silicio a partir de la diatomea aún se desconoce detalles, pues, las otras fuentes de silicio contienen otros elementos esenciales como el calcio, magnesio y hierro; que también interfieren en el desarrollo de las plantas.

**Figura 3.7**

*Correlación general de las variables evaluadas por efecto de la aplicación de biosilíce y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*).*



## CONCLUSIONES

- i. La aplicación foliar de biosílíce ejerce influencia en la materia seca de planta total, peso de bulbo y rendimiento total del cultivo de cebolla, siendo mejor, la mayor dosis evaluada (0.8% p/v).
- ii. La aplicación foliar de 1% (p/v) de levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) al cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.), influye significativamente en la altura de planta (73.62 cm), siendo 3.85% mayor respecto al testigo.
- iii. Las dosis foliares de levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) a 1% (p/v) junto a biosílíce (0.8% p/v) en interacción, influyeron significativamente en el mayor nivel de materia seca de planta (10.37%), peso promedio de bulbo (231.20 g) y rendimiento (86,699.86 kg ha<sup>-1</sup>).

## RECOMENDACIONES

- i. En condiciones suelo y climas similares al Centro Experimental Canaán – UNSCH, se recomienda utilizar como bioestimulación dosis combinadas de 1.0 % de levadura y 0.8% de biosílice foliar en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.).
- ii. Continuar investigando la levadura y biosílice foliar en otros cultivos, con la finalidad de ver el comportamiento agronómico y reducir la contaminación edáfica y medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, A., Allafe, M., & Omar, E. (2022). Biostimulants Influence (Licorice and Yeast Extract) on Vegetative Growth of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Plant Production*, 13(7), 321–324. <https://doi.org/10.21608/jpp.2022.139161.1112>
- Agramonte, J. (1983). Las diatomitas de Ayacucho y su paralelo con las de Tarucani y Bayovar. *Bol Soc Geol Perú*, 259–269. [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3667/1/Agramonte-Diatomitas\\_Ayacucho\\_Tarucani\\_Bayovar.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3667/1/Agramonte-Diatomitas_Ayacucho_Tarucani_Bayovar.pdf)
- Ahmed, A., Abd El-Baky, M., Zaki, M., & Abd El-Aal, F. (2011). Effect of Foliar Application of Active Yeast Extract and Zinc on Growth, Yield and Quality of Potato Plant (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Applied Sciences Research*, 7(12), 2479-2488.
- Almeyda, C. D. (2018). *Grosor de la plántula en la producción y calidad de cebolla (Allium cepa L.) cv. Santa Rita* (Issue 511) [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3556>
- Alobaidy, M. G., Ağırağaç, Z., & Zorer Çelebi, Ş. (2022). Determination Effects of Active Dry Yeast on Morphological and Chemical Components of Maize Plants Grown in Alkaline Soils for Silage Purposes. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 32(2), 310–319. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1048847>
- Artyszzak, A. (2018). Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—A literature review in Europe. *Plants*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/plants7030054>
- Alsaady, M. H. M., Salim, H. A., Abdulrazzaq, A. K., Saleh, U. N., Jassim, N. H., Hamad, A. R., Attia, J. A., Darwish, J. J., & Hassan, A. F. (2020). Response of cabbage plants to foliar application of yeast suspension and nitrogen fertilizer. pp. (832-836). [https://www.researchgate.net/profile/Hussein-Salim/publication/343181631\\_Response\\_of\\_cabbage\\_plants\\_to\\_foliar\\_application\\_of\\_yeast\\_suspension\\_and\\_nitrogen\\_fertilizer/links/5f1lab8ca45851515ef44d9d6/Response-of-cabbage-plants-to-foliar-application-of-yeast-suspension-and-nitrogen-fertilizer.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hussein-Salim/publication/343181631_Response_of_cabbage_plants_to_foliar_application_of_yeast_suspension_and_nitrogen_fertilizer/links/5f1lab8ca45851515ef44d9d6/Response-of-cabbage-plants-to-foliar-application-of-yeast-suspension-and-nitrogen-fertilizer.pdf)

- Bustamante, J. (1998). Geología, evaluación comparativa y cuantificación de reservas de los depósitos de diatomitas en la región de Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín. Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Arequipa, 100 p.
- Cargua, Y. C. (2013). *Respuesta de la cebolla perla (Allium cepa L.) a cuatro densidades de siembra y dos láminas de riego. Ascázubi, Pichincha* (Vol. 123, Issue 10) [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1100>
- Castillo, M. H. (1999). *Cultivo de la cebolla*. Universidad de Chile. [https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/12394/Cultivo de la cebolla.pdf?sequence=1#page=23](https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/12394/Cultivo_de_la_cebolla.pdf?sequence=1#page=23)
- Cifuentes, O. D., & Gonzalez, Y. O. (2013). Evaluación de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en la ganancia de peso de ovinos criollos. *Conexión Agropecuaria JDC*, 3(1), 41 - 49. doi:<https://revista.jdc.edu.co/index.php/conexagro/article/view/329/350>
- Chen, R. Y., Jiang, W., Fu, S. F., & Chou, J. Y. (2022). Screening, evaluation, and selection of yeasts with high ammonia production ability under nitrogen free condition from the cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) rhizosphere as a potential bio-fertilizer. *Rhizosphere*, 23(May), 100580. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100580>
- Collaguazo, D. V, & Mancheno, G. F. (2022). *Comportamiento agronómico del cultivo de pimiento (Capsicum annum) con tres dosis de silicio* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8969>
- De Souza, J. Z., De Mello Prado, R., Silva, S. L. de O., Farias, T. P., Neto, J. G., & Souza Junior, J. P. de. (2019). Silicon Leaf Fertilization Promotes Biofortification and Increases Dry Matter, Ascorbate Content, and Decreases Post-Harvest Leaf Water Loss of Chard and Kale. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(2), 164–172. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1556288>
- Enciso, C., Vera, P., Santacruz, A., & González, J. (2019). Guía Técnica: Cultivo de cebolla. In *Ppt* (Vol. 53, Issue 9). Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). [https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt\\_02.pdf](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*

- prácticas de campo. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). Paris, Francia, 49-82.*
- González-MoscOSO, M., Martínez-Villegas, N., Cadenas-Pliego, G., & Juárez-Maldonado, A. (2022). Effect of Silicon Nanoparticles on Tomato Plants Exposed to Two Forms of Inorganic Arsenic. *Agronomy*, *12*(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy12102366>
- Gutierrez, C. L. (2017). Taxonomía de levaduras de origen enológico por espectrometría de masas. [Tesis doctoral, Universidad Computense de Madris]. <https://docta.ucm.es/entities/publication/fdb1bbfc-3eb0-4a1a-91bd-c8eeb9c5fab8>
- Hernández-Fernández, M., Cordero-Bueso, G., Ruiz-Muñoz, M., & Cantoral, J. M. (2021). Culturable yeasts as biofertilizers and biopesticides for a sustainable agriculture: A comprehensive review. *Plants*, *10*(5). <https://doi.org/10.3390/plants10050822>
- Hartwell, L. H. (1974). Cell cycle of *Saccharomyces cerevisiae*. *Bacteriological Reviews*, *38*(2), 164-198. <https://journals.asm.org/doi/pdf/10.1128/br.38.2.164-198.1974>
- Instituto Nacional de Innovacion Agraria. (2003). *Tecnología y perspectivas comerciales del cultivo de cebolla*. [http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos\\_compartidos/111219220807125208.pdf](http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos_compartidos/111219220807125208.pdf)
- Instituto Nacional de estadística e informática (INEI). (2009). Consumo de alimentos y bebidas: distribución y consumo. In *Perú: Consumo per cápita de los principales alimentos 2008-2009*. [http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digiales/Est/Lib1028/cap01.pdf](http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digiales/Est/Lib1028/cap01.pdf)
- Jam, B., Shekari, F., Andalibi, B., Fotovat, R., Jafarian, V., Najafi, J., . . . Mastinu, A. (2023). Impact of Silicon Foliar Application on the Growth and Physiological Traits of *Carthamus tinctorius* L. Exposed to Salt Stress. *Silicon*, *15*(3), 1235–1245. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12633-022-02090-y>
- Japon, J. Q. (1982). *Cultivo Extensivo De la cebolla*. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1982\\_18.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1982_18.pdf)
- Jaramillo, S. T., Jaramillo, J. V, & Jaramillo, A. A. (1997). Estudio fenológico de tres tipos de cebolla de bulbo *Allium cepa* L. *Acta Agronómica*, *47*(3), 16–23. [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/48195](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/48195)

- Kowalska, J., Krzywińska, J., & Tyburski, J. (2022). Yeasts as a Potential Biological Agent in Plant Disease Protection and Yield Improvement—A Short Review. *Agriculture (Switzerland)*, 12(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091404>
- Laane, H. M. (2018). The effects of foliar sprays with different silicon compounds. *Plants*, 7 (2), 45. doi:10.3390/plants7020045
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú (2022). Marco orientador de cultivos 2021 y 2022. MOC promoción nacional. <https://acortar.link/iamv3w>
- Ministerio Nacional de Agricultura. (2017). *Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de cebolla*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/informacion-agroclimatica/fichas-tecnicas-2018?download=13552:ficha-tecnica-cultivo-de-cebolla>
- Miranda Barreda, R., Caballero sime, M., & Apcho Cámara, E. (2017). *Planeamiento Estratégico de la Cebolla en el Perú al 2027* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/8252/APCHO\\_CABALLERO\\_PLANEAMIENTO\\_CEBOLLA.pdf?sequence=5](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/8252/APCHO_CABALLERO_PLANEAMIENTO_CEBOLLA.pdf?sequence=5)
- Mahbod Sahebi, Hanafi, M. M., Abdullah, Rafii, M. Y., Azizi, P., Tengoua, F. F., Jamaludin Nurul Mayzaitul Azwa, & M. Shabanimofrad. (2015). Importance of Silicon and Mechanisms of Biosilica Formation in Plants. *BioMed Research International*, 2015, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2015/396010>
- Medani R. A., Ragab S. T. (2015). Improving Growth and Yield of Caraway (*Carum carvi* L.), Plants by Decapitation and/or Active Dry Yeast Application. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 4, 47–60.
- Navarro, S. B., & Navarro, G. G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal* (2nd ed.). Aedos, S. A. [https://drive.google.com/file/d/15\\_LTXtuIWicIZRAom1X2vVBIWDLxF1sJ/view](https://drive.google.com/file/d/15_LTXtuIWicIZRAom1X2vVBIWDLxF1sJ/view)
- 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), 1-11. doi:<https://doi.org/10.1093/jambio/lxac088>
- Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2021). Effects of Foliar Fertilization: a Review of Current Status and Future Perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1),

104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>

- Pacheco-Bejarano, I. (2013). *Curva de absorción de nutrientes en cebolla Allium cepa cv. Aquarius y ajo Allium sativum cv. Criollo* [Universidad de Costa Rica]. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2508/1/36553.pdf>
- Price, K. R., & Rhodes, M. J. (1997). Analysis of the Major Flavonol Glycosides Present in Four Varieties of Onion (*Allium cepa*) and Changes in Composition Resulting from Autolysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74(3), 331-339.
- Patil, B., & Chetan, H. . (2018). Foliar fertilization of nutrients. *Marumegh, March*. [www.marumegh.com](http://www.marumegh.com)
- Paz, W. M. (2018). *Adaptabilidad de tres variedades de cebolla roja (Allium cepa L.), bajo las condiciones climáticas del distrito de Lamas – Región San Martín* [Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3373/1/AGONOMIA - Wilber Michel Paz Monge.pdf>
- Parapouli, M., Anastasios Vasileiadis, Amalia Sofia Afendra, & Efstathios Hatziloukas. (2020). *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS Microbiology*, 6(1), 1–32. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2020001>
- Pinzón R., H. (2009). Los cultivos de cebolla y ajo en Colombia: estado del arte y perspectivas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 3(1), 45–55. [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias\\_hortícolas/article/view/1198](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1198)
- Poloni V., Salvato L., Pereyra C., Oliveira A., Rosa C., Cavaglieri L. (2017). Bakery by-products based feeds borne-*Saccharomyces cerevisiae* strains with probiotic and antimycotoxin effects plus antibiotic resistance properties for use in animal production. *Food Chem. Toxicol.* 107, 630–636. doi: 10.1016/j.fct.2017.02.040
- Rastogi, A., Yadav, S., Hussain, S., Kataria, S., Hajhashemi, S., Kumari, P., Yang, X., & Brestic, M. (2021). Does silicon really matter for the photosynthetic machinery in plants...?. *Plant physiology and biochemistry* : PPB, 169, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.004>
- Round, FE, Crawford, RM y Mann, DG (1990). *Diatomeas: biología y morfología de los géneros*. Prensa de la Universidad de Cambridge. <https://acortar.link/uxfuzA>

- Ren, F., & Zhou, S. (2021). Phenolic Components and Health Beneficial Properties of Onions. *Agriculture*, *11*(9), 872. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture11090872>
- Rivitra, V., Thevan, K., & Norhafizah, M. (2021). Growth of chilli plant (*Capsicum annuum* L.) treated with combined organic and inorganic fertilizer with *Saccharomyces cerevisiae*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *756*, 1-7. doi:doi:10.1088/1755-1315/756/1/012050
- Rodriguez, A. S., Pérez-Gregorio, M. R., García-Falcón, M. S., Simal-Gándara, J., & Almeida, D. (2011). Effect of meteorological conditions on antioxidant flavonoids in Portuguese cultivars of white and red onions. *Food Chemistry*, *124*(1), 303-308. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.037>
- Sánchez, C. M. D. L. Á., González Flores Tania, Del Rosario, T., Talavera, A., Evangelista Martínez, Z., Aracely, N., & López, P. (2017). ¿Que son microorganismos? *Ciencia*, *68*(2), 1-8.  
[http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68\\_2/PDF/QueSonMicrobios.pdf](http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_2/PDF/QueSonMicrobios.pdf)
- Shen, Z., Cheng, X., Li, X., Deng, X., Dong, X., Wang, S., & Pu, X. (2022). Effects of silicon application on leaf structure and physiological characteristics of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. and *Glycyrrhiza inflata* Bat. under salt treatment. *BMC Plant Biology*, *22*(1), 390. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03783-7>
- Shi, X., Xue, X., Xu, H., Yang, Y., Kuang, Z., & Hou, X. (2023). Amelioration of Salt-Induced Damage on *Paeonia ostii* 'Fengdan' by Exogenous Application of Silicon. *Agronomy*, *13*(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy13051349>
- Sannikova, N., Shulepova, O., Bocharova, A., Kostomakhin, N., Ilyasov, O., & Kovaleva, O. (2021). Natural reserves of diatomite are as a component of organomineral fertilizers based on chicken manure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *937*(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032093>
- Seleiman, M. F., Al-Selwey, W. A., Ibrahim, A. A., Shady, M., & Alsadon, A. A. (2023). Foliar Applications of ZnO and SiO<sub>2</sub> Nanoparticles Mitigate Water Deficit and Enhance Potato Yield and Quality Traits. *Agronomy*, *13*(2), 1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020466>

- Søltoft, M., Nielsen, J., Holst, K., Husted, S., Halekoh, U., & Knuthsen, P. (2010). Effects of Organic and Conventional Growth Systems on the Content of Flavonoids in Onions and Phenolic Acids in Carrots and Potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(19), 10323-10329. doi:DOI: 10.1021/jf101091c
- Taha, R. S., Seleiman, M. F., Alhammad, B. A., Alkahtani, J., Alwahibi, M. S., & Mahdi, A. H. A. (2021). Activated Yeast Extract Enhances Growth, Anatomical Structure, and Productivity of *Lupinus termis* L. Plants under Actual Salinity Conditions. *Agronomy*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010074>
- Tipán, H. C. T. (2022). *Efecto del silicio en el crecimiento, productividad y calidad nutracéutica del tomate (Solanum lycopersicum L.)* [Universidad técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9acdb2c6-ac50-486a-ad58-4304d00bf345/content>
- Vásquez, J. Y. (2019). Producción de cebolla (*Allium cepa*) amarilla dulce en Villacurí - Ica [Universidad Nacional Agraria La Molina]. In *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3852>
- Vera-García. (1995). Introducción a la microbiología (2da ed.). <https://acortar.link/C6aUXb>
- Wang, B., Chu, C., Wei, H., Zhang, L., Ahmad, Z., Wu, S., & Xie, B. (2020). Ameliorative effects of silicon fertilizer on soil bacterial community and pakchoi (*Brassica chinensis* L.) grown on soil contaminated with multiple heavy metals. *Environmental Pollution*, 267, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115411>
- Yu, Y., Zhang, L., Li, Y., Hou, L., Yang, H., & Shi, G. (2022). Silicon Fertilizer and Microbial Agents Changed the Bacterial Community in the Consecutive Replant Soil of Lilies. *Agronomy*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy12071530>
- Yzarra, W., & López, F. (2011). *Manual de observaciones fenológicas*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>
- Zamora, E. (2016). El cultivo de la cebolla. *Producción de Hortalizas DAG/HORT-015*, 80(4), 1–25. <https://dagus.unison.mx/Zamora/CEBOLLA-DAG-HORT-015.pdf>

Zhang, Y., Liang, Y., Zhao, X., Jin, X., Hou, L., Shi, Y., & Ahammed, G. J. (2019). Silicon compensates phosphorus deficit-induced growth inhibition by improving photosynthetic capacity, antioxidant potential, and nutrient homeostasis in tomato. *Agronomy*, 9(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110733>

# **ANEXOS**

**Anexo 1.** Matriz de resultados de la evaluación de los parámetros estudiados

**Anexo1.1.** Datos recogidos del campo para altura de la planta de cebolla

REPETICIÓN	Altura de planta (cm)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	0% BIOSÍLICE		0.4% BIOSÍLICE		0.8% BIOSÍLICE	
	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad
1	70.00	80.00	78.00	81.00	80.00	86.00
1	80.00	79.00	77.00	73.00	67.00	80.00
1	70.00	73.00	60.00	74.00	69.00	81.00
1	68.00	68.00	72.00	60.00	73.00	77.00
1	60.00	78.00	81.00	69.00	89.00	78.00
1	63.00	71.00	60.00	72.00	70.00	79.00
1	70.00	62.00	74.00	69.00	74.00	57.00
1	69.00	70.00	69.00	66.00	75.00	81.00
1	73.00	72.00	67.00	75.00	68.00	66.00
1	69.00	76.00	83.00	71.00	65.00	62.00
<b>Promedio</b>	<b>69.20</b>	<b>72.90</b>	<b>72.10</b>	<b>71.00</b>	<b>73.00</b>	<b>74.70</b>
2	78.00	66.00	87.00	89.00	71.00	72.00
2	68.00	73.00	78.00	79.00	69.00	77.00
2	66.00	62.00	75.00	84.00	67.00	84.00
2	68.00	71.00	74.00	63.00	72.00	70.00
2	59.00	70.00	58.00	78.00	72.00	86.00
2	60.00	61.00	64.00	65.00	65.00	67.00
2	58.00	52.00	63.00	79.00	66.00	69.00
2	67.00	75.00	76.00	59.00	63.00	65.00
2	64.00	65.00	63.00	66.00	61.00	79.00
2	56.00	74.00	72.00	65.00	64.00	63.00
<b>Promedio</b>	<b>64.40</b>	<b>66.90</b>	<b>71.00</b>	<b>72.70</b>	<b>67.00</b>	<b>73.20</b>
3	66.00	79.00	66.00	72.00	67.00	87.00
3	62.00	73.00	77.00	89.00	68.00	87.00
3	83.00	75.00	76.00	67.00	81.00	87.00
3	72.00	65.00	68.00	79.00	84.00	66.00
3	79.00	82.00	77.00	75.00	84.00	86.00
3	78.00	73.00	75.00	67.00	78.00	65.00
3	71.00	81.00	70.00	75.00	78.00	87.00
3	69.00	84.00	79.00	74.00	63.00	96.00
3	76.00	79.00	64.00	78.00	75.00	66.00
3	76.00	78.00	69.00	75.00	82.00	65.00
<b>Promedio</b>	<b>73.20</b>	<b>76.90</b>	<b>72.10</b>	<b>75.10</b>	<b>76.00</b>	<b>79.20</b>

Anexo 1.2. Datos recogidos del campo para número de hojas de la cebolla

REPETICIÓN	Número de hojas (Und.)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	0% BIOSÍLICE		0.4% BIOSÍLICE		0.8% BIOSÍLICE	
	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad
1	11.00	11.00	9.00	13.00	13.00	15.00
1	10.00	9.00	10.00	10.00	14.00	11.00
1	9.00	13.00	12.00	11.00	10.00	9.00
1	13.00	11.00	12.00	10.00	12.00	9.00
1	13.00	9.00	11.00	10.00	16.00	13.00
1	8.00	13.00	11.00	10.00	12.00	11.00
1	12.00	11.00	10.00	10.00	8.00	10.00
1	9.00	8.00	9.00	8.00	9.00	12.00
1	9.00	10.00	11.00	10.00	10.00	8.00
1	9.00	10.00	11.00	11.00	9.00	9.00
<b>Promedio</b>	<b>10.30</b>	<b>10.50</b>	<b>10.60</b>	<b>10.30</b>	<b>11.30</b>	<b>10.70</b>
2	9.00	8.00	14.00	13.00	13.00	12.00
2	10.00	10.00	12.00	12.00	12.00	14.00
2	12.00	11.00	12.00	16.00	12.00	14.00
2	10.00	10.00	12.00	9.00	12.00	13.00
2	9.00	9.00	10.00	15.00	10.00	16.00
2	14.00	11.00	11.00	14.00	9.00	12.00
2	10.00	9.00	10.00	12.00	10.00	12.00
2	8.00	10.00	10.00	12.00	8.00	11.00
2	9.00	13.00	11.00	9.00	12.00	12.00
2	10.00	10.00	9.00	13.00	11.00	12.00
<b>Promedio</b>	<b>10.10</b>	<b>10.10</b>	<b>11.10</b>	<b>12.50</b>	<b>10.90</b>	<b>12.80</b>
3	12.00	11.00	11.00	10.00	12.00	13.00
3	14.00	13.00	12.00	18.00	13.00	10.00
3	10.00	13.00	10.00	10.00	10.00	14.00
3	10.00	12.00	12.00	12.00	13.00	14.00
3	11.00	13.00	9.00	10.00	16.00	10.00
3	11.00	11.00	10.00	11.00	9.00	9.00
3	10.00	12.00	9.00	13.00	13.00	16.00
3	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	14.00
3	12.00	12.00	9.00	13.00	12.00	10.00
3	13.00	13.00	11.00	13.00	13.00	16.00
<b>Promedio</b>	<b>11.30</b>	<b>12.00</b>	<b>10.30</b>	<b>12.00</b>	<b>12.10</b>	<b>12.60</b>

Anexo 1.3. Datos recogidos del campo para diámetro de bulbo de la cebolla

REPETICIÓN	Diámetro de bulbo (mm)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	0% BIOSÍLICE		0.4% BIOSÍLICE		0.8% BIOSÍLICE	
	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad
1	70.00	58.00	47.00	55.00	62.00	60.00
1	59.70	56.00	51.00	61.00	52.00	49.00
1	54.70	63.00	44.00	47.00	51.00	57.00
1	45.60	58.00	44.00	53.00	49.00	61.00
1	56.00	62.00	47.00	58.00	51.00	64.00
1	45.60	65.00	44.00	52.00	40.00	62.00
1	48.00	61.00	46.00	51.00	63.00	63.00
1	46.40	58.00	51.00	56.00	74.00	58.00
1	61.00	63.00	50.00	53.00	75.00	45.00
1	63.00	56.00	48.00	61.00	79.00	69.00
<b>Promedio</b>	<b>55.00</b>	<b>60.00</b>	<b>47.20</b>	<b>54.70</b>	<b>59.60</b>	<b>58.80</b>
2	56.00	53.00	63.00	51.00	51.00	53.00
2	61.00	55.00	70.00	50.00	75.00	52.00
2	52.00	51.00	75.00	53.00	48.00	62.00
2	47.00	50.00	60.00	63.00	72.00	65.00
2	62.00	65.00	55.00	66.00	44.00	71.00
2	60.00	52.00	67.00	61.00	45.00	52.00
2	51.00	53.00	62.00	59.00	73.00	54.00
2	59.00	67.00	63.00	63.00	45.00	53.00
2	61.00	61.00	59.00	45.00	71.00	60.00
2	54.00	64.00	62.00	55.00	49.00	61.00
<b>Promedio</b>	<b>56.30</b>	<b>57.10</b>	<b>63.60</b>	<b>56.60</b>	<b>57.30</b>	<b>58.30</b>
3	43.00	62.00	57.00	63.00	45.00	60.00
3	50.00	52.00	45.00	59.00	62.00	71.00
3	51.00	59.00	54.00	59.00	51.00	72.00
3	62.00	51.00	52.00	55.00	58.00	61.00
3	49.00	56.00	76.00	67.00	59.00	73.00
3	61.00	44.00	55.00	66.00	55.00	53.00
3	62.00	56.00	55.00	63.00	65.00	61.00
3	71.00	58.00	79.00	71.00	56.00	53.00
3	55.00	53.00	59.00	64.00	57.00	53.00
3	58.00	57.00	61.00	69.00	63.00	60.00
<b>Promedio</b>	<b>56.20</b>	<b>54.80</b>	<b>59.30</b>	<b>63.60</b>	<b>57.10</b>	<b>61.70</b>

Anexo 1.4. Datos recogidos del campo para longitud de bulbo de la cebolla

REPETICIÓN	Longitud de bulbo (cm)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	0% BIOSÍLICE		0.4% BIOSÍLICE		0.8% BIOSÍLICE	
	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad
1	6.00	8.00	7.50	8.00	7.00	8.00
1	6.64	8.00	8.00	7.80	8.00	7.50
1	7.00	8.50	7.00	8.00	8.00	7.50
1	8.00	7.20	5.60	7.20	7.00	8.00
1	6.64	7.60	7.50	6.40	7.00	7.00
1	8.00	7.60	6.30	6.80	7.00	6.50
1	7.06	6.80	8.50	7.20	8.00	7.80
1	7.06	8.00	7.50	6.40	8.00	8.00
1	8.50	8.00	6.30	6.40	8.50	9.00
1	7.47	7.40	8.60	8.00	8.40	8.00
<b>Promedio</b>	<b>7.24</b>	<b>7.71</b>	<b>7.28</b>	<b>7.22</b>	<b>7.69</b>	<b>7.73</b>
2	8.50	7.70	8.00	8.40	7.00	7.80
2	7.00	7.50	8.40	5.60	6.00	8.00
2	8.50	8.00	8.70	9.00	8.00	7.80
2	8.50	8.00	8.00	9.00	6.90	6.00
2	8.00	7.00	8.50	6.00	10.30	5.00
2	7.70	8.00	8.00	7.00	7.00	7.80
2	9.00	5.00	8.00	8.00	7.00	8.00
2	7.50	8.00	8.50	6.30	6.90	7.00
2	7.50	8.80	5.00	8.00	7.00	9.00
2	7.00	7.00	7.80	8.00	6.00	8.00
<b>Promedio</b>	<b>7.92</b>	<b>7.50</b>	<b>7.89</b>	<b>7.53</b>	<b>7.21</b>	<b>7.44</b>
3	7.00	6.40	7.00	7.40	8.00	8.80
3	5.80	7.20	9.00	10.20	8.00	7.80
3	7.00	7.50	8.30	9.00	9.00	8.00
3	9.00	8.00	7.50	7.40	7.00	6.50
3	7.00	8.00	7.00	7.40	6.00	9.00
3	6.50	6.80	7.00	8.00	7.00	6.00
3	7.00	8.80	5.20	7.00	9.00	7.00
3	8.00	7.20	8.20	7.40	8.00	8.00
3	8.00	7.20	7.00	9.00	9.50	8.00
3	6.20	7.20	6.50	7.50	6.30	8.50
<b>Promedio</b>	<b>7.15</b>	<b>7.43</b>	<b>7.27</b>	<b>8.03</b>	<b>7.78</b>	<b>7.76</b>

Anexo 1.5. Datos recogidos del campo para peso de bulbo de la cebolla

REPETICIÓN	Peso de bulbo (g)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	0% BIOSÍLICE		0.4% BIOSÍLICE		0.8% BIOSÍLICE	
	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad
1	161.00	136.00	170.00	222.00	214.00	263.00
1	190.00	227.00	195.00	249.00	201.00	252.00
1	205.00	186.00	165.00	186.00	206.00	219.00
1	145.00	188.00	156.00	251.00	177.00	274.00
1	155.00	224.00	171.00	195.00	170.00	188.00
1	120.00	182.00	177.00	215.00	175.00	261.00
1	155.00	181.00	143.00	205.00	226.00	237.00
1	160.00	191.00	160.00	205.00	251.00	225.00
1	195.00	162.00	223.00	191.00	217.00	150.00
1	161.00	223.00	180.00	302.00	170.00	202.00
<b>Promedio</b>	<b>164.70</b>	<b>190.00</b>	<b>174.00</b>	<b>222.10</b>	<b>200.70</b>	<b>227.10</b>
2	154.00	194.00	160.00	284.00	200.00	230.00
2	220.00	171.00	206.00	158.00	255.00	217.00
2	160.00	167.00	255.00	195.00	180.00	185.00
2	142.00	224.00	220.00	205.00	232.00	258.00
2	184.00	225.00	147.00	242.00	239.00	275.00
2	202.00	194.00	139.00	296.00	164.00	258.00
2	176.00	180.00	208.00	220.00	177.00	211.00
2	147.00	156.00	151.00	206.00	193.00	217.00
2	160.00	190.00	100.00	190.00	178.00	251.00
2	128.00	175.00	157.00	205.00	186.00	190.00
<b>Promedio</b>	<b>167.30</b>	<b>187.60</b>	<b>174.30</b>	<b>220.10</b>	<b>200.40</b>	<b>229.20</b>
3	121.00	165.00	165.00	198.00	243.00	243.00
3	178.00	179.00	225.00	218.00	172.00	272.00
3	185.00	210.00	157.00	179.00	172.00	256.00
3	159.00	166.00	210.00	194.00	228.00	185.00
3	209.00	209.00	137.00	236.00	120.00	200.00
3	151.00	144.00	178.00	196.00	244.00	272.00
3	194.00	239.00	145.00	203.00	180.00	256.00
3	140.00	161.00	206.00	313.00	194.00	181.00
3	180.00	175.00	148.00	269.00	216.00	205.00
3	139.00	260.00	170.00	203.00	220.00	303.00
<b>Promedio</b>	<b>165.60</b>	<b>190.80</b>	<b>174.10</b>	<b>220.90</b>	<b>198.90</b>	<b>237.30</b>

Anexo 1.6. Datos de materia fresca total de los tratamientos

REPETICIÓN	Materia fresca total (g)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	0% BIOSÍLICE		0.4% BIOSÍLICE		0.8% BIOSÍLICE	
	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad
1	270.00	262.00	297.00	379.00	340.00	477.00
1	302.95	318.00	356.00	340.00	360.00	389.00
1	470.00	279.00	396.00	278.00	342.00	369.00
1	209.00	260.00	405.00	346.00	375.00	309.00
1	230.74	304.00	360.00	248.00	319.00	390.00
1	280.00	290.00	310.00	394.00	300.00	410.00
1	224.10	188.00	340.00	252.00	274.00	290.00
1	370.00	340.00	340.00	296.00	301.00	347.00
1	280.00	350.00	297.00	341.00	264.00	278.00
1	244.85	367.00	300.00	367.00	267.00	265.00
<b>Promedio</b>	<b>288.16</b>	<b>295.80</b>	<b>340.10</b>	<b>324.10</b>	<b>314.20</b>	<b>352.40</b>
2	440.00	340.00	417.00	345.00	297.00	265.00
2	326.00	360.00	395.00	398.00	310.00	355.00
2	390.00	380.00	453.00	356.00	297.00	354.00
2	390.00	415.00	290.00	409.00	367.00	296.00
2	240.00	390.00	295.00	367.00	385.00	309.00
2	381.00	460.00	267.00	291.00	207.00	341.00
2	230.00	280.00	330.00	370.00	378.00	275.00
2	478.00	357.00	301.00	489.00	408.00	263.00
2	318.00	301.00	205.00	330.00	381.00	315.00
2	304.00	392.00	364.00	280.00	390.00	265.00
<b>Promedio</b>	<b>349.70</b>	<b>367.50</b>	<b>331.70</b>	<b>363.50</b>	<b>342.00</b>	<b>303.80</b>
3	391.00	378.00	286.00	344.00	360.00	410.00
3	360.00	299.00	299.00	360.00	290.00	330.00
3	450.00	345.00	450.00	365.00	290.00	415.00
3	361.00	390.00	378.00	290.00	385.00	330.00
3	380.00	328.00	462.00	327.00	362.00	350.00
3	350.00	322.00	298.00	289.00	387.00	430.00
3	310.00	306.00	361.00	261.00	390.00	320.00
3	491.00	390.00	268.00	350.00	345.00	510.00
3	284.00	298.00	293.00	335.00	465.00	265.00
3	265.00	392.00	239.00	420.00	354.00	361.00
<b>Promedio</b>	<b>364.20</b>	<b>344.80</b>	<b>333.40</b>	<b>334.10</b>	<b>362.80</b>	<b>372.10</b>

Anexo 1.7. Datos de peso seco de los tratamientos

REPETICIÓN	Materia seca total (%)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	0% BIOSÍLICE		0.4% BIOSÍLICE		0.8% BIOSÍLICE	
	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad	0% levad	1% levad
1	9.80	9.50	9.60	10.60	9.84	10.60
1	9.60	9.60	9.40	9.70	9.80	11.00
1	10.00	10.00	10.20	11.00	10.30	10.70
1	10.30	9.90	10.00	10.10	10.60	10.50
1	9.60	10.00	9.80	10.00	10.00	10.00
1	10.40	10.30	9.50	10.00	10.30	10.50
1	9.50	10.60	9.20	9.60	9.50	9.80
1	9.60	10.50	10.50	10.30	9.60	10.60
1	10.30	9.50	10.30	10.40	9.80	10.60
1	10.20	9.40	10.30	10.80	10.70	10.40
<b>Promedio</b>	<b>9.93</b>	<b>9.93</b>	<b>9.88</b>	<b>10.25</b>	<b>10.04</b>	<b>10.47</b>
2	10.80	9.80	10.40	10.60	10.40	10.10
2	10.60	9.50	9.80	10.40	9.60	10.90
2	10.40	10.00	9.50	10.70	10.30	10.50
2	9.50	10.00	9.30	11.10	10.80	9.30
2	10.40	9.40	10.80	9.40	10.60	11.40
2	9.70	10.00	10.00	9.90	10.50	10.80
2	10.10	10.60	9.80	10.70	9.50	9.80
2	9.60	10.50	10.60	10.90	9.70	9.80
2	9.20	10.30	9.30	9.50	10.20	10.20
2	9.20	9.50	9.60	9.30	10.30	10.40
<b>Promedio</b>	<b>9.95</b>	<b>9.96</b>	<b>9.91</b>	<b>10.25</b>	<b>10.19</b>	<b>10.32</b>
3	9.50	11.00	9.70	10.00	10.40	10.00
3	9.30	9.80	10.60	9.60	10.20	10.60
3	10.30	10.60	10.90	10.70	9.50	10.80
3	10.40	9.80	9.90	11.30	9.90	9.90
3	10.60	9.50	9.80	10.60	11.10	11.12
3	9.60	9.60	9.80	9.50	9.40	9.40
3	9.50	9.70	10.50	9.30	9.50	10.60
3	9.60	10.80	9.50	10.30	10.60	9.70
3	10.30	9.50	10.20	10.50	10.30	10.90
3	9.90	9.50	9.70	10.90	10.70	10.30
<b>Promedio</b>	<b>9.90</b>	<b>9.98</b>	<b>10.06</b>	<b>10.27</b>	<b>10.16</b>	<b>10.33</b>

## Anexo 2. Panel fotográfico



**Nota.** A: Proceso de mezclado de sustratos para almacenado, B y C: Proceso de cernido de sustrato para almacenado.



**Nota.** A: Apertura de surcos e instalación de riego en camas de almacigo de cebolla, B: Cobertura de camas con mulch para evitar pérdida de agua.



**Nota.** A: Cebolla en proceso de emergencia, B: Apertura de surcos para trasplante.



**Nota.** A: Nivelación de surcos para trasplante de cebolla, B: Plantines de cebolla listas para trasplante en campo definitivo.



**Nota.** A: Proceso de abonado de fondo para trasplante, B: Obtención de plantines de cebolla.



**Nota.** A: Extracción de plantines de cebolla para trasplante, B: Proceso de trasplante en campo definitivo.



**Nota.** A y B: Pesado de fertilizantes. C: Proceso de fertilización del cultivo de cebolla.



**Nota.** A: Prendimiento de cebollas trasplantadas, B: control de arvenses y escarda.



**Nota.** A: Delimitación de unidades experimentales, B: Pleno desarrollo del cultivo de cebolla.



**Nota.** A: Control fitosanitario, B: Pesaje de materia seca.



**Nota.** A: Preparación de muestras para evaluación de materia seca, B: Preparación de las muestras para evaluación de materia fresca y seca.



**Nota.** A: Etiquetado de unidades experimentales, B: Cosecha de cebollas por unidad experimental.



**Nota.** A, B, C, D: Evaluación postcosecha de bulbos, E: Etiquetado de cebollas para evaluación posterior y venta.


**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Bach. CLENIN SIMON CHOQUE PEÑA****R.D. N° 415-2024-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los diecisiete días del mes de julio del año dos mil veinticinco, siendo las dieciséis 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 la Dr. José Antonio Quispe Tenorio, Ph.D. Marhleri Cerda Gómez como asesora, Dr. Rolando Bautista Gómez y el M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Bioestimulantes 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 **CLENIN SIMON CHOQUE PEÑA**.

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

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. José Antonio Quispe Tenorio	16	16	16	16
Ph.D. Marhleri Cerda Gómez	15	15	17	16
Dr. Rolando Bautista Gómez	15	14	15	15
Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	15	15	16	15
<b>PROMEDIO GENERAL</b>				<b>16</b>

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

  
.....  
**Dr. José Antonio Quispe Tenorio**  
**Presidente**  
.....  
**Ph.D. Marhleri Cerda Gómez**  
**Asesora**  
.....  
**Dr. Rolando Bautista Gómez**  
**Jurado**  
.....  
**Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez**  
**Jurado**  
.....  
**Mtro. Rodolfo Alca Mendoza**  
**Secretario Docente**



**UNSCH**

FACULTAD DE CIENCIAS  
**AGRARIAS**

## CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativisar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por R.D. N° 226-2025-UNSCH-FCA-D, de fecha 19 de agosto de 2025; hace constar que el trabajo titulado;

### **Bioestimulantes en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho, 2023**

Autor : Clenin Simon Choque Peña

Asesor : Marhleri Cerda Gómez

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de Tesis, aprobado mediante la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de diecinueve por ciento (**19 %**) 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: 2735681907

Ayacucho, 26 de agosto de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ciencias Agrarias

Ing. Edgar Tenorio Mancilla  
Coordinador de Control de originalidad de  
trabajo de Investigación y tesis - FCA

# Bioestimulantes en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho, 2023

*por* Clenin Simon CHOQUE PEÑA

---

**Fecha de entrega:** 26-ago-2025 11:54a. m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2735681907

**Nombre del archivo:** BORRADOR\_CLENIN\_31-07-25.pdf (3.06M)

**Total de palabras:** 18260

**Total de caracteres:** 90653

# Bioestimulantes en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), Canaán a 2750 msnm, Ayacucho, 2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	8%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	docplayer.es Fuente de Internet	1%
5	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uaaan.mx Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorioinstitucional.uabc.mx Fuente de Internet	1%

9	Submitted to Universidad Manuela Beltrán Trabajo del estudiante	<1 %
10	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad de la Rioja Trabajo del estudiante	<1 %
12	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.uteq.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	revistas.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

## BIOESTIMULANTES EN EL RENDIMIENTO DE CEBOLLA (*ALLIUM CEPA* L.), CANAÁN A 2750 MSNM, AYACUCHO, 2023

Choque Peña, Clenin Simon  
[clenin.choque.01@unsch.edu.pe](mailto:clenin.choque.01@unsch.edu.pe)

Cerda Gómez, Marhleni  
[marhleni.cerda@unsch.edu.pe](mailto:marhleni.cerda@unsch.edu.pe)

Área de investigación: Medio ambiente

Línea de investigación: Sistema de producción agrícola

### RESUMEN

Con el objetivo de evaluar los niveles de biosilíce y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) en el rendimiento del cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) en condiciones del CE Canaán - UNSCH, se realizó el trabajo de investigación que consta de 6 tratamientos que resultan del arreglo factorial de niveles de biosilíce (0, 0.4 y 0.8% p/v) y niveles de levadura (0, 1.0% p/v), con 3 repeticiones haciendo un total de 18 unidades experimentales, dispuestos en el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Se encontró que aplicar pequeñas dosis de biosilíce y levadura al follaje de cebolla (*Allium cepa* L.) posee efectos positivos y actúan además en interacción. El mayor peso promedio de bulbos (231.2 g), materia seca total de la planta (10.37%) y rendimiento total (86,699.86 kg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo de la interacción de las dosis más altas de ambos bioestimulantes (0.8% de biosilíce y 1% de levadura de cerveza, p/v). La aplicación de 1% de levadura de cerveza aumentó la altura de planta (73.62 cm). Las variables número de hojas por planta, diámetro y longitud de bulbo, no mostraron diferencia estadística. Se encontró correlación alta y significativa entre el peso de bulbo y materia seca de planta total, lo que sugiere que un mayor peso de bulbo se traduce en un mayor porcentaje materia seca del mismo.

**Palabras clave:** *Allium cepa*, biosilíce, levadura de cerveza, rendimiento.

## BIOSTIMULANTS IN THE YIELD OF ONIONS (*ALLIUM CEPA* L.), CANAÁN AT 2750 MSNM, AYACUCHO, 2023

### ABSTRACT

In order to evaluate the levels of biosilica and brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on the yield of onion crops (*Allium cepa* L.) under the conditions of the CE Canaán - UNSCH, the research work was carried out consisting of 6 treatments resulting from the factorial arrangement of biosilica levels (0, 0.4 and 0.8% w/v) and yeast levels (0, 1.0% w/v), with 3 replications, a total of 18 experimental units, arranged in the Completely Randomized Block Design (CRBD). It was found that applying small doses of biosilica and yeast to onion foliage (*Allium cepa* L.) has positive effects and also acts in interaction. The highest average bulb weight (231.2 g), total plant dry matter (10.37%) and total yield (86,699.86 kg ha<sup>-1</sup>) was obtained from the interaction of the highest doses of both biostimulants (0.8% biosilica and 1% brewer's yeast, w/v). The application of 1% brewer's yeast increased plant height (73.62 cm). The variables of number of leaves per plant, bulb diameter, and bulb length showed no statistical differences. A high and significant correlation was found between bulb weight and total plant dry matter, suggesting that greater bulb weight translates to a higher percentage of bulb dry matter.

**Keywords:** *Allium cepa*, biosilica, brewer's yeast, yield.

## I. INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa* L.), es una planta perteneciente a la familia Alliaceae. Su origen se sitúa en Asia Central, entre las regiones de Afganistán, India e Irán (Enciso et al., 2019). Este cultivo es ampliamente cultivada y valorada tanto por importancia económica como por sus propiedades nutricionales, como es el caso de los compuestos bioactivos, como fenoles y antioxidantes, cuya concentración varía según diversos factores ambientales y genéticos (Ren & Zhou, 2021). En el Perú, se cultivan diversas variedades, de las cuales destacan la Roja arequipeña, Criolla, Piurana, Red creole, Roja italiana, Roja Lurín y Roja americana (Nicho, 1993, citado por Paz, 2018). Además, para el año 2020 se produjo 605,619 toneladas, en una superficie de 13.3 mil hectáreas, siendo mayor en costa, que representa el 81.5% de la producción nacional (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022). La producción de cebolla, al igual que la de muchos cultivos, implica el uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas. Esta práctica trae consigo consecuencias negativas como la alteración fisicoquímica y biológica de los suelos y el agua. Por lo cual, la disminución de los insumos es una preocupación permanente. Frente a ello, el empleo de bioestimulantes, resulta favorable y una alternativa sostenible en la producción de alimentos de calidad y cuidado del medio ambiente (Wang et al., 2020). Además, estos compuestos poseen atributos que promueven el crecimiento y aumentan la eficiencia en el uso de los abonos. Las levaduras del género *Saccharomyces*, muestran diversos atributos fitobeneficiosos, entre las que destacan son la producción de fitohormonas, sideróforos y capacidad de solubilizar el fósforo. A su vez, también contribuyen a tolerar las condiciones adversas que se le presentan a las plantas. A su vez, también contribuyen a tolerar las condiciones adversas que se le presentan a las plantas. Esto se debe, en parte, a la aptitud que tienen al competir eficazmente contra patógenos (Nimsi et al., 2023). Estas características resultan ser estratégicas en el control de enfermedades (Kowalska et al., 2022), tal como lo demostró Rivitra et al. (2021) quienes obtuvieron mejoras sustanciales en el cultivo de ajonjolí, tras aplicar foliarmente  $5 \text{ g L}^{-1}$  de levadura, en combinación con abono orgánico y mineral. Por su parte, el silicio demostró tener la capacidad de proteger los pigmentos fotosintéticos y reducir el daño estructura del cloroplasto, a su vez, participa en el aumento de la expresión de genes relacionados con la fotosíntesis (Rastogi et al., 2021). Estas bondades promueven el crecimiento de plantas y a una mayor tolerancia frente a condiciones de estrés abiótico y biótico. Tal como lo reportó Shen et al. (2022) que aplicar silicio al follaje de regaliz, mejoró la fotosíntesis, eficiencia de transpiración, crecimiento, rendimiento y ayudó a mitigar el estrés salino. Evidencias que permitieron plantear este trabajo de investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación foliar de niveles de biosilíce y levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.), en Canaán, 2750 msnm, Ayacucho, 2023.

## II. 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, ubicado entre las coordenadas geográficas de 13° 9'20.85"Latitud Sur y 74°13'12.72"Longitud Oeste.

### Antecedentes del terreno

El área experimental dedicada a la siembra en general de hortalizas y en el año 2022, se cultivó arveja y maíz.

### Características fisicoquímicas del suelo

Según el análisis de caracterización del suelo, se trata de un suelo neutro, sin problemas de sales, ausente en carbonatos, pobre en nitrógeno total y materia orgánica; fósforo y potasio disponibles muy altos, de alta capacidad de intercambio catiónico, textura franco arcilloso. En las relaciones catiónicas, con exceso de magnesio en relación al potasio, esto podría disminuir el accionar del potasio debido al desequilibrio existente entre sí.

### Material biológico

- **Cultivo.** Se utilizó la cebolla de bulbo (variedad roja arequipeña), hortaliza de buena aceptación nacional en el mercado y ser una variedad relativamente resistente a plagas y enfermedades.
- **Biosílice.** El biosílice se obtuvo del yacimiento de Quicapata, ubicado en el distrito de Carmen alto en Ayacucho. Se trata de un material de tonalidad blanquecina con contenido alto de SiO<sub>2</sub>. Esta roca se sometió a molienda hasta obtener un polvo fino, para luego ser tamizado con una malla de 0.125mm.
- **Levadura de cerveza.** Este insumo fue obtenido a partir de los residuos generados por cervecera artesanal "NEVARIA" en Ayacucho.

### Tratamientos

**Tabla 1**

*Descripción de los tratamientos evaluados*

Tratamientos (T)	Descripción
T1	Biosílice (0% p/v) + levadura de cerveza (0% p/v)
T2	Biosílice (0% p/v) + levadura de cerveza (1% p/v)
T3	Biosílice (0.4% p/v) + levadura de cerveza (0% p/v)
T4	Biosílice (0.4% p/v) + levadura de cerveza (1% p/v)
T5	Biosílice (0.8% p/v) + levadura de cerveza (0% p/v)
T6	Biosílice (0.8% p/v) + levadura de cerveza (1% p/v)

## Diseño experimental

Se utilizó Diseño Bloques Completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial de tres niveles de biosilíce (0, 0.4 y 0.8% p/v) por dos niveles de levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) (0 y 1% p/v), con 3 repeticiones. Haciendo un total de 18 unidades experimentales.

## Instalación y conducción del cultivo

- **Almacigado de semillas.** Esta labor se realizó el 01 de junio del 2023, que consistió en colocar las semillas de cebolla en una cama de almacigo, previamente preparado y fértil. La humedad se mantuvo con riegos regulares.
- **Preparación del terreno para trasplante.** El 27 de julio del 2023 se llevó a cabo esta actividad, que consistió en la limpieza de los restos de la cosecha anterior. Posteriormente, se hizo el arado y mullido de los terrones empleando una maquinaria agrícola. Finalmente, se preparó las camas con las siguientes dimensiones: 0.8 m de ancho y 14 m de largo por cada unidad experimental.
- **Riego.** Se realizó por el sistema de goteo, para lo cual se instaló cintas de riego (16 mm con goteros cada 20 cm) para. La frecuencia de riego estuvo sujeto al comportamiento climático.
- **Trasplante.** Esta actividad se realizó empleando plantines con una altura promedio de 10 cm, a distanciamientos de 12 cm entre plantas y 12.5 cm entre hileras. El trasplante se realizó 24 de agosto del 2023.
- **Preparación y aplicación de biosilíce.** Para la aplicación del biosilíce, se preparó las soluciones en dosis de 0.4 y 0.8 % p/v, utilizando un volumen de aplicación de 1025 L ha<sup>-1</sup>. El biosilíce se aplicó 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).
- **Activación y aplicación de levadura.** Para la aplicación de levadura a la cebolla, primeramente se activó disolviendo 200 gr de levadura de cerveza en agua tibia, a esto se añadió una cierta cantidad de azúcar. La solución obtenida se guardó en un envase y en un lugar fresco por 48 horas. Transcurrido este tiempo, se diluyó para su aplicación foliar, según las dosis preestablecidas.
- **Fertilización.** Se empleó 1.6 t ha<sup>-1</sup> de humus de lombriz como abono orgánico; mientras la aplicación de fertilizantes sintéticos a todos los tratamientos fue fraccionada, según la fórmula establecida de acuerdo al análisis de suelo de la parcela: 118-81-36-36 kg ha<sup>-1</sup> de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> -K<sub>2</sub>O-S y 2.3-0.25-0.13-0.43-0.5 kg ha<sup>-1</sup> 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.

- **Control fitosanitario.** El control de los trips se realizó mediante un extracto elaborado a base de ajo, rocoto y canela, aplicados en 3 ocasiones a una dosis de 1 L/20 L o 34 L ha<sup>-1</sup>, específicamente a los 45, 52 y 59 DDT. Por otro lado, para controlar el mildiu (*Peronospora destructor*) se aplicó un producto fungicida fitoklin, en dosis recomendada en ficha técnica.
- **Manejo de malezas.** El control de arvenses consistió en deshierbo manual y de manera constante, a fin de evitar la propagación de enfermedades, plagas y competencias nutricionales. La eliminación de las malezas presentes en el cultivo de la cebolla se realizó de manera manual a los 25, 45, 65 y 80 DDT.
- **Agobio.** Consistió en doblar las plantas a mano, con el objeto de retardar la maduración de las plantas que iban adelantadas en su formación del bulbo, lo cual permitió obtener un cultivo con mayor uniformidad. Esta labor se realizó 15 días antes de la cosecha.
- **Cosecha y empaque.** El 17 de diciembre del 2023, a los 116 DDT se realizó la cosecha de bulbos de cebolla, removiéndolos manualmente y llevados a la sombra. Esta labor se realizó una vez que las hojas estuvieron dobladas en 90% de las plantas.

### Evaluación de variables de rendimiento

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

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Altura de planta

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 2) de altura de planta de cebolla, indican que existe significancia estadística en las fuentes de variación, bloques y levadura (*Saccharomyces cerevisiae*).

La prueba de Tukey en la Figura 1, muestra que existe mejor respuesta en altura de planta de cebolla cuando se incorpora al follaje 1% de levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*), alcanzado 73.62 cm de altura, de este modo 2.73 cm más, que el testigo o sin levadura, equivalente al 3.85% de incremento. Las levaduras empleadas son microorganismos residuales obtenidos del proceso de elaboración de cerveza; los que actuarían como bioestimulante por su contenido de fitohormonas y aminoácidos, que influyen en el crecimiento de la planta (Taha et al., 2021). Fueron denominadas “levaduras promotoras del crecimiento vegetal” (Nimsi et al., 2023). Estudios de Chen et al. (2022) encontraron que el 66% de cepas de levadura aisladas (incluido *Saccharomyces cerevisiae*) producían amoniaco, fuente de nitrógeno, elemento esencial para las plantas. Los resultados son concordantes a los hallazgos de Taha et al. (2021), quienes encontraron en cultivo de *Lupinus termis* L., una influencia notoria de dosis alta de levadura (7.5%) en el crecimiento de planta, pigmentos fotosintéticos, azúcares solubles,

proteínas totales y rendimiento respecto al testigo. Adam et al. (2022), demostraron que la aplicación foliar de 0.4% de levadura seca incrementó significativamente la altura de *Vicia faba* L, alcanzando 65 cm a los 75 días de evaluación respecto al testigo.

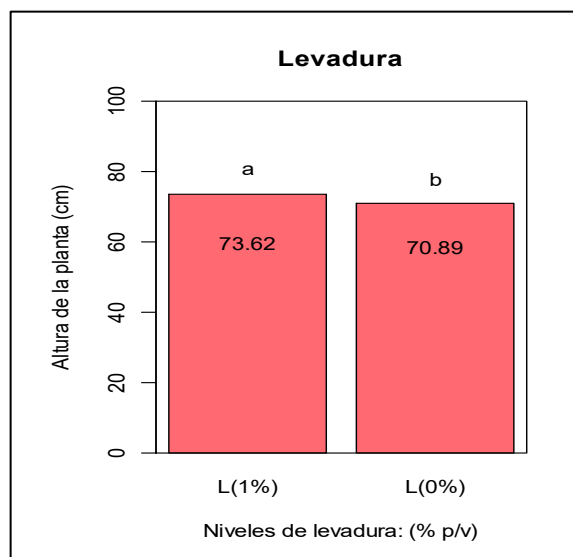
**Tabla 2**

*Análisis de varianza de altura de planta de cebolla (Allium cepa L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza (Saccharomyces cerevisiae).*

F. V	G. L	S. C	C. M	F.c	p-valor
Bloques	2	116.040	58.020	13.110	0.002**
Tratamientos	5	71.100	14.220	3.210	0.055ns
Biosílice (B)	2	32.070	16.035	3.620	0.065ns
Levadura (L)	1	33.620	33.620	7.600	0.020*
Interacción(B*L)	2	5.410	2.705	0.610	0.562ns
<b>Levadura 0%</b>					
R. Lineal	1	14.110	14.110	3.190	0.105ns
R. cuadrático	1	3.210	3.210	0.730	0.414ns
<b>Levadura 1%</b>					
R. Lineal	1	18.030	18.030	4.080	0.071ns
R. cuadrático	1	2.140	2.140	0.480	0.503ns
Error	10	44.250	4.425		
Total	16	268.880			
C.V (%): 2.91					

**Figura 1**

*Comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) del efecto principal de levadura (Saccharomyces cerevisiae) en altura de planta de cebolla (Allium cepa L.), Canaán a 2750 msnm.*



### 3.2. Número de hojas por planta

**Tabla 3**

*Análisis de varianza de número de hojas por planta de Cebolla (Allium cepa L.), por efecto de la aplicación de biosilíce y levadura de cerveza (Saccharomyces cerevisiae).*

F. V	G. L	S. C	C. M	F.c	p-valor
Bloques	2	3.658	1.829	3.268	0.081ns
Tratamientos	5	5.116	1.023	1.828	0.195ns
Biosilíce (B)	2	3.134	1.567	2.800	0.108ns
Levadura (L)	1	1.681	1.681	3.004	0.114ns
Interacción(B*L)	2	0.301	0.151	0.269	0.770ns
<b>Levadura 0%</b>					
R. Lineal	1	1.130	1.130	2.019	0.186ns
R. cuadrático	1	0.220	0.220	0.393	0.543ns
<b>Levadura 1%</b>					
R. Lineal	1	2.040	2.040	3.645	0.085ns
R. cuadrático	1	0.040	0.040	0.071	0.783ns
Error	10	5.596	0.560		
Total	16	17.800			
C.V (%): 6.68					

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 3) del número de hojas de cebolla, muestran que no hay diferencia significativa, tanto en los efectos principales de biosilíce y levadura, como en la interacción (B\*L). Lo que implica que los bioestimulantes aplicados no tienen influencia en la variable.

### 3.3. Diámetro de bulbo

**Tabla 4**

*Análisis de varianza de diámetro de bulbo de Cebolla (Allium cepa L.), por efecto de la aplicación de biosilíce y levadura de cerveza (Saccharomyces cerevisiae).*

F. V	G. L	S. C	C. M	F.c	p-valor
Bloques	2	3.658	1.829	3.268	0.081ns
Tratamientos	5	5.116	1.023	1.828	0.195ns
Biosilíce (B)	2	3.134	1.567	2.800	0.108ns
Levadura (L)	1	1.681	1.681	3.004	0.114ns
Interacción(B*L)	2	0.301	0.151	0.269	0.770ns
<b>Levadura 0%</b>					
R. Lineal	1	1.130	1.130	2.019	0.186ns
R. cuadrático	1	0.220	0.220	0.393	0.543ns
<b>Levadura 1%</b>					
R. Lineal	1	2.040	2.040	3.645	0.085ns
R. cuadrático	1	0.040	0.040	0.071	0.783ns
Error	10	5.596	0.560		
Total	16	17.800			
C.V (%): 6.68					

Los resultados de análisis de varianza (Tabla 4) para la longitud de bulbo de cebolla, indican que hubo diferencias significativas en ninguna fuente de variabilidad, incluido la interacción de biosílice y levadura. Con un coeficiente de variabilidad de 6.68%, valor de buena precisión. Por lo tanto, se puede inferir que ninguno de los bioestimulantes aplicados mostró influencia sobre el parámetro evaluado.

### 3.4. Longitud del bulbo

La tabla 3.4, que presenta el análisis de varianza para la longitud de bulbo, muestra que no se obtuvieron diferencias significativas en ninguna de las fuentes de variabilidad. Con un coeficiente de 4.58%, que señala que los datos son precisos. Por tal razón, se puede mencionar que la aplicación de biosílice y levadura de cerveza, tanto de manera individual como combinada, no tuvo efectos notorios sobre este parámetro en el cultivo de cebolla.

**Tabla 3.4**

*Análisis de varianza de longitud de bulbo de Cebolla (Allium cepa L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza (Saccharomyces cerevisiae).*

F. V	G. L	S. C	C. M	F.c	p-valor
Bloques	2	0.038	0.019	0.161	0.854ns
Tratamientos	5	0.085	0.017	0.141	0.978ns
Biosílice (B)	2	0.037	0.018	0.154	0.860ns
Levadura (L)	1	0.047	0.047	0.393	0.545ns
Interacción(B*L)	2	0.001	0.000	0.003	0.997ns
<b>Levadura 0%</b>					
R. Lineal	1	0.023	0.023	0.191	0.671ns
R. cuadrático	1	0.001	0.001	0.006	0.942ns
<b>Levadura 1%</b>					
R. Lineal	1	0.014	0.014	0.117	0.739ns
R. cuadrático	1	0.000	0.000	0.000	0.995ns
Error	10	1.195	0.120		
Total	16	1.355			
C.V (%): 4.58					

### 3.5. Peso de bulbo y rendimiento total

Los resultados de análisis de varianza (Tabla 5) de peso promedio de bulbo de cebolla y rendimiento total por hectárea de bulbos, muestra diferencias altamente significativas en los efectos principales, biosílice y levadura, así como para la interacción (B\*L), indicando que sí hay interdependencia positiva de los niveles de biosílice y levadura aplicada.

Los resultados de prueba de Tukey (Figura 2) de los efectos simples, muestra que en general cualquier aplicación de biosílice al follaje contribuye con el mayor peso, siendo mayor en presencia de levadura. Se tiene que el peso de bulbo de cebolla con la dosis 0.8% de biosílice, en interacción con 1% de levadura, permite obtener bulbos con peso promedio de 231.20 g, y es 22.02% más respecto al que recibe levadura (1%) sin biosílice. Se le atribuye al silicio la protección del aparato fotosintético de plantas, contribuir al mejor funcionamiento del sistema, la estabilidad de vasos conductores, lo que favorece la mayor producción de fotosintatos, tal

como lo refiere Shen et al. (2022). Fotosintatos que se trasladan mejor cuando el floema está más estable, razón por la cual las cebollas tendrán la oportunidad de aumentar en peso. Así De Souza et al. (2019), refieren que aplicaciones foliares de biosílice es fundamental en el incremento de los rendimientos de los cultivos hortícolas. En relación a las levaduras, estas se distinguen por su abundancia en proteínas, carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y minerales, además de tiamina, riboflavina, piridoxina y hormonas (como auxinas y citoquininas) (Medani y Taha, 2015). Por ello Ahmed et al. (2011) encontraron que el uso foliar de levadura seca activa, amplió las características de crecimiento vegetativo, la productividad y la calidad de los tubérculos de papa.

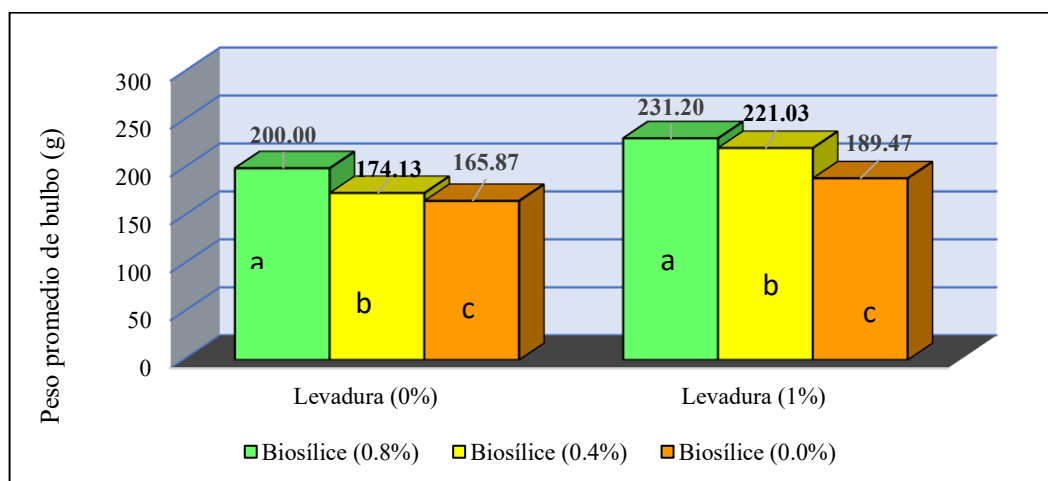
**Tabla 5**

*Análisis de varianza de peso promedio del bulbo de Cebolla (*Allium cepa* L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*).*

F. V	G. L	Peso de bulbo	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
		(g)	
Cuadrados medios (CM)			
Bloques	2	4.5ns	612416.2 ns
Tratamientos	5	1983.0**	278870164.7**
Biosílice (B)	2	2160.0**	303778133.3**
Levadura (L)	1	5171.0**	727230385.1**
Interacción (B*L)	2	212.0**	29782085.8**
<b>Levadura 0%</b>			
R. Lineal	1	1747.6**	245758720.0**
R. cuadrático	1	154.9*	21779824.0**
<b>Levadura 1%</b>			
R. Lineal	1	2612.5**	367381715.5**
R. cuadrático	1	228.0**	32200178.7**
Error	10	6.2	875761.3
Total	16		
C.V (%):		1.26	1.26

**Figura 2**

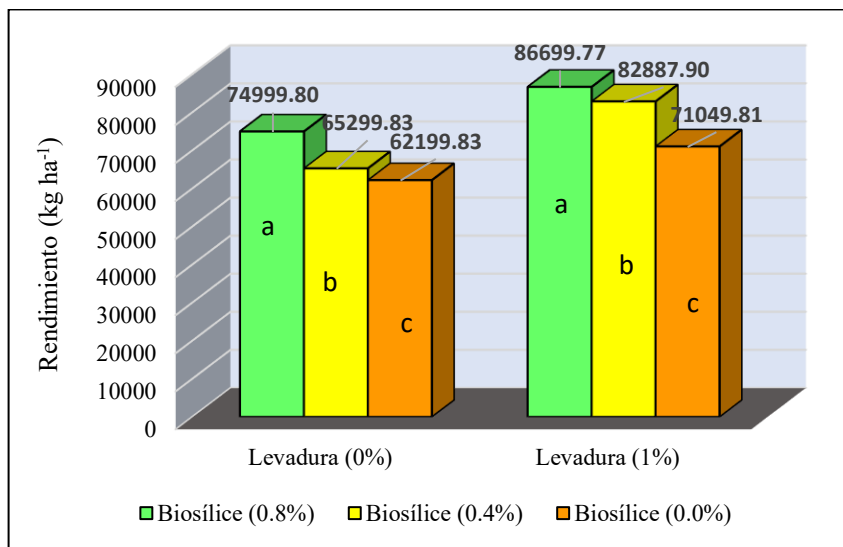
*Comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples de la aplicación de niveles de biosílice y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) del peso promedio de bulbo de cebolla (*Allium cepa* L).*



La estimación del rendimiento total de cebolla por hectárea (Figura 3), indica que la mayor producción (86,699.77 kg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con la aplicación de 0.8% de biosílice (p/v) + 1% de levadura de cerveza (p/v) (T6), superando ampliamente al testigo con incremento equivalente al 39.38% (24,499.71 kg ha<sup>-1</sup>). Un rendimiento también alto se consigue con al aporte de 0.4% biosílice + 1% de levadura de cerveza (82,887.90 kg ha<sup>-1</sup>). La sola aplicación de levadura supone un incremento estimado de 14.22%; del mismo modo la sola aplicación de biosílice permitió incrementos del orden de 4.98 y 20.58% con las dosis de 0.4 y 0.8% (p/v), respectivamente. No obstante, lo recomendable es la interacción de ambos.

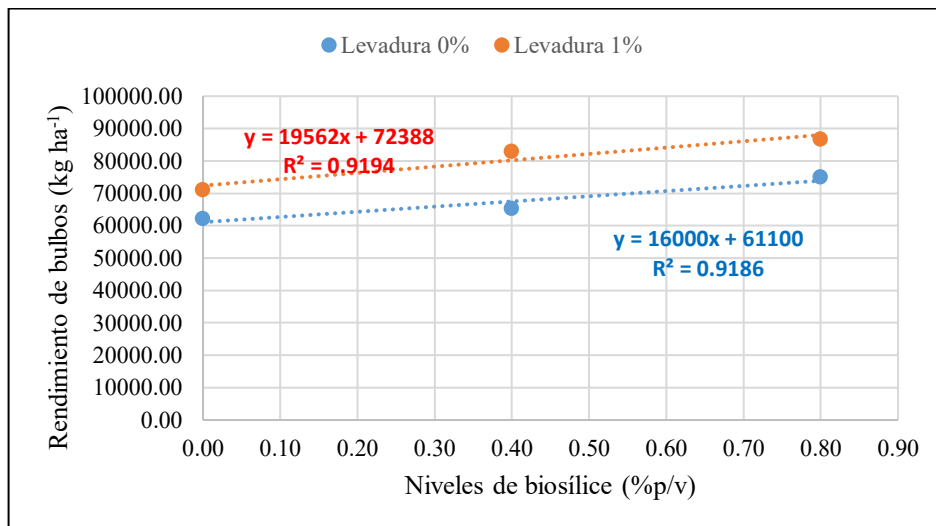
**Figura 3**

*Comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples de la aplicación de niveles de biosílice y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) de rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.).*



**Figura 4**

*Modelos de regresión del rendimiento de bulbos kg ha<sup>-1</sup> en función del efecto de levadura y biosílice.*



En la Figura 4, se muestra que sin el aporte de levadura (0% p/v), así como cuando se aplica 1 % p/v de levadura, el comportamiento del rendimiento de bulbo se ajusta al modelo lineal siendo las ecuaciones  $y = 16000x + 61100$  y  $y = 19562x + 72388$ , respectivamente. Según los rendimientos evaluados, es notoria la participación de ambos bioestimulantes en el efecto de contribuir al aumento del rendimiento y en este caso se observa que la interacción resulta muy interesante, la literatura es aún escasa, se conocen generalidades en el efecto de las levaduras en agricultura, a pesar de que se conoce y acepta que resultan inocuas para el hombre debido a algunas propiedades bioactivas y químicas (Poloni et al., 2017). En el caso específico de las *S. cerevisiae*, estas se caracterizan por su riqueza en proteínas, carbohidratos, ácidos nucleicos, lípidos y minerales (N, P, K, Na, Fe, Mg, S, Zn, Mn, Cu, Si, Cr, Ni, Va y Li).

### 3.6. Materia fresca y seca total de la planta

**Tabla 6**

*Análisis de varianza de materia fresca y seca total de la planta de cebolla (Allium cepa L.), por efecto de la aplicación de biosílice y levadura de cerveza (Saccharomyces cerevisiae).*

F. V	G. L	Materia fresca	Materia seca
		total (g)	total (%)
		Cuadrados medios (CM)	
Bloques	2	1724.00ns	0.00ns
Tratamientos	5	36.20ns	0.10**
Biosílice (B)	2	57.50ns	0.14**
Levadura (L)	1	56.00ns	0.17**
Interacción (B*L)	2	5.00ns	0.03*
<b>Levadura 0%</b>			
R. Lineal	1	47.83ns	0.06**
R. cuadrático	1	6.31ns	0.01ns
<b>Levadura 1%</b>			
R. Lineal	1	68.01ns	0.26**
R. cuadrático	1	2.72ns	0.01ns
Error	10	703.60	0.00
Total	16		
C.V (%):		7.84	0.66

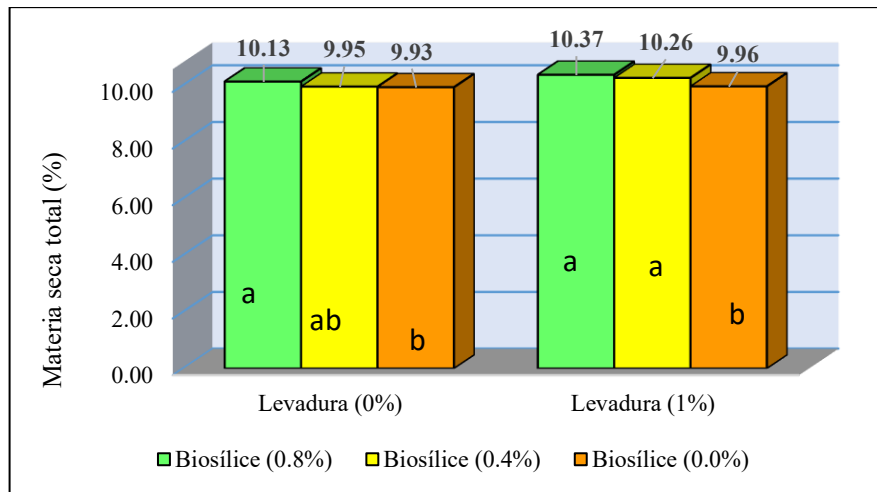
Los resultados de análisis de varianza en la Tabla 6, indican que no existe diferencia significativa en ninguna fuente de variabilidad al evaluar la materia fresca total. En cambio, para la materia seca total se observa diferencias altamente significativas en los tratamientos, así como en los efectos principales del biosílice y la levadura. Por otro lado, se muestra diferencia significativa en la interacción de biosílice y levadura.

Los resultados de prueba de Tukey (Figura 5) de los efectos simples, muestra la interacción de biosílice (0.8%) con levadura de cerveza, son los que presentan mayor efecto en la acumulación de fotosintatos, que se expresan en la materia seca total de la cebolla, que alcanza hasta 10.37%, seguido de la menor dosis 0.4 % p/v de biosílice); no obstante, ambos resultan significativamente mayores respecto al testigo y cuando se emplea solo biosílice. Lo obtenido es comparable a lo hallado por Helaly y El-Hoseiny (2017) quienes aplicando silicato de potasio al 3% combinado con levadura a 20 g L<sup>-1</sup> obtuvieron los mejores resultados en cuanto a crecimiento, floración, así como rendimiento y calidad de fruto de bananos Williams, irrigados con agua salina. Los resultados podrían obedecer a los efectos que ejerce el biosílice sobre la actividad fotosintética, no solo por la estabilidad del aparato fotosintético, sino también

por la acción a nivel de estructuras de vasos conductores, como consecuencia traslado de fotosintatos, tal como lo refiere González-Moscoso et al. (2022), quienes indican que el *silicio*, incrementa la concentración de clorofilas en las hojas, esto repercute en el incremento de la tasa fotosintética con consecuente acumulación de materia seca. Respecto del accionar de las levaduras, los resultados también concuerdan con lo hallado por Alobaidy et al. (2022) quienes demuestran influencia significativa en la acumulación de materia seca del cultivo de maíz (*Zea mays* L), luego de aplicar 1% de levadura, siendo mayor en 3.18 g respecto al testigo. Del mismo modo, Taha et al. (2021), refiere que la aplicación de 75 ml L<sup>-1</sup> de levadura foliar, tuvieron influencia significativa en las características anatómicas, incremento de la masa, concentración de pigmentos fotosintéticos de lupino cultivados bajo estrés salino.

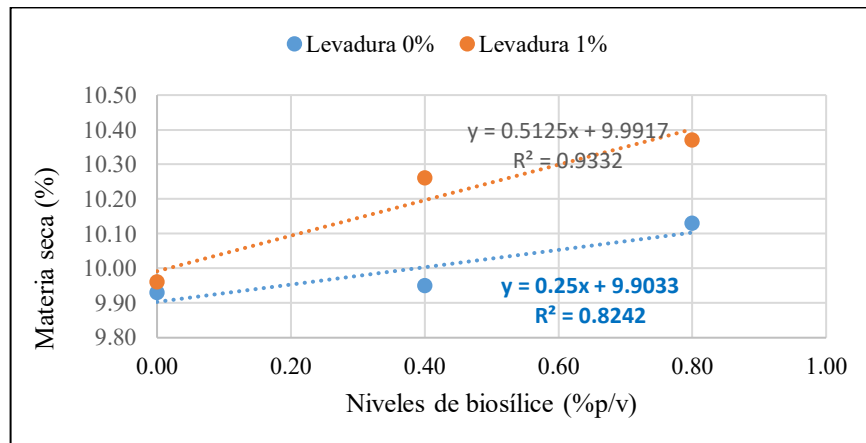
**Figura 5**

Comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) de los efectos simples en materia seca total de cebolla (*Allium cepa* L.), por efecto de la aplicación de biosilíce y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*).



**Figura 6**

Modelos de regresión de materia seca total de planta en función del efecto de levadura y biosilíce



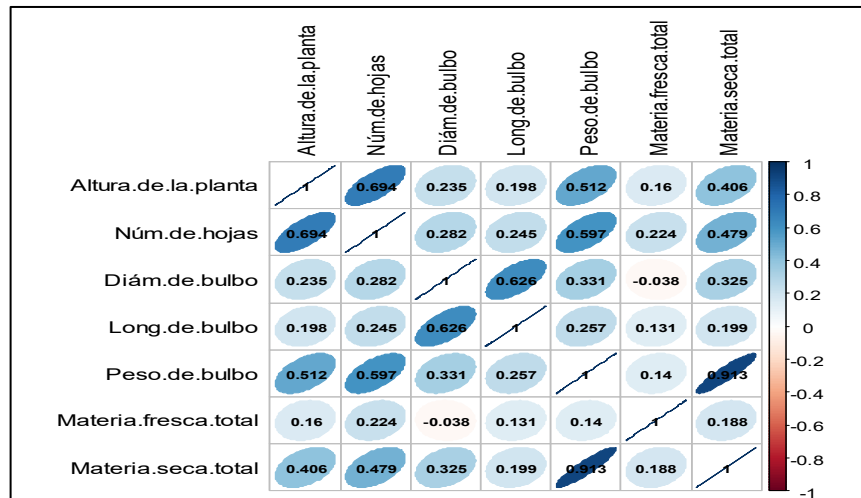
La figura 6, muestra que por cada unidad de biosíllice aplicado al cultivo existe un incremento de 0.5125% de materia seca, con tendencia que se ajusta a la ecuación lineal ( $y = 0.5125x + 9.9917$  y  $R^2 = 0.9332$ ) y mayor a cuando se aplica solo ( $y = 0.25x + 9.9033$  y  $R^2 = 0.8242$ ).

### 3.7. Correlación de las variables

Los resultados de la correlación general (Figura 7), indican una asociación alta y significativa entre peso de bulbo y materia seca total, 0.913\*\*; esto significa que la acumulación de materia seca permite aumentar el peso de bulbo. Hay una correlación 0.694\*\* entre altura de la planta y número de hojas de la planta; correlación de 0.626\*\* entre diámetro de bulbo y su longitud. Las correlaciones positivas indican que existe una relación directamente proporcional entre ellos.

**Figura 3.7**

*Correlación general de las variables evaluadas por efecto de la aplicación de biosíllice y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*).*



## CONCLUSIONES

- i. La aplicación foliar de biosíllice ejerce influencia en la materia seca de planta total, peso de bulbo y rendimiento total del cultivo de cebolla, siendo mejor, la mayor dosis evaluada (0.8% p/v).
- ii. La aplicación foliar de 1% (p/v) de levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) al cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.), influye significativamente en la altura de planta (73.62 cm), siendo 3.85% mayor respecto al testigo.
- iii. Las dosis foliares de levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) a 1% (p/v) junto a biosíllice (0.8% p/v) en interacción, influyeron significativamente en el mayor nivel de materia seca de planta (10.37%), peso promedio de bulbo (231.20 g) y rendimiento (86,699.86 kg ha<sup>-1</sup>).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, A., Allafe, M., & Omar, E. (2022). Biostimulants Influence (Licorice and Yeast Extract) on Vegetative Growth of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Plant Production*, 13(7), 321–324. <https://doi.org/10.21608/jpp.2022.139161.1112>
- Ahmed, A., Abd El-Baky, M., Zaki, M., & Abd El-Aal, F. (2011). Effect of Foliar Application of Active Yeast Extract and Zinc on Growth, Yield and Quality of Potato Plant (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Applied Sciences Research*, 7(12), 2479-2488.
- Alobaidy, M. G., Ağırağaç, Z., & Zorer Çelebi, Ş. (2022). Determination Effects of Active Dry Yeast on Morphological and Chemical Components of Maize Plants Grown in Alkaline Soils for Silage Purposes. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 32(2), 310–319. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1048847>
- Chen, R. Y., Jiang, W., Fu, S. F., & Chou, J. Y. (2022). Screening, evaluation, and selection of yeasts with high ammonia production ability under nitrogen free condition from the cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) rhizosphere as a potential bio-fertilizer. *Rhizosphere*, 23(May), 100580. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100580>
- De Souza, J. Z., De Mello Prado, R., de Oliveira Silva, S. L., Farias, T., Garcia Neto, J., & de Souza Junior, J. (2019). Silicon leaf fertilization promotes biofortification and increases dry matter, ascorbate content, and decreases post-harvest leaf water loss of chard and kale. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(2), 164-172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1556288>
- Enciso, C., Vera, P., Santacruz, A., & González, J. (2019). Guía Técnica: Cultivo de cebolla. In *Ppt* (Vol. 53, Issue 9). Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). [https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt\\_02.pdf](https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_02.pdf)
- González-Moscoso, M., Martínez-Villegas, N., Cadenas-Pliego, G., & Juárez-Maldonado, A. (2022). Effect of Silicon Nanoparticles on Tomato Plants Exposed to Two Forms of Inorganic Arsenic. *Agronomy*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy12102366>
- Helaly, M., & El-Hoseiny, H. (2017). Effects of Silicon and Yeast Extract on Growth, Flowering and Yield of Banana (*Musa cavendishii* L.). *Journal of Plant Production*, 8(4), 549-554. <https://doi.org/10.21608/jpp.2017.40068>
- Kowalska, J., Krzywińska, J., & Tyburski, J. (2022). Yeasts as a Potential Biological Agent in Plant Disease Protection and Yield Improvement—A Short Review. *Agriculture (Switzerland)*, 12(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091404>
- Medani, R., & Taha, R. (2015). Improving Growth and Yield of Caraway (*Carum carvi* L.) Plants by Decapitation and/or Active Dry Yeast Application. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(9), 47-60.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú (2022). Marco orientador de cultivos 2021 y 2022. MOC promoción nacional. <https://acortar.link/iamv3w>
- 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), 1-11. doi:<https://doi.org/10.1093/jambio/1xac088>
- Paz, W. M. (2018). *Adaptabilidad de tres variedades de cebolla roja (Allium cepa L.), bajo las condiciones climáticas del distrito de Lamas – Región San Martín* [Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3373/1/AGONOMIA> -

Wilber Michel Paz Monge.pdf

- Poloni V., Salvato L., Pereyra C., Oliveira A., Rosa C., Cavaglieri L. (2017). Bakery by-products based feeds borne-*Saccharomyces cerevisiae* strains with probiotic and antimycotoxin effects plus antibiotic resistance properties for use in animal production. *Food Chem. Toxicol.* 107, 630–636. doi: 10.1016/j.fct.2017.02.040
- Rastogi, A., Yadav, S., Hussain, S., Kataria, S., Hajihashemi, S., Kumari, P., Yang, X., & Brestic, M. (2021). Does silicon really matter for the photosynthetic machinery in plants...?. *Plant physiology and biochemistry* : PPB, 169, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.004>
- Ren, F., & Zhou, S. (2021). Phenolic Components and Health Beneficial Properties of Onions. *Agriculture* , 11(9), 872. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture11090872>
- Rivitra, V., Thevan, K., & Norhafizah, M. (2021). Growth of chilli plant (*Capsicum annuum* L.) treated with combined organic and inorganic fertilizer with *Saccharomyces cerevisiae*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 756, 1-7. doi:doi:10.1088/1755-1315/756/1/012050
- Shen, Z., Cheng, X., Li, X., Deng, X., Dong, X., Wang, S., & Pu, X. (2022). Effects of silicon application on leaf structure and physiological characteristics of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. and *Glycyrrhiza inflata* Bat. under salt treatment. *BMC Plant Biology*, 22(1), 390. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03783-7>
- Taha, R. S., Seleiman, M. F., Alhammad, B. A., Alkahtani, J., Alwahibi, M. S., & Mahdi, A. H. A. (2021). Activated Yeast Extract Enhances Growth, Anatomical Structure, and Productivity of *Lupinus termis* L. Plants under Actual Salinity Conditions. *Agronomy*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010074>
- Wang, B., Chu, C., Wei, H., Zhang, L., Ahmad, Z., Wu, S., & Xie, B. (2020). Ameliorative effects of silicon fertilizer on soil bacterial community and pakchoi (*Brassica chinensis* L.) grown on soil contaminated with multiple heavy metals. *Environmental Pollution*, 267, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115411>