

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de un Biofertilizante Líquido a Base de Champiñón en el Crecimiento y  
Producción de Cebolla (*Allium cepa*)

Por:

**GERARDO MENDOZA OLGUIN**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de un Biofertilizante Líquido a Base de Champiñón en el Crecimiento y  
Producción de Cebolla (*Allium cepa*)

Por:


**GERARDO MENDOZA OLGUIN**


TESIS

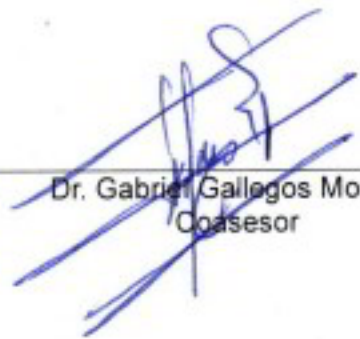
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**


Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Asesor Principal

  
M.C. Raúl Alejandro Ramos  
Salazar  
Asesor Principal Externo

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coasesor

  
Ing. Gerardo Rodríguez Galindo  
Coasesor

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México  
Junio 2025



## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a Dios por permitirme cumplir este sueño. La vida nos pone pruebas que parecen imposibles de superar, pero este día marca el fin de una etapa y el comienzo de otra.

Agradezco a mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser mi segunda casa durante este proceso. Dentro de sus muros, conocí a personas que aportaron significativamente a mi conocimiento y vida. En este segundo hogar, obtuve las herramientas necesarias para defenderme en mi vida profesional. Gracias por haberme alimentado, cuidado, educado y hecho sentir que tengo un segundo hogar.

A mis profesores, les agradezco por su dedicación y esfuerzo en transmitir sus conocimientos. Ustedes pusieron su grano de arena para que podamos aplicar lo aprendido en la vida real. Agradezco especialmente a aquellos que aman su trabajo y se esfuerzan por formar mejores profesionistas.

A mis asesores de tesis, les doy un especial agradecimiento. A Raúl Alejandro Ramos Salazar, gracias por tu apoyo, paciencia y disposición para guiarme durante todo este camino. Tu amistad y orientación fueron fundamentales para la culminación de esta tesis.

Al Dr. Alberto Sandoval Rangel, gracias por darme la oportunidad de participar en este proyecto de tesis y proporcionarme los recursos necesarios para llevarlo a cabo.

Al TLQ Carlos Alberto Arévalo San Miguel, del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, gracias por su ayuda con el análisis del biofertilizante. A la Dra. Rebeca Betancourt Galindo y al LCQ Jesús Alejandro Espinosa Muñoz, del Centro de Investigación en Química Aplicada, gracias por su apoyo en la caracterización del biofertilizante. Al Dr. Gabriel Gallegos Morales, del Departamento de Parasitología, gracias por proporcionar el biofertilizante.

A mis amigos, gracias por permitirme conocerlos y hacer de esta universidad un hogar. Aunque seguiremos caminos diferentes, siempre tendrán un lugar en mi

corazón. Espero que nos volvamos a encontrar como ingenieros y que nuestra amistad perdure en el tiempo.

## DEDICATORIA

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido mi pilar fundamental en este camino. Su esfuerzo y sacrificio han sido invaluable, y su amor y apoyo incondicional me han permitido llegar hasta aquí. A pesar de no ser el hijo más obediente, siempre creyeron en mí y me dieron la educación y el amor que me han llevado a alcanzar este logro. Este logro es tan suyo como mío, y espero algún día poder retribuir todo lo que han hecho por mí.

A mi padre, le agradezco por siempre estar dispuesto a apoyarme, incluso en los momentos más difíciles. Su ejemplo de trabajo y dedicación es algo que admiro profundamente, y de corazón espero algún día poder ser la mitad de buen padre que tu haz sido para mí.

A mi madre, le doy gracias por ser una madre tan presente y amorosa. Sé que no siempre fue fácil, pero siempre encontraste la manera de apoyarme y darme lo mejor. Te amo mucho y valoro todo lo que has hecho por mí.

A mis hermanos, Pedro Mendoza Olgún y Javier Eduardo Mendoza Olgún, les agradezco por siempre preocuparse por mi bienestar y por ser una fuente de apoyo y motivación. A pesar de las peleas, siempre hemos sido unidos, y valoro mucho la relación que tenemos, ustedes me dieron las herramientas para sobrepasar muchos obstáculos y por eso les agradezco.

A mi tía, San Juana Mendoza Cortez, le agradezco por ser como una segunda madre para mí. Su apoyo y motivación fueron fundamentales para que yo pudiera continuar con mis estudios y alcanzar este logro. Gracias por creer en mí y darme la fuerza para seguir adelante.

A mi amigo Raúl Alejandro Ramos Salazar, le agradezco por su apoyo y amistad durante la carrera. Tus palabras de motivación y apoyo fueron fundamentales en el momento que más lo necesitaba, esto me ayudo para que yo pudiera seguir adelante.

A mis amigos, Bernardo Lujan Ramos, Ricardo Sanchez Saldaña, Alan de la Cruz, Joshua Vargas, Emilio Xicohtécatl Del Razo Pérez y Adrián Sanchez, les

agradezco por su amistad y apoyo durante este proyecto. Su ayuda y colaboración fueron invaluable, gracias por no dejarme solo cuando lo necesitaba, y a pesar de las adversidades del clima eso no impidió que me apoyaran, por eso y mucho más, gracias.

Para ti, a pesar de que nuestras vidas tomaron rumbos diferentes agradezco que siempre me apoyaste, te desvelaste conmigo en esas noches en las que había muchas cosas por hacer y nunca me reclamaste, siempre estuviste dispuesta a apoyarme y por eso agradezco mucho todo lo que hiciste, espero que algún día logres todas tus metas y sigas adelante.

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	8
<b>ABSTRACT</b> .....	9
<b>INTRODUCCION</b> .....	10
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	11
<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b> .....	11
<b>HIPÓTESIS</b> .....	11
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	12
<b>IMPORTANCIA DEL CULTIVO</b> .....	12
<b>DESCRIPCIÓN BOTÁNICA</b> .....	14
<b>FENOLOGÍA DEL CULTIVO</b> .....	15
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CEBOLLA</b> .....	16
<b>MANEJO Y REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO</b> .....	17
<b>PLAGAS Y ENFERMEDADES</b> .....	20
<b>BIOFERTILIZANTES</b> .....	21
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	22
<b>CARACTERIZACIÓN DEL BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO DE CHAMPIÑÓN</b> .....	22
<b>UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO</b> .....	22
<b>MATERIAL VEGETAL</b> .....	22
<b>SISTEMA DE RIEGO</b> .....	22
<b>DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS</b> .....	23
<b>VARIABLES EVALUADAS</b> .....	23
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b> .....	25
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	26
<b>CARACTERIZACIÓN DEL BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO DE CHAMPIÑÓN</b> .....	26
<b>CRECIMIENTO DE LA PLANTA</b> .....	27
<b>PRODUCCIÓN Y CALIDAD</b> .....	31
<b>CONCLUSIÓN</b> .....	35
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	36

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Altura de la planta de cebolla a través del tiempo, con la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón. ....	27
<b>Figura 2.</b> Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) de la altura de la planta de cebolla a través del tiempo, con la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón. ....	28
<b>Figura 3.</b> Diámetro del tallo de la planta de cebolla a través del tiempo, con la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón. ....	29
<b>Figura 4.</b> Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) del diámetro del tallo de la planta de cebolla a través del tiempo, con la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón. ....	30
<b>Figura 5.</b> Número promedio de bulbos por metro lineal por categoría de calibre en función de los tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación de medias LSD de Fisher ( $p < 0.05$ ). ....	31
<b>Figura 6.</b> Peso total de bulbos en cada categoría de calibre en función de los tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación de medias LSD de Fisher ( $p > 0.05$ ). ....	32
<b>Figura 7.</b> Peso promedio por bulbo en cada categoría de calibre bajo los diferentes tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación de medias LSD de Fisher ( $p > 0.05$ ). ....	33
<b>Figura 8.</b> Número promedio de capas y contenido de sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix) en bulbos de cebolla bajo los diferentes tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación de medias ( $p > 0.05$ ). ....	34

## RESUMEN

La cebolla (*Allium cepa* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial, sin embargo, su producción intensiva con fertilizantes químicos ha generado preocupaciones ambientales y económicas. Por lo tanto, los biofertilizantes representan una alternativa sostenible para mejorar la productividad y calidad del cultivo sin comprometer la salud del suelo ni el ambiente. En este estudio se evaluó el efecto de un biofertilizante líquido a base de residuos de champiñón (champiñonaza) sobre el crecimiento y producción de cebolla bajo condiciones de campo abierto en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, durante el ciclo primavera-verano de 2024. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres tratamientos: testigo (sin aplicación), 1 L ha<sup>-1</sup> y 2 L ha<sup>-1</sup> de champiñonaza. Los resultados mostraron que la aplicación de 1 L ha<sup>-1</sup> de champiñonaza favoreció el crecimiento de las plantas y aumentó significativamente el número de bulbos de calibre Jumbo, así como el peso total de bulbos por metro lineal, en comparación con el testigo. En cambio, la dosis más alta (2 L ha<sup>-1</sup>) no generó beneficios adicionales. Las variables de calidad, como el número de capas por bulbo y el contenido de sólidos solubles totales (°Brix), no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica que la aplicación del biofertilizante no afectó la estructura interna ni la calidad comercial del bulbo. Se concluye que la champiñonaza, aplicada a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup>, constituye una alternativa viable y sostenible para mejorar la producción de cebolla. Asimismo, se destaca la necesidad de optimizar las dosis de aplicación y realizar estudios adicionales que permitan integrar este biofertilizante en programas de fertilización sustentable.

**Palabras clave:** *Allium cepa* L., champiñon, biofertilizante

## ABSTRACT

Onion (*Allium cepa* L.) is one of the most important horticultural crops worldwide; however, its intensive production using chemical fertilizers has raised environmental and economic concerns. Therefore, biofertilizers represent a sustainable alternative to enhance crop productivity and quality without compromising soil health or the environment. In this study, the effect of a liquid biofertilizer derived from mushroom residues (champiñonaza) on the growth and yield of onion was evaluated under open field conditions at the Department of Horticulture, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, Mexico, during the spring-summer 2024 growing season. A randomized complete block design with three treatments was used: control (no application), 1 L ha<sup>-1</sup>, and 2 L ha<sup>-1</sup> of champiñonaza. The results showed that the application of 1 L ha<sup>-1</sup> of champiñonaza promoted plant growth and significantly increased the number of Jumbo-grade bulbs, as well as the total bulb weight per linear meter, compared to the control. In contrast, the higher dose (2 L ha<sup>-1</sup>) did not provide additional benefits. Quality variables, such as the number of layers per bulb and the total soluble solids content (°Brix), did not show significant differences among treatments, indicating that the application of the biofertilizer did not affect the internal structure or commercial quality of the bulbs. It is concluded that champiñonaza, applied at a dose of 1 L ha<sup>-1</sup>, is a viable and sustainable alternative to improve onion production. Additionally, the importance of optimizing application rates and conducting further studies to integrate this biofertilizer into sustainable fertilization programs is highlighted.

**Keywords:** *Allium cepa* L., mushroom, biofertilizer

## INTRODUCCION

La agricultura moderna enfrenta el reto de mantener una producción eficiente sin comprometer la salud del suelo ni el equilibrio ambiental. En México, el uso intensivo de fertilizantes químicos ha sido clave para alcanzar altos rendimientos, pero también ha generado efectos negativos, como la pérdida de calidad del suelo, desequilibrios en la microbiota edáfica y contaminación del agua por lixiviación de nutrientes (Daniel *et al.*, 2022).

Diversos estudios han señalado que el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos, además de elevar los costos de producción, tiene consecuencias ambientales significativas, entre ellas la contaminación del manto freático, un problema creciente en zonas agrícolas de alta intensidad (Herrera *et al.*, 2000). Esta situación ha motivado la búsqueda de alternativas complementarias que permitan optimizar la fertilización y reducir los impactos negativos sin comprometer el rendimiento de los cultivos (Stevens, 2019).

Por lo tanto, los biofertilizantes representan una herramienta importante dentro de un manejo integrado de la nutrición vegetal. Su incorporación al sistema productivo puede mejorar la disponibilidad de nutrientes, estimular la actividad microbiana del suelo y complementar la fertilización química convencional (Dzvene y Chiduzza, 2024).

Uno de los enfoques recientes es el aprovechamiento de residuos agroindustriales para la elaboración de biofertilizantes líquidos (Torres Gallo *et al.*, 2023). La champiñonaza, subproducto del cultivo de hongos comestibles, contiene compuestos orgánicos y minerales que pueden favorecer el desarrollo vegetal. Su formulación como biofertilizante líquido abre nuevas posibilidades para su aplicación en cultivos de interés comercial.

En este trabajo se evaluó el efecto de un biofertilizante líquido a base de champiñonaza sobre el crecimiento y la producción de cebolla (*Allium cepa*), con el propósito de generar información útil sobre su impacto agronómico y su potencial como insumo complementario en esquemas de fertilización racional.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la respuesta del cultivo de cebolla (*Allium cepa L.*) a la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón.

## **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Evaluar el desarrollo del cultivo de cebolla con la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón en condiciones de campo abierto.
- Evaluar la productividad del cultivo de cebolla con la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón en condiciones de campo abierto.
- Determinar la dosis optima del biofertilizante líquido a base de champiñón.

## **HIPÓTESIS**

Al menos una dosis de biofertilizante líquido a base de champiñón mejorará el desarrollo y productividad del cultivo de cebolla en condiciones de campo abierto.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### IMPORTANCIA DEL CULTIVO

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas a nivel mundial, destacando por su amplio uso culinario, su valor nutricional y sus propiedades funcionales (López Urquidez *et al.*, 2017). Su contenido de compuestos bioactivos, como flavonoides, compuestos azufrados y antioxidantes, ha sido asociado con efectos benéficos para la salud humana, incluyendo actividad antiinflamatoria y propiedades antimicrobianas (Guillamón, 2018).

Desde una perspectiva económica, la cebolla (*Allium cepa* L.) no solo es un alimento básico en muchas culturas, sino que también representa una fuente importante de ingresos para productores de distintas escalas, desde pequeños hasta grandes agricultores (Kim *et al.*, 2024). Su cultivo muestra una notable capacidad de adaptación a diversas condiciones agroclimáticas, lo que ha favorecido su integración en sistemas agrícolas tanto de regiones templadas como semiáridas. Esta versatilidad, junto con su demanda constante y su capacidad de almacenamiento prolongado, la posiciona como un producto estratégico en los mercados nacionales e internacionales (Venâncio *et al.*, 2022). En varios países de América Latina, incluida México, la cebolla es considerada un cultivo de alto valor comercial, con exportaciones orientadas principalmente a destinos clave como Estados Unidos, Canadá y Europa (SADER, 2021).

Además, la cebolla cumple un papel estratégico en la rotación de cultivos, ya que puede contribuir a la supresión de malezas, a la interrupción de ciclos de enfermedades y a la mejora de ciertas propiedades físicas del suelo. Estas características refuerzan su importancia en los sistemas de producción hortícola sustentable y en el fortalecimiento de la seguridad alimentaria (Leoni, 2023).

### Origen e historia del cultivo

La cebolla es una de las hortalizas más antiguas cultivadas por el ser humano. Pertenece a la familia *Amaryllidaceae* y forma parte de las aproximadamente 500

especies que integran el género *Allium*. Su origen se sitúa en Asia Central, específicamente en regiones que comprenden el actual Irán y Pakistán, donde comenzó su domesticación y posterior difusión hacia otras regiones del mundo. (Casseres, 1984).

Existen registros arqueológicos que datan del año 3200 a.C., los cuales evidencian su uso por parte de las civilizaciones egipcias, no solo como alimento, sino también en prácticas religiosas y con fines medicinales. Los egipcios atribuían a la estructura de capas concéntricas de la cebolla una simbología de la vida eterna. Durante la Edad Media, su cultivo se desarrolló en los países mediterráneos, donde se seleccionaron las variedades de bulbo grande que dieron origen a las variedades modernas. En la actualidad, el mejoramiento genético de la cebolla se ha enfocado en incrementar la tolerancia a enfermedades, mejorar la conservación poscosecha y desarrollar variedades adaptadas a sistemas de producción intensiva bajo riego o en invernadero (Vallejo y Estrada, 2004).

### **Importancia económica**

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2025), la producción mundial de cebolla supera los 111 millones de toneladas anuales. Esta hortaliza ocupa un lugar destacado en la dieta y economía de numerosos países, siendo China, India y Egipto los principales productores a nivel global. Su alta demanda y adaptabilidad a diversas condiciones agroclimáticas han consolidado a la cebolla como uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo.

En el caso de México, la cebolla también representa un cultivo de gran relevancia económica. El país produce más de 1.5 millones de toneladas anuales, con una superficie de cultivo distribuida principalmente en los estados de Chihuahua, Zacatecas, Guanajuato y Baja California. De acuerdo con la base de datos de FAOSTAT (2023), se reportó una producción de aproximadamente 98,629 toneladas de cebolla en verde. Además, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural informó que, durante ese mismo año, Chihuahua encabezó la producción

nacional con 296,271 toneladas, lo que equivale al 20 % del total producido en el país.

## **DESCRIPCIÓN BOTÁNICA**

A continuación, se describen las principales estructuras de la planta, desde la semilla hasta la inflorescencia, considerando sus características anatómicas y funcionales, con base en información de la literatura científica.

**Semilla.** La semilla de cebolla presenta forma de escudo, es angular, aplanada y de color oscuro. Su germinación ocurre en un rango térmico de 7 a 30 °C, siendo la temperatura óptima para este proceso de aproximadamente 18 °C.

**Sistema radicular.** La raíz primaria muere en las primeras etapas del desarrollo, siendo sustituida por raíces adventicias. Estas raíces presentan un crecimiento limitado en profundidad, alcanzando generalmente entre 30 y 60 cm, aunque la mayor concentración se encuentra en los primeros 20 a 25 cm del perfil del suelo (Miguel y López, 1987).

**Tallo verdadero.** El tallo verdadero se ubica en la base del bulbo y constituye el punto de inserción de las yemas, hojas y raíces. Su tamaño es reducido, con una altura de entre 0.5 y 1.5 cm, y un diámetro que varía entre 1.5 y 2.0 cm (Moreira y Hurtado, 2003; Guenkov, 1974).

**Tallo falso.** El pseudotallo, o tallo falso, está conformado por la base envainante de las hojas. Las hojas emergen de manera sucesiva a través de las vainas de las hojas previamente desarrolladas, formando una estructura compacta que cumple funciones de soporte (Guenkov, 1974).

**Tallo floral.** El tallo floral es de color verde, presenta una estructura hueca y se caracteriza por un ensanchamiento en su parte media. Su altura varía entre 1 y 2 metros, dependiendo de las condiciones de cultivo (Guenkov, 1974).

**Hojas.** La primera hoja verdadera emerge entre los 15 y 20 días después de la siembra. A partir de ese momento, nuevas hojas se desarrollan en intervalos de

7 a 10 días, alcanzando un total de entre 13 y 18 hojas al momento en que inicia la formación del bulbo (Miguel y López, 1987).

**Inflorescencia y flor.** La cebolla desarrolla una inflorescencia en forma de umbela, en la que los pedicelos, de longitud casi uniforme, emergen de un punto común. Cada umbela puede contener entre 200 y 1,000 flores (Guenkov, 1974).

**Bulbo.** El bulbo constituye el órgano de reserva de la planta, donde se acumulan carbohidratos. Su desarrollo está regulado por factores como el fotoperiodo, la temperatura, el tamaño de la planta y el suministro de fertilizantes nitrogenados (Miguel y López, 1987).

### **Clasificación Taxonómica**

Según Pinzón Ramírez (1996), la planta de cebolla se clasifica taxonómicamente como sigue:

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la cebolla (*Allium cepa* L.)

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Tracheophyta (plantas vasculares)
Clase	Liliopsida (monocotiledóneas)
Orden	Asparagales
Familia	Amaryllidaceae
Sub-familia	Allioideae
Genero	<i>Allium</i>
Especie	<i>Allium cepa</i> L.

### **FENOLOGÍA DEL CULTIVO**

La cebolla es una planta bienal que completa su desarrollo vegetativo en el primer año y, si se deja intacta, puede florecer al siguiente bajo condiciones favorables (Lee *et al.*, 2013). Tras la siembra, la semilla o bulbo inicia la germinación y el desarrollo foliar, fase en la que se forman y expanden las hojas verdaderas. Durante esta fase juvenil, la planta adquiere la competencia para responder a

señales ambientales, especialmente la duración del día, que es crucial para el engrosamiento del bulbo (bulbing). Estudios realizados bajo condiciones de días largos (~17 h de luz) demostraron que la cebolla no inicia el bulbo en días cortos (<11 h) y que conforme se alargan las horas de luz, el diámetro del bulbo aumenta progresivamente (Atif *et al.*, 2020).

Durante el bulbing, la planta acumula reservas en forma de almidón y otros solutos en las escamas del bulbo. El proceso se prolonga entre 12 y 18 semanas desde la siembra en condiciones de campo templado, momento en el cual el bulbo alcanza su tamaño comercial y se inicia el endurecimiento superficial de las escamas. Posteriormente, durante la senescencia, las hojas se marchitan y se seca la parte aérea, preludio de la cosecha. Si se deja en el campo durante el segundo ciclo, el bulbo actúa como órgano de almacenamiento y brota un escapo floral que enraíza hasta producir semillas, completando el ciclo bienal (Atif *et al.*, 2020).

Según Pangestuti *et al.* (2022), la fenología del cultivo puede también describirse mediante una escala numérica, adaptada del sistema BBCH para vegetales bulbosos. Esta escala abarca: fase 0, germinación; fase 1, desarrollo foliar; fase 2, formación del pseudotallo o túnica basal; fase 4, engrosamiento del bulbo; y fase 9, senescencia y maduración fisiológica. La adopción de esta codificación fenológica facilita el manejo agronómico, permitiendo sincronizar eventos críticos como fertirriego, control de malezas y cosecha.

## **COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CEBOLLA**

Según Bhattacharjee *et al.* (2013), la cebolla es un cultivo rico en agua, compuestos nitrogenados, carbohidratos y una variedad de nutrientes esenciales y fitoquímicos. Un estudio comparativo realizado en dos variedades de cebolla procedentes de Bangladesh e India reportó un contenido de humedad de 82.8–83.0 %, carbohidratos totales de 14.1–14.8 %, azúcares totales entre 2.3–4.7 %, proteína de 1.49–2.62 %, grasa de 0.40–0.72 %, y vitaminas como la vitamina C (5.7–6.5 mg/100 g). En cuanto a minerales, se cuantificaron los niveles de calcio (25.7–46.9 mg/100 g), fósforo (30.3–50.6 mg/100 g) y potasio (129–140 mg/100 g).

Asimismo, mencionan que además de nutrientes básicos, la cebolla es fuente de bioactivos, principalmente compuestos organosulfurados, flavonoides y polisacáridos. Entre los compuestos organosulfurados, destacan la alicina, la dialil disulfuro y la dialil trisulfuro. En el apartado de flavonoides, destacan la quercetina, fisetina y glucósidos como la quercetina. Estas moléculas se han relacionado con propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias y anticancerígenas.

## **MANEJO Y REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO**

El manejo agronómico del cultivo de cebolla implica una integración precisa de prácticas de plantación, nutrición, irrigación, espaciamiento, rotación de cultivos y control fitosanitario. En cuanto a la densidad de siembra, las poblaciones óptimas oscilan entre 300 000 y 400 000 plantas/ha, con distancias comunes de 10–15 cm entre plantas y 25–30 cm entre hileras; una revisión de agronomía etíope muestra que el espaciamiento influye notablemente en el rendimiento y tamaño de bulbo (Arunachalam *et al.*, 2024).

### **Requerimientos edáficos**

Los suelos más adecuados para el cultivo de cebolla son aquellos con buena estructura y alto contenido de materia orgánica. Se prefieren los suelos de textura ligera, como los arenosos, limosos y franco-limosos, debido a su capacidad para facilitar el desarrollo del bulbo y evitar problemas de encharcamiento. El rango óptimo de pH se sitúa entre 6.4 y 7.9, ya que la especie muestra poca tolerancia a la acidez. Además, se recomienda que el perfil del suelo conserve una adecuada retención de humedad en los primeros 15 a 25 cm de profundidad. Por otro lado, se sugiere establecer una rotación de cultivos que evite sembrar cebolla en el mismo terreno en intervalos menores a tres años, ya que los mejores rendimientos se obtienen en suelos donde no se ha cultivado cebolla previamente (Soria, 1993).

### **Requerimientos hídricos**

El consumo hídrico de la cebolla varía a lo largo de su ciclo fenológico. En un estudio realizado por López y Dennett (2007), considerando tanto la

evapotranspiración del cultivo como la evaporación del agua aplicada mediante riego, establecieron el uso de agua por etapa como se presenta a continuación:

**Tabla 2.** Lámina de riego por hectárea de acuerdo a la etapa del cultivo.

Etapa del cultivo	Duración (días)	Uso total de agua (mm)	Uso diario (mm día <sup>-1</sup> )	Observaciones
Inicial	29	83.9	2.9	Mantener humedad constante para asegurar una germinación uniforme.
Desarrollo	32	132.1	4.1	Suministro adecuado de agua para promover un crecimiento vigoroso.
Formación del bulbo	24	102.2	4.3	Etapa crítica; deficiencia hídrica afecta tamaño y calidad del bulbo.
Maduración	14	40.2	2.9	Reducir gradualmente el riego para facilitar la maduración y almacenamiento.
Total estimado	99	343.3	3.5	Varía según condiciones climáticas y tipo de suelo.

### Requerimientos climáticos

La cebolla es una hortaliza bianual que se adapta a climas templados a fríos. En México, su cultivo puede realizarse a lo largo de todo el año, gracias a su tolerancia a bajas temperaturas. En etapa adulta, la planta puede resistir hasta -5 °C sin sufrir daños severos (Jones y Mann, 1963). La germinación de las semillas

puede iniciarse a temperaturas de entre 2 y 3 °C, aunque el proceso ocurre de manera muy lenta bajo estas condiciones (Guenkov, 1974).

La temperatura óptima para una germinación eficiente se sitúa entre 18 y 25 °C durante un periodo de 7 a 10 días. Para el desarrollo foliar, las temperaturas más favorables oscilan entre 22 y 24 °C, aunque las plantas pueden tolerar hasta 33 °C sin comprometer significativamente su crecimiento (Casseres, 1984). Según Marroquín (2014), el rango térmico ideal para el desarrollo general de la planta se encuentra entre los 12 y 24 °C, condiciones que también favorecen la formación y engrosamiento del bulbo.

### **Requerimientos nutricionales**

Según Medina Jiménez (2014), el cultivo de cebolla bajo sistema de fertirriego presenta requerimientos nutricionales específicos que deben ser cubiertos de manera equilibrada para alcanzar un desarrollo óptimo y una producción de calidad. Las necesidades por ciclo en campo definitivo se estiman en 145 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (N), 60 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo en forma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 kg ha<sup>-1</sup> de potasio como K<sub>2</sub>O, y 350 kg ha<sup>-1</sup> de óxido de calcio (CaO).

Estos nutrientes deben aplicarse de forma fraccionada a lo largo del ciclo del cultivo, distribuyéndose en un 25 % durante el primer tercio del ciclo, 50 % en el segundo tercio y 25 % en el último. Esta estrategia busca adaptar el suministro nutrimental a las exigencias fisiológicas de la planta, particularmente durante la fase de formación del bulbo, que es cuando se observa la mayor demanda de nutrientes.

Además, Medina Jiménez (2014) recomienda realizar una fertilización de fondo previa al trasplante, con la finalidad de establecer condiciones favorables en el perfil del suelo desde las etapas iniciales del cultivo. Las dosis sugeridas incluyen 1,000 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato cálcico, 400 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato de cal, 150 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato potásico y 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato amónico. Estos fertilizantes aportan elementos clave como calcio, fósforo, potasio y nitrógeno, que contribuyen al establecimiento y vigor inicial de las plantas.

## PLAGAS Y ENFERMEDADES

Las plagas más relevantes que afectan a la cebolla incluyen *Thrips tabaci*, que ataca hojas y bulbos e incluso *vectoriza tospovirus*; es considerada clave en diversas regiones debido a su alta fecundidad y daño directo, requiriendo programas integrados de protección vegetal con variedades resistentes e insecticidas específicos (Olczyk *et al.*, 2023). Degani & Kalman (201) mencionan que entre las enfermedades fúngicas, la podredumbre basal causada por *Fusarium* spp., especialmente *F. oxysporum* f. sp. *cepae*, representa una amenaza global; su control se basa en rotación mínima de cuatro años, desinfección de suelo con metam-sodium y el uso de fungicidas como Prochloraz o mezclas (Azoxystrobin + Tebuconazole).

La antracnosis o “twister disease”, atribuida a *Colletotrichum gloeosporioides*, provoca deformación de cuello de tallo y bulbo bajo condiciones cálidas y húmedas; su manejo integrado incluye el uso de variedades resistentes, semilla sana, tratamiento con *Trichoderma* o compost enriquecido, y fungicidas como alternativas culturales, biológicas y químicas (Dutta *et al.*, 2022).

Otra enfermedad crítica es el mildiu vellosa causado por *Peronospora destructor*, patógeno persistente en suelos y residuos; su desarrollo es favorecido por ambientes fríos y húmedos, y el control se basa en rotación de cultivos ( $\geq 3$  años), tratamiento térmico de bulbos de siembra y fungicidas sistémicos aplicados al follaje (Develash & Sugha, 1997). Entre los nematodos, *Ditylenchus dipsaci* (nematodo del tallo y bulbo) induce malformaciones, hinchazón y facilita infecciones secundarias; persiste en semillas y residuos por años, y se controla mediante desinfección de semilla, rotación, y fumigación (Brinkman & Teklu, 2021). Finalmente, en poscosecha, la podredumbre de cuello por *Botrytis allii* degrada los tejidos del cuello y bulbo, reduciendo la vida de anaquel; se controla mediante curado rápido a  $\sim 30$  °C, tratamiento de semillas, manejo de nitrógeno y rotación (Steentjes *et al.*, 2021).

## **BIOFERTILIZANTES**

Los biofertilizantes son productos biológicos que contienen microorganismos vivos capaces de mejorar la disponibilidad de nutrientes en las plantas mediante procesos naturales, sin recurrir a fertilizantes químicos sintéticos (Daniel *et al.*, 2022; Ibáñez *et al.*, 2023). Su acción se basa en la interacción simbiótica con las plantas y la activación de mecanismos como la fijación de nitrógeno y la solubilización de fósforo y potasio. Además, promueven la salud del suelo al restaurar su biodiversidad microbiana y mejorar propiedades físicas como la porosidad, retención de agua y capacidad de intercambio catiónico (Demir *et al.*, 2023; Dzvene & Chiduzo, 2024).

El uso de biofertilizantes representa una alternativa sustentable ante la creciente dependencia de fertilizantes químicos, ayudando a mitigar problemas como la contaminación por nitratos y el deterioro del suelo. Su aplicación se vuelve especialmente relevante frente a los desafíos del cambio climático, al fortalecer la resiliencia de los cultivos a condiciones adversas como la sequía y la salinidad (Daniel *et al.*, 2022; Nosheen *et al.*, 2021).

### **Residuos de champiñón como biofertilizante**

Los residuos del cultivo de champiñón, comúnmente conocidos como sustrato gastado de hongos, son una fuente valiosa de materia orgánica, nutrientes y microorganismos útiles para la agricultura sostenible. Estudios especializados señalan que este tipo de sustrato posee un contenido significativo de nitrógeno, fósforo y potasio, además de una rica carga microbiológica, lo que contribuye a mejorar la calidad del suelo y su capacidad para sostener el crecimiento de las plantas (Baptista *et al.*, 2023). Tras compostarse o transformarse en biochar, este residuo promueve el crecimiento vegetal, aumenta el rendimiento de cultivos hortícolas y tiene potencial de supresión de enfermedades del suelo, todo ello gracias a su impacto positivo en la microbiota edáfica y su aporte de nutrientes orgánicos.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **CARACTERIZACIÓN DEL BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO DE CHAMPIÑÓN**

El contenido de humedad del extracto se determinó mediante deshidratación térmica en una estufa de secado a 80 °C hasta peso constante. Posteriormente, la materia seca obtenida fue calcinada en una mufla (Thermo Scientific Lindberg/Blue) a 600 °C durante 4 horas. Las cenizas resultantes se trataron con 5 mL de HCl al 20% y el volumen se ajustó a 50 mL con agua desionizada. Esta solución se utilizó para la cuantificación de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y sodio (Na) mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) en un equipo Thermo Scientific iCAP 7400 Duo (USA). Todos los análisis se realizaron por quintuplicado.

### **UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO**

El presente estudio se llevó a cabo en condiciones de campo abierto en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25°21'22.52" N, 101°2'9.88" O; 1760 m s. n. m.). El experimento se realizó en un suelo de textura franco-arcillosa durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2024.

### **MATERIAL VEGETAL**

Se emplearon plántulas de cebolla (*Allium cepa* L.), producidas previamente en camas de siembra bajo condiciones de invernadero. El trasplante se efectuó el 26 de abril, estableciendo las plantas en un arreglo de cuatro hileras con una separación de 0.1 m entre plantas y entre hileras. Las camas de cultivo tenían 40 m de longitud y una separación de 1.6 m entre ellas.

### **SISTEMA DE RIEGO**

El riego se realizó mediante el sistema de goteo, con emisores colocados cada 0.2 m y un caudal de 1.02 L h<sup>-1</sup>. La lámina de riego aplicada fue de 15,300 mm ha<sup>-1</sup>, con frecuencia de aplicación cada tercer día. Durante la aplicación de los últimos 1,275 mm ha<sup>-1</sup> de riego, se suministró una solución nutritiva específica para el cultivo

de cebolla, a fin de garantizar una adecuada disponibilidad de nutrientes para el desarrollo del cultivo.

## DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar (BCA) con cuatro bloques y tres tratamientos. Cada unidad experimental correspondió a una cama de cultivo de 40 m de longitud, subdividida en cuatro sub-repeticiones de 10 m cada una. Los tratamientos, como se muestra en la Tabla 3, consistieron en la aplicación de un extracto de residuos de champiñón (champiñonaza) en dos dosis. La aplicación se realizó semanalmente a través del sistema de riego, iniciando una semana después del trasplante. Además, se incluyó un tratamiento testigo sin aplicación de biofertilizante líquido de champiñón. El extracto fue proporcionado por el Departamento de Parasitología de la UAAAN.

**Tabla 3.** Descripción de los tratamientos utilizados.

Tratamiento	Descripción
T0	Testigo sin aplicación de biofertilizante
T1	1 L ha <sup>-1</sup> de biofertilizante líquido de champiñón
T2	2 L ha <sup>-1</sup> de biofertilizante líquido de champiñón

## VARIABLES EVALUADAS

A partir de la primera semana de aplicación de los tratamientos, se realizaron mediciones de crecimiento en las plantas. La altura de la planta se midió desde el punto de unión entre el bulbo y las hojas hasta la extremidad superior de la hoja más desarrollada, utilizando un flexómetro. El diámetro del tallo se midió en la zona de transición entre el bulbo y las hojas, con un vernier digital. Las mediciones se realizaron a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante (ddt). A partir de estos datos, se calculó la tasa relativa de crecimiento (TRC) mediante la ecuación de Youssef (2002):

$$TRC = \frac{\ln C_2 - \ln C_1}{t_2 - t_1}$$

donde  $C_1$  y  $C_2$  representan la altura de la planta y el diámetro del tallo en dos momentos consecutivos, mientras que  $t_1$  y  $t_2$  corresponden a los tiempos de medición.

La cosecha se efectuó a los 115 ddt, seleccionando 1 metro lineal por sub-repetición (40 plantas). Los bulbos cosechados se clasificaron de acuerdo con el tamaño, siguiendo los criterios de Shock *et al.* (2003) (Tabla 4), y se contabilizaron manualmente. Posteriormente, se pesaron en conjunto utilizando una balanza digital y se calculó el peso promedio por bulbo (PPB). El rendimiento total y la proporción de cada calibre se estimaron dividiendo el número de bulbos por calibre entre el total de bulbos cosechados (40). Además, se seleccionaron tres bulbos de la categoría Jumbo para el conteo de capas y la determinación de sólidos solubles totales (SST) mediante un refractómetro digital (Sper Scientific, modelo 300054).

**Tabla 4.** Distribución de calibres de bulbos de cebolla según criterios de tamaño (Shock *et al.*, 2003).

Clasificación	Tamaño
Pequeña	< 2 ¼"
Mediana	2 ¼" – 3"
Jumbo	3" – 4"
Colosal	4" – 4 ¼"
Supercolosal	> 4 ¼"

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Las variables de crecimiento se analizaron mediante un análisis multivariado de medidas repetidas con la prueba de Hotelling, considerando las mediciones a los 15, 30, 45 y 60 ddt. Para la tasa relativa de crecimiento (TRC), se analizaron los intervalos 15-30, 30-45, 45-60 y 15-60 ddt. Se empleó la estadística de Wilks ( $p < 0.05$ ) para evaluar los efectos del tiempo y su interacción con los tratamientos.

Las variables de producción (número de capas y SST) se analizaron mediante un ANOVA de una vía. Cuando se detectaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), se aplicó la prueba LSD de Fisher para la comparación de medias. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software Infostat Ver. 2020 (Córdoba, Argentina). Las representaciones gráficas se generaron con el software PlotAI (OpenAI, 2025).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CARACTERIZACIÓN DEL BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO DE CHAMPIÑÓN

El extracto de residuos de champiñón utilizado en el estudio presentó un contenido de materia seca de 2.46%, lo que indica una baja proporción de sólidos en relación con su fase líquida. En la Tabla 5 se muestran las concentraciones de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y sodio (Na), expresadas en  $\text{mg kg}^{-1}$  de materia seca y  $\text{mg L}^{-1}$  de extracto.

**Tabla 5.** Concentración mineral del biofertilizante líquido a base de champiñón expresado en  $\text{mg kg}^{-1}$  de materia seca y  $\text{mg L}^{-1}$  de extracto.

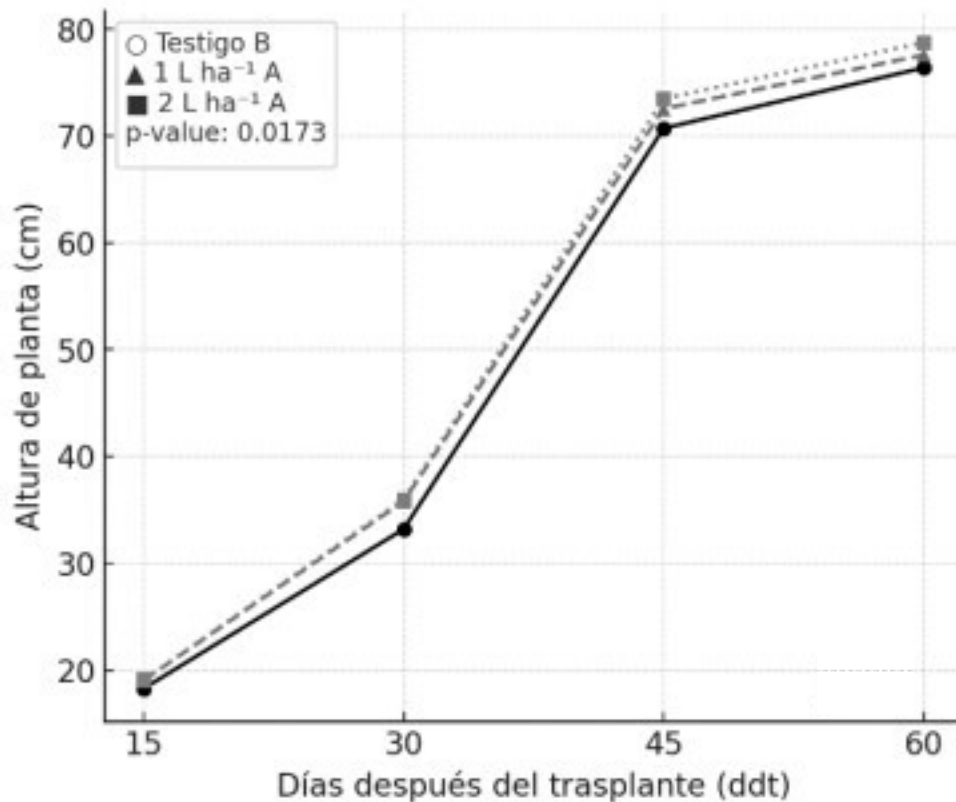
Elemento	$\text{mg kg}^{-1}$ materia seca	$\text{mg L}^{-1}$
K	1597.10	39.29
Ca	263.70	6.49
Mg	19.13	0.47
Fe	29.28	0.72
Cu	1.07	0.03
Zn	7.79	0.19
Mn	0.70	0.02
Na	123.70	3.04

La presencia de K en concentraciones relativamente altas ( $1597.10 \text{ mg kg}^{-1}$  de materia seca) es importante, ya que este elemento está asociado a procesos de elongación celular y crecimiento de tejidos, lo que podría explicar el incremento observado en algunas variables de crecimiento de las plantas de cebolla (Prajapati & Modi, 2012). Sin embargo, la baja concentración de Ca y Mg podría haber limitado el impacto del extracto en aspectos estructurales, como el engrosamiento del tallo. La baja materia seca del extracto (2.46%) sugiere que su aporte sostenido de nutrientes es limitado, lo que coincide con el comportamiento transitorio observado en algunas variables de crecimiento y rendimiento.

## CRECIMIENTO DE LA PLANTA

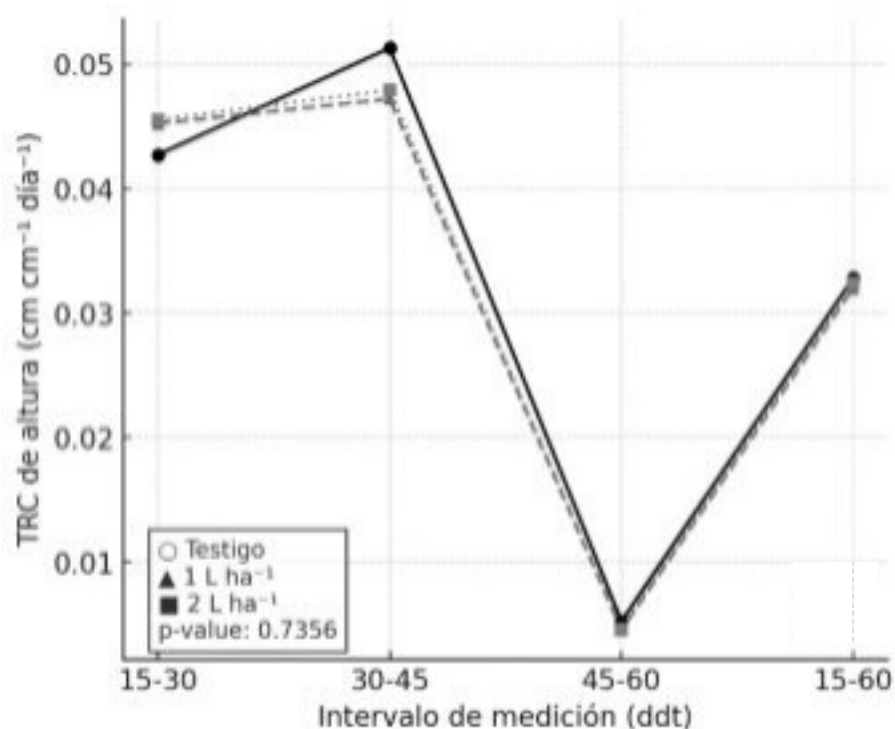
### Altura

La Figura 1 muestra la evolución de la altura de las plantas de cebolla a lo largo del experimento. El análisis de medidas repetidas reveló un efecto significativo del tiempo y diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0.0173$ ). En términos acumulados, las plantas tratadas con  $1 \text{ L ha}^{-1}$  y  $2 \text{ L ha}^{-1}$  de extracto de champiñonaza presentaron valores de altura superiores (204.98 cm y 207.3 cm, respectivamente) en comparación con el testigo (198.57 cm), representando incrementos de 3.23% y 4.40%, respectivamente. No obstante, en la última evaluación (60 ddt), estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p = 0.7725$ ). En este momento del ciclo, las plantas del testigo alcanzaron una altura promedio de  $76.38 \pm 2.63 \text{ cm}$ , mientras que los tratamientos con  $1 \text{ L ha}^{-1}$  y  $2 \text{ L ha}^{-1}$  registraron valores de  $77.58 \pm 2.84 \text{ cm}$  y  $78.75 \pm 2.57 \text{ cm}$ , respectivamente.



**Figura 1.** Altura de la planta de cebolla a través del tiempo, con la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón.

Este patrón sugiere que la aplicación de champiñonaza favoreció inicialmente la elongación de la planta, probablemente debido al aporte de K y otros nutrientes esenciales. Sin embargo, el bajo contenido de Ca y Mg y la limitada materia seca del extracto podrían haber impedido que este efecto se mantuviera en las etapas finales del ciclo. Esto es consistente con estudios sobre biofertilizantes orgánicos, donde un incremento inicial en la altura de la planta suele asociarse a una mejora transitoria en la disponibilidad de nutrientes.



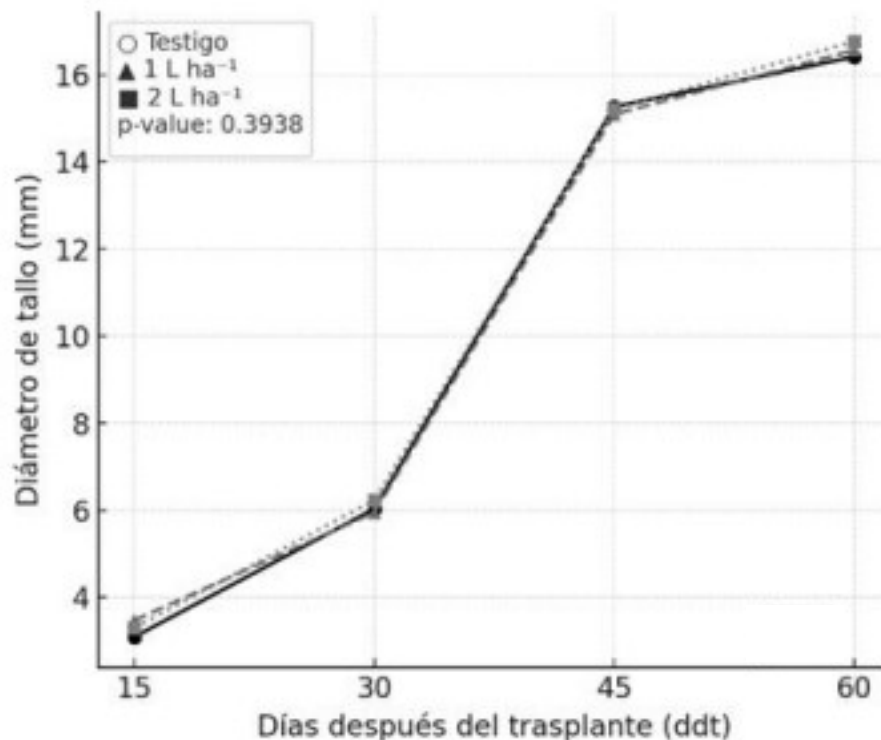
**Figura 2. Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) de la altura de la planta de cebolla a través del tiempo, con la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón.**

La TRC de la altura de la planta presentó valores más altos en las primeras etapas del ciclo y disminuyó conforme avanzó el desarrollo del cultivo (Figura 2). No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0.7356$ ), lo que sugiere que el extracto de champiñonaza no alteró la dinámica natural de crecimiento. Este patrón decreciente es común en cultivos de cebolla, que suelen experimentar un crecimiento inicial rápido seguido de una fase de desaceleración.

En el intervalo 15-30 ddt, el tratamiento con 1 L ha<sup>-1</sup> mostró una ligera ventaja en la TRC, pero sin diferencias significativas respecto al testigo.

Gutiérrez-Benicio *et al.* (2025), al aplicar biofertilizantes a base de *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum brasilense*, y *Bacillus subtilis*, además de *Trichoderma* spp. reportaron valores superiores a los obtenidos en esta investigación (100.1 cm), superando en un 26% a cebollas no inoculadas. Al contrario de esta investigación, donde no se obtuvieron diferencias significativas.

El diámetro del tallo mostró un incremento progresivo en todos los tratamientos a lo largo del ciclo (Figura 3). Sin embargo, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0.3938$ ). En la última evaluación, los diámetros promedio fueron 16.41 mm en el testigo, 16.56 mm en 1 L ha<sup>-1</sup> y 16.76 mm en 2 L ha<sup>-1</sup>, sin diferencias significativas.

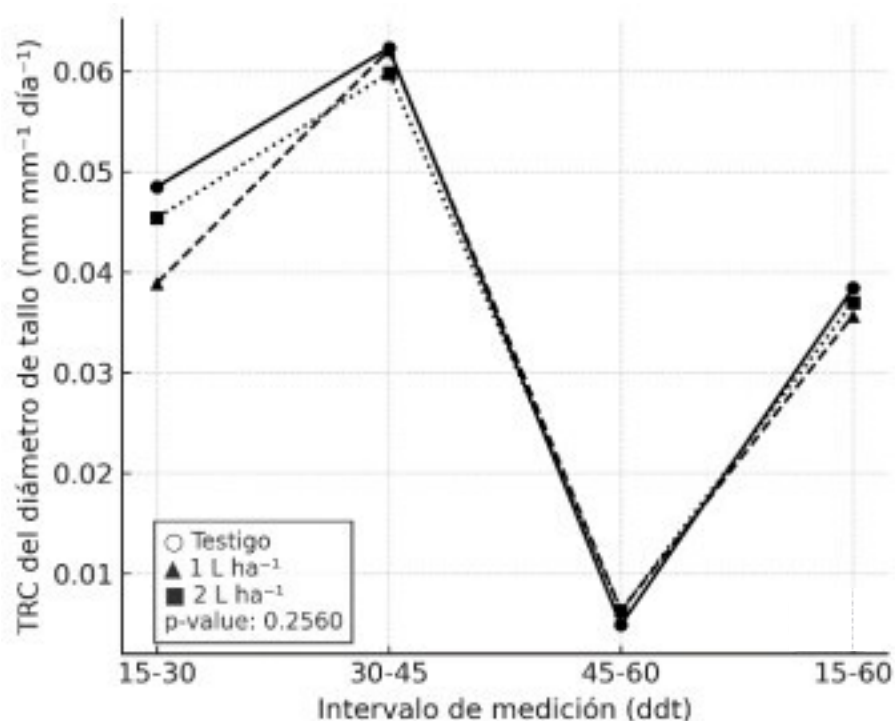


**Figura 3.** Diámetro del tallo de la planta de cebolla a través del tiempo, con la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón.

Este resultado indica que la champiñonaza no influyó directamente en el engrosamiento del tallo, lo cual podría atribuirse a la baja concentración de Ca y

Mg, elementos esenciales para el fortalecimiento estructural de las plantas (Alcock *et al.*, 2017). Además, las posibles sustancias bio-activas presentes en los residuos de hongos podrían no haber alcanzado concentraciones suficientes para impactar esta variable.

En el caso de la TRC del diámetro de tallo (Figura 4), se detectó una diferencia significativa entre tratamientos en el intervalo 15-30 ddt ( $p = 0.0454$ ), donde el tratamiento con  $1 \text{ L ha}^{-1}$  presentó un valor 19.79% menor que el testigo. Este resultado podría deberse a una posible competencia nutricional o a un efecto osmótico transitorio tras la aplicación del extracto, que habría limitado la expansión celular del tallo en las primeras etapas. En el resto de los intervalos y en el promedio acumulado, no se encontraron diferencias significativas.



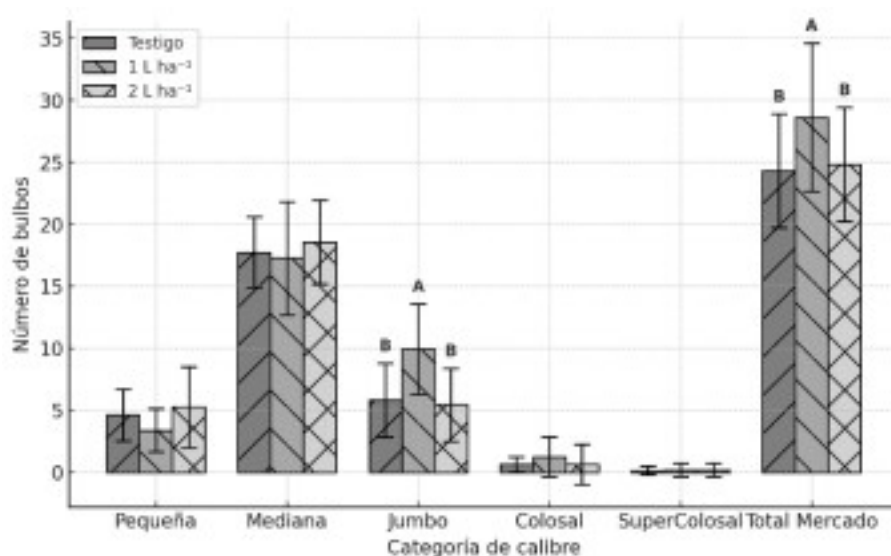
**Figura 4.** Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) del diámetro del tallo de la planta de cebolla a través del tiempo, con la aplicación de biofertilizante líquido a base de champiñón.

Los resultados obtenidos en esta investigación, son significativamente menores a los encontrados por Kashash *et al.* (2024), quienes al aplicar ácidos

húmicos incrementaron el diámetro hasta en un 30% respecto al testigo, cuyo valor fue de 25 mm.

## PRODUCCIÓN Y CALIDAD

El análisis del número de bulbos por categoría de calibre (Figura 5) mostró que el tratamiento con 1 L ha<sup>-1</sup> presentó un incremento del 71.08% en la categoría Jumbo (9.94 bulbos m<sup>-1</sup>) en comparación con el testigo (5.81 bulbos m<sup>-1</sup>,  $p < 0.0001$ ). Este resultado destaca la capacidad de la champiñonaza, a dosis moderadas, para mejorar la producción de bulbos grandes, que son clave para la comercialización del cultivo. En contraste, la dosis más alta (2 L ha<sup>-1</sup>) no mostró diferencias significativas con el testigo, lo que podría estar asociado a un posible desbalance en la absorción de nutrientes o a efectos osmóticos adversos en el suelo.



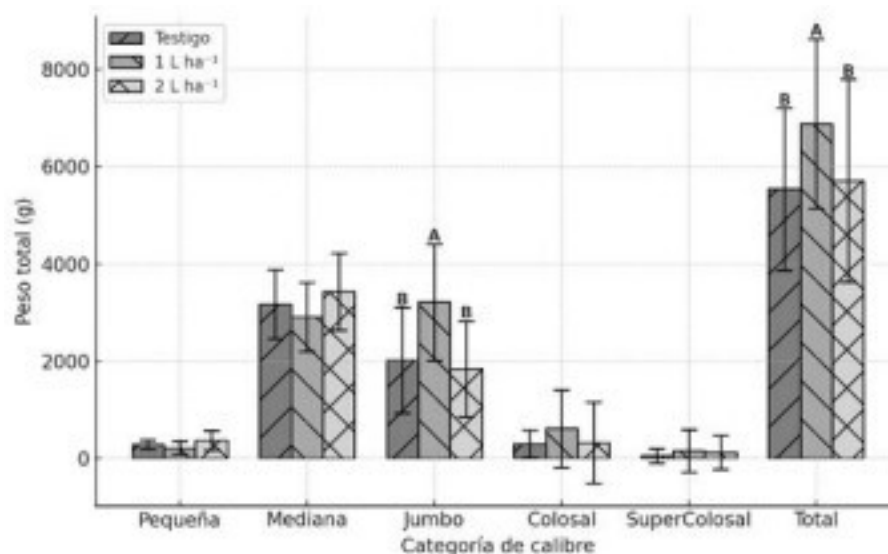
**Figura 5.** Número promedio de bulbos por metro lineal por categoría de calibre en función de los tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación de medias LSD de Fisher ( $p < 0.05$ ).

El índice de mercado, que incluye los bulbos de calibre comercializable, también aumentó significativamente con 1 L ha<sup>-1</sup> (17.77% más que el testigo,  $p = 0.0219$ ). Este hallazgo refuerza el potencial de la champiñonaza para mejorar la calidad comercial del cultivo, aunque la dosis más alta no generó beneficios adicionales.

Petrovic *et al.*, (2019), al aplicar biofertilizantes comerciales a base de *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Chlorella vulgaris* y *Herbaspirillum* no incrementaron los calibres de la cebolla a comparación del testigo sin inoculación, donde el calibre más predominante fue el “mediana”, lo que coincide con nuestra investigación.

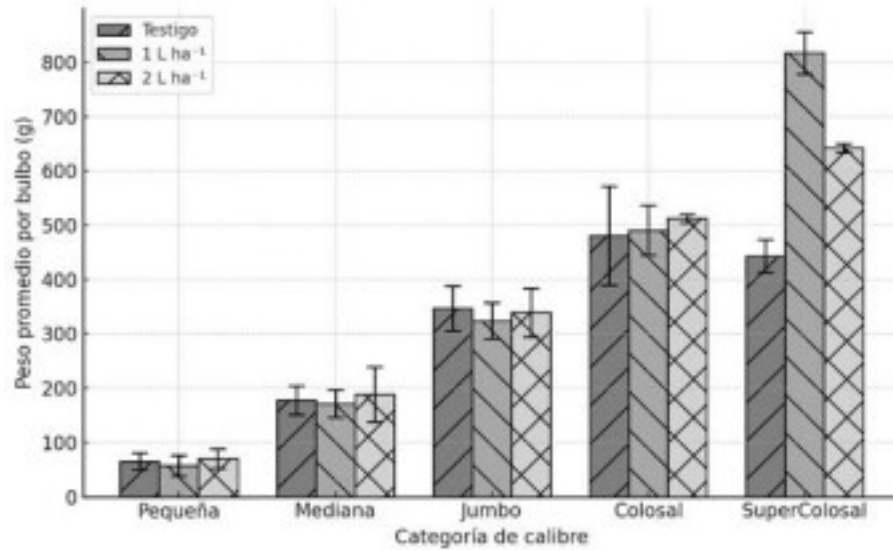
### Peso total y promedio

El peso total de bulbos por metro lineal (Figura 6) también aumentó significativamente con 1 L ha<sup>-1</sup>, alcanzando un incremento del 24.29% respecto al testigo ( $p = 0.0343$ ). Sin embargo, nuevamente, la dosis de 2 L ha<sup>-1</sup> no mostró diferencias con el testigo. Estos resultados sugieren que una dosis moderada de champiñonaza optimiza la producción, mientras que una dosis más alta podría causar un desequilibrio nutricional que impida una respuesta positiva.



**Figura 6.** Peso total de bulbos en cada categoría de calibre en función de los tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación de medias LSD de Fisher ( $p > 0.05$ ).

En cuanto al peso promedio por bulbo (Figura 7), no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ), aunque se identificó una tendencia hacia valores más altos con la dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> (22.86% más que el testigo). Esta ausencia de significancia estadística podría atribuirse a la alta variabilidad natural en la formación de bulbos de cebolla.

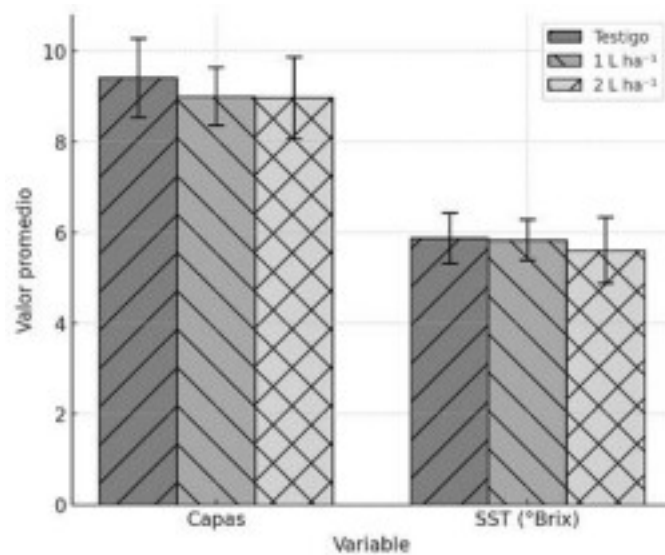


**Figura 7.** *Peso promedio por bulbo en cada categoría de calibre bajo los diferentes tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación de medias LSD de Fisher ( $p > 0.05$ ).*

Gutierrez-Benicio *et al.*, (2025), con las condiciones previamente descritas, incrementaron el peso del bulbo hasta en un 36%, teniendo bulbos en promedio de 570 g, lo que se compara con los bulbos “supercolosal”, sin embargo, en esta investigación, fueron los frutos menos predominantes entre los distintos tratamientos.

### **Calidad del bulbo**

El número de capas y el contenido de sólidos solubles totales (SST, °Brix) (Figura 8) no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Esto indica que la champiñonaza no afectó la estructura interna del bulbo ni su calidad en términos de azúcares solubles, lo cual es favorable desde un punto de vista comercial. La ligera reducción observada en el número de capas en los tratamientos con champiñonaza podría relacionarse con una posible influencia osmótica, pero esto no fue estadísticamente significativo y no parece comprometer la calidad del producto final.



**Figura 8.** Número promedio de capas y contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en bulbos de cebolla bajo los diferentes tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación de medias ( $p > 0.05$ ).

Geries & Elsadamy (2020), al aplicar un extracto de *Spirulina platensis*, junto con cepas de *Pseudomonas stutzeri*, incrementaron los sólidos solubles totales en comparación de una fertilización sin biofertilizantes, sin embargo, los resultados obtenidos en su investigación, duplican a los obtenidos en el presente estudio.

## CONCLUSIÓN

El presente estudio demostró que la aplicación de un biofertilizante líquido a base de champiñón (champiñonaza) en dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> favoreció el crecimiento y rendimiento del cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) bajo condiciones de campo abierto. En particular, se observó un incremento en la altura de las plantas y un aumento significativo en el número de bulbos de calibre Jumbo, así como en el peso total de bulbos por metro lineal, en comparación con el testigo sin aplicación. Estos resultados evidencian el potencial de la champiñonaza como biofertilizante para mejorar ciertos parámetros productivos, contribuyendo a una mayor rentabilidad del cultivo.

Sin embargo, la dosis más alta (2 L ha<sup>-1</sup>) no mostró beneficios adicionales y, en algunos casos, presentó resultados similares al testigo, lo que sugiere que un incremento excesivo en la concentración del biofertilizante podría generar efectos adversos o no aportar beneficios agronómicos significativos. Este hallazgo señala la importancia de optimizar las dosis de aplicación para maximizar la respuesta del cultivo y evitar posibles desequilibrios nutricionales.

Por lo anterior el biofertilizante líquido a base de champiñonaza, aplicado a dosis moderadas (1 L ha<sup>-1</sup>), constituye una alternativa viable y sostenible para mejorar la producción de cebolla, sin comprometer su calidad comercial. No obstante, se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar su interacción con otros nutrientes del suelo y su efecto a largo plazo en la fertilidad edáfica, así como su potencial integración en programas de fertilización integrada.

## BIBLIOGRAFIA

- Alcock, T. D., Havlickova, L., He, Z., Bancroft, I., White, P. J., Broadley, M. R., & Graham, N. S. (2017). Identification of candidate genes for calcium and magnesium accumulation in *Brassica napus* L. by association genetics. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1968.
- Arunachalam, T., Gade, K., Mahadule, P. A., Soumia, P. S., Govindasamy, V., Gawande, S. J., & Mahajan, V. (2024). Optimizing plant growth, nutrient uptake, and yield of onion through the application of phosphorus solubilizing bacteria and endophytic fungi. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1442912.
- Atif, M. J., Ahanger, M. A., Amin, B., Ghani, M. I., Ali, M., & Cheng, Z. (2020). Mechanism of Allium Crops Bulb Enlargement in Response to Photoperiod: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1325.
- Baptista, F., Almeida, M., Paié-Ribeiro, J., Barros, A. N., & Rodrigues, M. (2023). Unlocking the potential of spent mushroom substrate (SMS) for enhanced agricultural sustainability: from environmental benefits to poultry nutrition. *Life*, 13(10), 1948.
- Bhattacharjee, S., Sultana, A., Sazzad, M. H., Islam, M. A., Ahtashom, M., & Asaduzzaman, M. (2013). Analysis of the proximate composition and energy values of two varieties of onion (*Allium cepa* L.) bulbs of different origin: A comparative study. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2(5), 246-253.
- Brinkman, P., & Teklu, M. G. (2021). Integrated nematode management of *Ditylenchus dipsaci* in onion: a nematode in a world all on its own. In *Integrated nematode management: state-of-the-art and visions for the future* (pp. 297-303). Wallingford UK: CABI.
- Casseres, E., 1984. Producción de Hortalizas Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José Costa Rica.

- Daniel, Al, Fadaka, AO, Gokul, A., Bakare, OO, Aina, O., Fisher, S. & Klein, A. (2022). Biofertilizantes: el futuro de la seguridad alimentaria y la inocuidad de los alimentos. *Microorganismos*, 10 (6), 1220.
- Develash, R. K., & Sugha, S. K. (1997). Management of downy mildew (*Peronospora destructor*) of onion (*Allium cepa*). *Crop Protection*, 16(1), 63-67.
- Dutta, R., K., J., Nadig, S. M., Manjunathagowda, D. C., Gurav, V. S., & Singh, M. (2022). Anthracnose of Onion (*Allium cepa* L.): A Twister Disease. *Pathogens*, 11(8), 884.
- Dzvene, A. R., & Chiduzza, C. (2024). Application of biofertilizers for enhancing beneficial microbiomes in push – pull cropping systems: A review. *Bacteria*, 3(4), 271–286. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040018>
- FAOSTAT. (2025). *Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)*. Crops and Livestock Products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Geries, L. S. M., & Elsadany, A. Y. (2020). Maximizing growth and productivity of onion (*Allium cepa* L.) by *Spirulina platensis* extract and nitrogen-fixing endophyte *Pseudomonas stutzeri*. *Archives of Microbiology*.
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1261-1274
- Guenkov, G. 1974. Fundamentos de la horticultura cubana. Ed. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 355p
- Guillamón, Enrique. (2018). Efecto de compuestos fitoquímicos del género *Allium* sobre el sistema inmune y la respuesta inflamatoria. *Ars Pharmaceutica*, 59(3), 185-196. <https://dx.doi.org/10.30827/ars.v59i3.7479>
- Gutiérrez-Benicio, G. M., Aguirre-Mancilla, C. L., Arreola-Tostado, J. M., & Aguado-Santacruz, G. A. (2025). Growth, Health, Quality, and Production of Onions (*Allium cepa* L.) Inoculated with Systemic Biological Products. *Microorganisms*, 13(4), 797. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13040797>

- Jones, H.A. y Mann L.K. (1993). *Onion and their Allies*. Leonard Hill Publisher. New York, USA.
- Kashash, N. J., Fadala, L. T., & Hassan, B. K. (2024). Response of onion plant (*Allium cepa*) to the addition of Bio-humic fertilizer and planting date on the productivity characteristics of bulb yield. *University of Thi-Qar Journal of agricultural research*, 13(2), 554-563.
- Kim, Y., Kim, S., & Kim, S. (2024). Onion (*Allium cepa*) profit maximization via ensemble learning-based framework for efficient nitrogen fertilizer use. *Agronomy*, 14(9), 2130. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092130>
- Lee R, Baldwin S, Kenel F, McCallum J, Macknight R. FLOWERING LOCUS T genes control onion bulb formation and flowering. *Nat Commun*. 2013;4:2884.
- Leoni, C. (2023). Rotaciones hortícolas y su contribución al manejo de enfermedades de suelo. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Aportes científicos y tecnológicos del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria* INIA, 91-110. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17101/1/Leoni-C.-Capitulo-4.pdf>
- López Urquídez, Guadalupe Alfonso, Gastélum González, Santos Antonio, Díaz Valdés, Tomás, Ayala Tafoya, Felipe, Madueño Martínez, Jesús Ignacio, & López Orona, Carlos Alfonso. (2017). Incremento del tamaño y peso del bulbo de cebolla (*Allium cepa* L.) por translocación de nutrientes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), 1647-1652.
- López, Jorge, & Dennett, Mike. (2007). Estimación del uso del agua en el cultivo de cebolla (*allium cepa* L.) En las condiciones de Quíbor, estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 19(3), 127-132.
- Marroquín-Pérez, R. (2014). Análisis de calidad de cebolla (*Allium cepa*) var. Cristal White cultivada con diferentes colores de acolchado plástico. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 50.

- Medina-Jiménez, F. (2014). Requerimientos hídricos y nutricionales de la cebolla. *Granja. Revista agropecuaria*.
- Miguel, G. A. y M. Lopez P. 1987. Cultivo de cebolla de día corto. *Serie de divulgación técnica N° 5*. Generalitat valenciana. Conselleria
- Moreira, A. y Hurtado, G., 2003. Cultivo de la cebolla. Guía técnica. Centro Nacional de Tecnología agropecuaria y forestal. El Salvador.
- Olczyk, M., Koschier, E. H., Wójtowicz, T., & Pobożniak, M. (2023). The Preference of Thrips *tabaci* for *Allium cepa*, *Allium fistulosum*, and *Allium roylei*. *Agriculture*, 13(10), 1862.
- OpenAI. (2025). PlotAI: Asistencia en análisis de datos y visualización gráfica. <https://openai.com>
- Pangestuti, R., Sulistyaningsih, E., Kurniasih, B., Murti, R. H., Harper, S., & Subandiyah, S. (2023). Phenological growth stage of tropical shallot (*Allium cepa* L. Aggregatum group) planted from seed in lowland area based on the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 182(2), 257-266.
- Petrovic, B., Kopta, T., & Pokluda, R. (2019). Effect of biofertilizers on yield and morphological parameters of onion cultivars. *Folia Horticulturae*, 31(1), 51-59.
- Prajapati, K., & Modi, H. A. (2012). The importance of potassium in plant growth—a review. *Indian journal of plant sciences*, 1(02-03), 177-186.
- SADER. (2021). *Gobierno de México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. Aporta México una de cada 50 toneladas de cebolla que se consumen en el mundo. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/aporta-mexico-una-de-cada-50-toneladas-de-cebolla-que-se-consumen-en-el-mundo>
- Shock, C. C., Feibert, E. B. G., & Saunders, L. D. (2003). Treatment of Onion Bulbs with “Surround” to Reduce Temperature and Bulb Sunscald. Malheur Experiment Station Annual Report, 40–47. <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/vq27zp54r#page=65>

- SIAP. (2025). *Producción agrícola por entidad federativa: Maíz grano*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap>
- Soria, F. M. (1993). Producción de hortalizas en la península de Yucatán. Colegio de investigación y graduados agropecuario: Instituto agropecuario No. 2. Yucatán, México. 303.
- Steenjtes, M. B., Scholten, O. E., & van Kan, J. A. (2021). Peeling the onion: Towards a better understanding of Botrytis diseases of onion. *Phytopathology*, 111(3), 464-473.
- Stevens, C. J. (2019). Nitrogen in the environment. *Science*, 363(6427), 578–580. <https://doi.org/10.1126/science.aav8215>
- Torres Gallo, N. A., Otero Meza, D. D., Salcedo Mendoza, J., & Hernández Ruydiaz, J. E. (2023). Valorización de residuos orgánicos para producir biofertilizantes: Revisión bibliométrica de tendencias y avances. En H. D. Hernández Navarro, J. L. Barboza, M. Gándara, N. E. Hernández Flórez, J. J. Aníbal Sierra, L. M. Meza-Cueto, & A. A. Arrieta Almario (Eds.), *Prácticas investigativas de jóvenes investigadores en Sucre, Colombia: Volumen 2*. Corporación Universitaria del Caribe – CECAR, 121–142. <https://doi.org/10.21892/9786287515413.6>
- Vallejo Cabrera, F. A., & Estrada Salazar, E. I. (2004). Producción de hortalizas de clima cálido. *Editorial UN*.
- Venâncio, J. B., Dias, N. da S., Medeiros, J. F. de, Moraes, P. L. D. de, Nascimento, C. W. A. do, Sousa Neto, O. N. de, Andrade, L. M. de, Pereira, K. T. O., Peixoto, T. D. C., Rocha, J. L. A., Ferreira Neto, M., & Sá, F. V. da S. (2022). Effect of salinity and silicon doses on onion post-harvest quality and shelf life. *Plants*, 11(20), 2788. <https://doi.org/10.3390/plants11202788>
- Youssef, T. (2002). Physiological responses of *Avicennia marina* seedlings to the phytotoxic effects of the water-soluble fraction of light Arabian crude oil. *The Environmentalist*, 22, 149–159. <https://doi.org/10.1023/A:1015385700669>