

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de Fósforo y de Aplicaciones Foliarias de Zinc en la Producción y Calidad Nutracéutica de Cebolla Var. Cambray Suprema Star.

Por:

**CHRISTIAN ALEXIS MICHACA LINARTE**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de Fósforo y de Aplicaciones Foliares de Zinc en la Producción y Calidad  
Nutracéutica de Cebolla Var. Cambray Suprema Star.

Por:

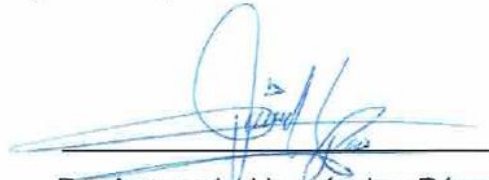
**CHRISTIAN ALEXIS MICHACA LINARTE**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Armando Hernández Pérez

Asesor Principal



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente

Coasesor



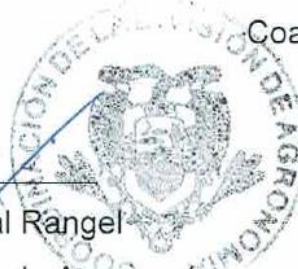
Dr. Valentín Robledo Torres

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2024

## DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.



Christian Alexis Michaca Linarte

## **AGRADECIMIENTOS.**

**A Dios**, por darme la vida, por darme amigos, compañeros y familia a lo largo de estos años, por permitir alcanzar mis metas poco a poco, por estar siempre cuidándome y guiándome.

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por abrirme sus puertas durante esta etapa de mi vida, por ser mi segunda casa, por darme tantas lecciones de vida que perduraran conmigo a lo largo de mi vida, además de me permitió cumplir mi sueño de poder obtener mi título profesional.

Al **Dr. Armando Hernández Pérez**, por convertirse en mi padre académico, además de ser mi amigo, mi maestro, un consejero, le agradezco infinitamente por su dedicación, su paciencia, sus palabras que son fundamentales para poder llegar hasta aquí. Gracias por guiarme a lo largo de este proyecto, que se queda conmigo a lo largo de toda mi vida.

Al **Dr. Marcelino Cabrera** por brindarme sus enseñanzas, sus consejos, por ser mi maestro y amigo, por ser parte de este proyecto.

A todos los docentes del Departamento de Horticultura y demás Departamentos que contribuyeron con sus enseñanzas y con sus consejos, a lo largo de mi formación profesional.

A **Diana Aguirre Alcázar** por ser mi compañera, por brindarme su apoyo desde el inicio de esta tesis hasta su finalización, por apoyándome en los momentos más complicados.

Agradezco a todos mis compañeros y en especial a mis amigos, Juan Carlos, Erik, Eduardo, Arturo, Josué, Edgar, José Noé, Gerardo, Lezly, Mishell y Fernando por brindarme su apoyo, su confianza, su lealtad y por las tantas historias vividas, siempre las llevare conmigo.

## DEDICATORIA.

**A Dios**, por permitirme obtener este logro y llegar tan lejos como el me lo permita, por protegerme y guiar mi sendero.

Este trabajo es con dedicación para **mi madre, la maestra Cristina Michaca Linarte**, por su amor incondicional y por siempre demostrármelo, por sus valiosos consejos y cada una de sus enseñanzas, por creer en mí, incluso en los momentos más difíciles y por ser el pilar fundamental para llegar hasta mis objetivos.

**A mis abuelos, el señor Sergio Michaca y la señora Catalina Linarte** por estar a mi lado en los días y noches más difíciles, por siempre ser mis guías y tenerlos como mis ejemplos, por cuidarme y apoyarme incondicionalmente en todos mis proyectos.

**A mi familia** por ser una pieza fundamental en mi vida, por demostrarme su estima y aprecio, por estar apoyándome desde el primer día en que nos conocimos, a Leónides, Isela, Leída, Lilibel, Sergio, Islem, Ángel e Ian por extenderme su mano y estar ahí cuando los necesito.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Hipótesis.....	3
2.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Historia y origen.....	4
2.2 Importancia económica y social.....	5
2.3 Clasificación y Descripción botánica.....	6
2.4 Requerimientos del cultivo.....	8
2.4.1 Suelo.....	8
2.4.2 Temperatura.....	8
2.4.3 Humedad.....	9
2.4.4 Luminosidad.....	9
2.4.5 Requerimientos hídricos.....	9
2.5 Cosecha.....	9
2.6 Fertilización.....	10
2.6.1 Nitrógeno (N).....	11
2.6.2 Fósforo (P).....	11
2.6.3 Potasio (K).....	12
2.7 Zinc (Zn).....	13
2.8. Aplicación foliar.....	13
3.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1 Localización del experimento.....	15
3.2 Instalación del experimento.....	15
3.3 Material vegetal.....	15

3.4 Tratamientos .....	15
3.5 Diseño experimental .....	16
3.6 Siembra.....	16
3.7 Labores culturales.....	17
3.8 Riego y fertilización .....	17
3.9 Control de plagas y enfermedades .....	18
3.10 Cosecha.....	18
3.11 Variables evaluadas.....	18
3.11.1 Diámetros de bulbos (cm).....	18
3.11.2 Peso de la cebolla (g) .....	18
3.11.3 Rendimiento (Kg m <sup>-2</sup> ).....	18
3.11.4 Quercetinas (mg 100g <sup>-1</sup> PF).....	18
3.11.5 Potencial Antioxidante (g 100g <sup>-1</sup> PF) .....	19
3.12 Análisis estadísticos.....	19
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Análisis de varianza .....	20
4.2 Diámetro de bulbos (cm).....	21
4.3 Peso de la cebolla (g) .....	22
4.4 Rendimiento (Kg m <sup>-2</sup> ) .....	23
4.5 Quercetina (mg 100g <sup>-1</sup> PF).....	24
4.6 Potencial antioxidante (g 100g <sup>-1</sup> PF) .....	26
5.- CONCLUSIONES .....	28
6.- LITERATURA CITADA.....	29

## ÍNDICE DE CUADROS.

**Cuadro 1.** Número del tratamiento con su dosis de fertilización a aplicar. .... 16

**Cuadro 2.** Efecto de la concentración de P y de Zn en el rendimiento y calidad nutracéutica de cebolla Var. Cambray Suprema Star. .... 21



## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1.</b> Efecto de la interacción entre P y Zn en el diámetro de bulbo de la cebolla Var. Cambray Suprema Star.....	22
<b>Figura 2.</b> Efecto de la interacción entre P y Zn en el peso de la cebolla Var. Cambray Suprema Star.....	23
<b>Figura 3.</b> Efecto de la interacción entre P y Zn en el rendimiento por metro cuadrado de la cebolla Var. Cambray Suprema Star. ....	24
<b>Figura 4.</b> Efecto de la interacción entre P y Zn en la quercetina obtenida en cebolla Var. Cambray Suprema Star.....	26
<b>Figura 5.</b> Efecto de la interacción entre P y Zn en el peso de la cebolla Var. Cambray Suprema Star.....	27

## RESUMEN.

El rendimiento, la calidad del producto y el contenido nutricional de los cultivos, dependen del suministro adecuado de nutrientes esenciales durante crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. El presente trabajo se realizó con la intención de determinar la interacción entre fósforo (P) y zinc (Zn) en la producción y la calidad nutracéutica en la cebolla Var. Cambray Suprema Star. Las plántulas fueron trasplantadas el día 25 de agosto del 2022. Se evaluaron dos concentraciones de P (20 y 40 ppm) y tres concentraciones de Zn (0, 300 y 600 ppm), mientras que, de la fertilización base fue de 130 ppm de nitrógeno (N) y 180 ppm de potasio (K). El diseño experimental empleado fue de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 3 x 2, dando como resultado seis tratamientos, con tres repeticiones por cada tratamiento. Se evaluó el diámetro del bulbo, peso del bulbo, rendimiento, y posteriormente evaluar en laboratorio la quercetina y el potencial antioxidante. La aplicación de 20 ppm de P en fertirrigación, incrementó el 6 % diámetro del bulbo, 13 % de peso de bulbo, 14 % de rendimiento, y 18 % de quercetina y 22 % de potencial antioxidante, en comparación a la aplicación de 40 ppm de P. Mientras que, con la aplicación de Zn a una concentración de 600 ppm vía foliar hubo incremento de 11 % en el diámetro del bulbo, 11 % de peso del bulbo, 13 % de rendimiento, y 65 % de quercetina en comparación con el testigo (0 ppm de Zn). A excepción del potencial antioxidante que se incrementó un 18 % con la aplicación de 300 ppm de Zn. No obstante, cuando se realizaron aplicaciones de 20 ppm de P y 600 ppm de Zn, incrementó en un 19 % el diámetro del bulbo, 30 % el peso del bulbo y el rendimiento, en comparación con la aplicación de 40 ppm de P y 0 ppm de Zn. Sin embargo la quercetina aumentó un 67 % con la aplicación de 40 ppm de P y 600 ppm de Zn en comparación de 20 ppm de P y 300 ppm de Zn. Así mismo, el potencial antioxidante incremento 56 % con la aplicación de 20 ppm de P y 300 ppm de Zn, en comparación con la misma cantidad de P pero con 600 ppm de Zn.

En conclusión la interacción de P y Zn a concentraciones adecuadas pueden incrementar los rendimientos de las diferentes variables.

**Palabras clave:** fósforo, zinc, interacción, rendimiento.

## 1.- INTRODUCCIÓN

Es una planta originaria probablemente de Asia, cuyo cultivo es conocido por el hombre desde hace varios milenios, siendo una hortaliza muy apreciada por los antiguos pobladores de la riberas mediterráneas, y en especial por las civilizaciones egipcia y caldea, que atribuían a la cebolla, además de su característica alimenticias normales, propiedades curativas e incluso mágicas.

La cebolla es una planta con un ciclo de 120 y 150 días, desarrolla un bulbo que constituye su parte comestible. El bulbo está formado por numerosas capas gruesas y carnosas al interior, que realizan las funciones de reserva de sustancias nutritivas necesarias para la alimentación de los brotes y están recubiertas de membranas secas, delgadas y transparentes, que son base de las hojas (Seguridad alimentaria: cultivando hortalizas, 2011).

Es un alimento tónico, diurético, digestivo, dotado de propiedades antirreumáticas y al parecer de un cierto poder afrodisiaco. Determinados componentes de la cebolla como los tiosulfatos son bactericidas, mientras que a los flavonoles en general y a la quercetina en particular (sustancias bastante abundantes en esta planta) que se le atribuye un papel importante en la prevención de enfermedades coronarias y cancerosas, y en la disminución de la acumulación de colesterol. Se aprovecha en fresco, en conserva, en encurtidos, en deshidratados y para extraer determinadas esencias como el propil-sulfóxido de cisteína, disulfuro de dipropilo, dimetiltiofeno, etc. (Maroto, 2002)

El fósforo (P) fue descubrió, en 1669, por el alquimista alemán, nacido en Hamburgo, Henning Brandt. Ya desde su descubrimiento tuvo que ver con la Nefrología, puesto que se obtuvo a partir de grandes cantidades de orina, que tras descomponerse durante largo tiempo fueron destiladas y al condensarse los vapores en agua se obtenía un producto blanco que en la oscuridad irradiaba luz. Por eso recibió un nombre tan hermoso phos phorus, que en griego significa «portador de luz» (Martínez y Saracho, 2009).

El P es el segundo nutrimento mineral en importancia en la agricultura nacional y mundial; la razón es porque el fósforo es un elemento muy reactivo en el suelo y rápidamente pasa a formas más complejas que son de difícil absorción para las plantas. En otras palabras, gran parte de la superficie agrícola mundial tiene un alto potencial de retención del fósforo. Por ejemplo, el fósforo es fuertemente enlazado a partículas del suelo o fijado en las partículas de la materia orgánica, lo que limita su disponibilidad para los cultivos. Por otra parte, el P activa y desactiva enzimas y proteínas, mediante la pérdida o ganancia de grupos fosfatos, con lo que controla parte de la actividad celular. Forma parte de las membranas celulares que aíslan y protegen a las células y sus organelos, sin las membranas los compartimentos celulares o las propias células no existirían (INTAGRI, 2017).

El zinc (Zn) es uno de los micronutrientes que las plantas necesitan para tener crecimiento y reproducción normales. Sin embargo, a pesar de su importancia, el Zn es el micronutriente más deficiente en todo el mundo, aun cuando las necesidades de los cultivos son muy pequeñas. Actualmente se habla de deficiencia de Zn en un 40 % de los suelos cultivados en todo el mundo y donde aproximadamente el 50 % de los suelos agrícolas del mundo con producción de cereales presentan carencia de este elemento (Cakmak, 2014).

Una de las funciones más reconocidas del Zn está relacionada con su impacto en el correcto funcionamiento y estabilidad estructural de muchas proteínas, donde cerca del 10 % de ellas necesitan a este elemento (2,800 proteínas aproximadamente) para desarrollar acciones reguladoras, catalíticas y estructurales. Es utilizado en la formación de clorofila y algunos carbohidratos, y también es utilizado en la conversión de almidones en azúcares. El zinc también ayuda a las plantas a resistir las bajas temperaturas. Este elemento es fundamental en la formación de auxinas, mismas que coadyuvan en la regulación del desarrollo y a la elongación del tallo (López, 2023).

### **1.1 Objetivo general**

Determinar la interacción entre fósforo (P) y zinc (Zn) en la producción y la calidad nutracéutica en la cebolla Var. Cambray Suprema Star.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Determinar la concentración idónea de fósforo para incrementar el rendimiento en la producción y la calidad nutracéutica de la cebolla Var. Cambray Suprema Star.
- Obtener incrementos en la calidad nutracéutica y mejora de la calidad en la producción de cebolla Var. Cambray Suprema Star a través de aplicaciones foliares de zinc.
- Encontrar la mejor interacción entre fósforo (P) y zinc (Zn) para el incremento de producción, rendimiento y calidad nutracéutica en cebolla Var. Cambray Suprema Star.

### **1.3 Hipótesis**

Al menos una concentración de P y Zn influye en el crecimiento, rendimiento y la calidad nutracéutica de la cebolla Var. Cambray Suprema Star.

## **2.- REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Historia y origen**

La cebolla pertenece a la familia, Liliáceas, su nombre científico es *Allium cepa* L., y el nombre común es cebolla. La palabra cebolla del castellano actual, proviene del latín *cepulla*, que es el diminutivo de *cēpa* o *caepa*, y del griego clásico *kápia*. Estas palabras del latín y del griego se creen provenientes del fondo léxico mediterráneo, pero no se ha podido concretar más allá el origen de la palabra cebolla (Borja, 2007).

Los registros históricos y arqueológicos muestran que las cebollas se consumen desde hace miles de años. Se cree que son originarias del Oriente Medio y la facilidad de su cultivo sugiere que debió de extenderse con mucha rapidez. Hay referencias a las cebollas en la Biblia y se sabe que habitualmente la comían en Egipto. Durante la edad Media, las cebollas eran un alimento muy común en toda Europa, y se usaban para hacer sopas, guisos y salsas en las cuales se querían que predominase su fuerte sabor (Duran, 2013).

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. Sin embargo, en el continente Americano comenzó a sembrarse hasta el año 1629.

La cebolla llegó a América junto con los primeros colonizadores, quienes la introdujeron en la comida de los pueblos nativos que, a su vez, la incorporaron con mucho éxito en su cocina (Esquivel, 2006).

De todos los vegetales que fueron representados en metales preciosos por los artistas egipcios, solamente la cebolla fue recreada en oro. Incluso la utilizaron en los entierros, con la creencia de que el fuerte aroma de las cebollas podría darle vida de nuevo a los muertos (Brindis, 2007).

## **2.2 Importancia económica y social**

En México la cebolla es la tercera hortaliza más importante, superada sólo por el tomate y el chile. Para el 2013, su superficie sembrada alcanzó las 44 mil hectáreas, con un volumen obtenido de 1.4 millones de toneladas de cebolla al fresco. Los estados que más la cultivan son Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, Michoacán, Durango y Guanajuato (Bayer, 2018).

Sus hojas carnosas se consumen como un vegetal, crudas o cocidas, y también como condimento para preparar otros alimentos. Los bulbos pequeños se preparan en encurtido (en vinagre o salmuera). Antes que se forme el bulbo, de las plantas inmaduras se pueden utilizar las hojas verdes y la base blanca de estas. Además, mediante el proceso de destilación se puede preparar un aceite de cebolla, utilizado para sazonar alimentos (Martínez *et al.*, 2012).

Aunque casi el 90 % de esta potente producción se destina para el consumo en fresco, un 10 % se vende a la industria alimenticia, en la que la cebolla es procesada para comercializarse en sazonadores, aderezos, en forma deshidratada, granulada, en hojuelas, etc. Hay que resaltar que, para alcanzar estas abundantes cosechas, en México el 79 % de las cebollas provienen de semillas híbridas, mientras que 21 % vienen de semillas de polinización abierta.

Los principales países que destacan en la producción de cebolla son: China, India, Estados Unidos, Pakistán, Turquía, Rusia, Brasil, México y España (FAO, 2015).

México, Canadá y Perú son los proveedores más importantes de cebolla a EE UU, con 94 % del total en 2013 (National Onion Association, 2015, citado por Valencia, 2017).

En 2021, México exportó \$ 473M en cebollas, convirtiéndolo en el exportador número 4 de cebollas en el mundo. En el mismo año, cebollas fue el producto número 140 más exportado en México. El principal destino de cebollas exportaciones de México son: Estados Unidos (\$ 423M), Canadá (\$ 22,8M), Reino Unido (\$ 8,91M), El Salvador (\$ 3,95M), e Irlanda (\$ 3,23M) (Cebollas en México | Observatorio de Complejidad Económica, s. f.).

La importancia como alimento funcional y nutracéutica, se debe a que la cebolla contiene compuestos azufrados (sulfuro de alilo, entre otros) los cuales tienen una actividad anti plaquetaria y de regulación de la presión sanguínea. Esto es importante en el país, debido al alto consumo de cebolla, 20 kg per cápita año aproximadamente (Blanco, 2007).

### **2.3 Clasificación y Descripción botánica**

La cebolla pertenece al:

**Reino:** Plantas

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Liliopsida

**Orden:** Asparagales

**Familia:** Amaryllidaceae

**Subfamilia:** Allioideae

**Tribu:** Allieae

**Género:** Allium

**Especie:** *Allium cepa* L.

La cebolla es una planta monocotiledónea herbácea bianual que usualmente se cultiva como planta anual, excepto para la producción de semilla (Martínez *et al.*, 2012)

**Planta:** anual para la producción de bulbo, De tallo reducido a una plataforma que da lugar por debajo a numerosas raíces y encima hojas, cuya base carnosa e hinchada constituye el bulbo (Duran, 2013).

**Tallo:** tiene un tallo verdadero está localizado en la base de la planta (base del bulbo). Este es uno bien corto, comprimido y achatado, en forma de disco, de donde brotan hojas, raíces y eventualmente yemas. Según el tallo verdadero crece para acomodar la producción continua de raíces y hojas, el mismo se va ensanchando



de forma radial y eventualmente se desarrolla en forma de un cono invertido. El conjunto de las vainas o bases concéntricas de las hojas van formando el pseudotallo o 'falso tallo' de la planta de cebolla, a través del cual las láminas de las hojas más nuevas van emergiendo (Fornaris Rullán, 2012).

**Sistema radicular:** el sistema radicular es de tipo fasciculado, capaz de llegar hasta unos 60 cm de profundidad, aunque normalmente no pasa de 20 cm. Las raíces son tierna, finas, poco divididas, bien provistas de pelos radicales en el tercio medio inferior, de color blanco y con el típico olor a sulfuro de alilo que impregna toda la planta (Castell y Díez, 2000)

**Bulbo:** cuando las condiciones de temperatura y largo del día favorecen la bulbificación, se inicia el engrosamiento de las hojas basales, arriba del tallo, y se produce el almacenamiento de reservas nutritivas del mismo. En el centro del bulbo se forman nuevas hojas, reproducen yemas laterales y finalmente cesa la producción de raíces y las hojas se doblan y caen, entrando en reposo llamado comúnmente "entrega".

- a) 6-7 hojas llamadas catafilas, membranosas, muy delgadas, que son las vainas de las primeras hojas del follaje que al crecer el bulbo se van distendiendo.
- b) 4-5 catáfilas carnosas, que son vainas engrosadas de las hojas que forman el follaje
- c) 6-8 catáfilas carnosas, que son vainas engrosadas de hojas sin láminas por aborto de las mismas, es decir, que se formaron después del comienzo del proceso de bulbificación, ya que durante el mismo no hay aparición de follaje.
- d) 3-4 hojas no desarrolladas, en el centro del tallo, que brotarán en el próximo ciclo (Crnko, 1988).

**Flores:** llevan en su extremo superior una masa globosa o cónica recubierta por una bráctea membranosa y blanquecina que, al rasgarse, da lugar a la aparición de una inflorescencia umbeliforme con un gran número de flores monoclamídeas. Es una planta de fecundación cruzada (Borrego, 2002).

**Hojas:** son tubulares, aguzadas en su parte superior y están ensanchadas en la parte central. Cada hoja consta de dos partes: limbo (hoja verdadera) y vaina cilíndrica. Las hojas crecen sucesivamente, de una manera que cada hoja más joven pasa por la vaina de la hoja ya desarrollada. Así, las vainas cilíndricas de las hojas se sitúan una dentro de otra y de este modo se forma el denominado falso tallo (Duran, 2013).

**Semillas:** Las semillas de la cebolla son pequeñas, de color castaño oscuro o negro y contiene unas 240-300 semillas por gramo. Las semillas permanecen viables durante aproximadamente 6 meses a un año. La temperatura óptima para la germinación está alrededor de 20 °C y en condiciones ideales, la germinación tarda de unos 6-8 días (Salunkhe y Kadam, 2003).

## **2.4 Requerimientos del cultivo**

### **2.4.1 Suelo**

Las cebollas pueden cultivarse con éxito en la mayoría de los suelos fértiles. Se recomienda con intervalos de pH del suelo de 6-7, pero en suelos orgánicos resulta satisfactorio un pH mas bajo. Las cebollas crecen bien en suelos arenosos, limosos y turbosos, también en arcillas bien estructuradas. El rendimiento de las semillas resulta disminuid drásticamente por la salinidad del suelo, siendo una de las plantas más sensibles a este respecto. Por ello, los suelos salinos son inadecuados (Brewster, 2001).

### **2.4.2 Temperatura**

La cebolla es una planta que requiere climas templados y cálidos, con ambiente seco. No obstante, dado el gran número de variedades existentes, posee una amplia adaptación, tanto a las condiciones climáticas como de suelo. Se necesita un período de elevada temperatura, acompañado de una gran luminosidad, para obtener un engrosamiento adecuado del bulbo. La temperatura mínima para la germinación de la cebolla se sitúa sobre los 4° C y la máxima en los 35° C. La temperatura óptima de crecimiento está entre los 14 y los 32° C. Una vez nacidas las plantitas resisten bastante bien el frio y las heladas primaverales (Japón Quintero, 1982)

### **2.4.3 Humedad**

Requiere una atmósfera seca (Benacchio, 1982). Durante el crecimiento del bulbo requiere una humedad relativa inferior al 70%, para la obtención de máximos rendimientos (Santibáñez, 1994). Las condiciones de conservación en cámara frigorífica son -1 a 0°C y 70-75% de humedad relativa; bajo las cuales la cebolla se conserva de 120 a 240 días (Yuste, 1997).

### **2.4.4 Luminosidad**

Es una especie de día neutro, pero hay cultivares que se dan mejor en días cortos y otros que se dan mejor en días largos (Benacchio, 1982). La cebolla se comporta como indiferente al fotoperiodo o como planta de día largo. La duración crítica del día para cultivares sensibles al fotoperiodo varía de 11 a 16 horas. Para la formación de bulbo esta planta requiere de 12-16 horas luz. La duración del día aparentemente no tiene un efecto directo sobre la floración, pero sí un efecto asociado con la formación del bulbo y con la elongación de la inflorescencia y su tamaño final. A temperaturas suficientemente altas como para promover la formación del bulbo, los días largos suprimen la emergencia de la inflorescencia. A temperaturas suficientemente bajas como para evitar o retrasar significativamente la formación del bulbo, los días largos aceleran la emergencia del tallo floral (Huerres y Caraballo, 1988).

### **2.4.5 Requerimientos hídricos**

Se cultiva principalmente bajo condiciones de riego, requiriendo de 350 a 550 mm durante el ciclo de cultivo. Con una tasa de evapotranspiración de 5 a 6 mm día<sup>-1</sup>, la tasa de absorción de agua comienza a reducirse cuando se ha agotado alrededor del 25% del agua total disponible (Doorenbos y Kassam, 1979). Requiere de 450 a 800 mm anuales. Es relativamente tolerante a la sequía, sin embargo, no debería faltar agua en las etapas de germinación, formación de la raíz y desarrollo del bulbo. Hacia la maduración debe contarse con un periodo seco (Benacchio, 1982).

## **2.5 Cosecha**

La fecha de cosecha está determinada por el tipo de cebolla y la finalidad del cultivo.

En los cultivares tempranos, se realiza cuando el bulbo ha alcanzado su mayor desarrollo, pero sin llegar a su madurez fisiológica (cebollas en ramas), aunque en ocasiones también suelen cosecharse cuando han completado su madurez (Blanco, 2007).

Para favorecer la maduración de los bulbos, es aconsejable suspender los riegos aproximadamente 15 días antes de la fecha probable de cosecha, o en el momento que entre el 1% y el 10% de las plantas estén curvadas.

Se debe procurar que el suelo esté lo más seco posible, puesto que la presencia de humedad favorece el manchado de los bulbos y el deterioro de su calidad.

La cosecha puede realizarse en forma manual o mecanizada. En grandes extensiones se suele utilizar una cuchilla de corte horizontal, de tracción mecánica, para cortar el sistema radicular y descalzar las plantas. En muchos casos la misma máquina permite separar la tierra, haciendo deslizar las plantas sobre una cadena sin fin. Finalmente las acordona en el terreno (Blanco, 2007).

## **2.6 Fertilización**

Entre los factores que ejercen una mayor influencia en la productividad del cultivo de la cebolla están el riego y la fertilización, cuyas aplicaciones debe basarse en los requerimientos del cultivo en cada estado fisiológico (Alva, 2005).

En Zacatecas, donde producen principalmente cebolla bajo riego por gravedad, utilizan dosis comunes de fertilización para siembras a dos hileras de plantas de 200-100-50-15 (expresadas en kilogramos por hectárea de nitrógeno, fósforo, potasio y zinc); sugiriendo fraccionar la dosis en dos aplicaciones: todo el fósforo y el zinc, la mitad del nitrógeno y del potasio antes del trasplante y el resto del fertilizante 50 días después del trasplante (Reveles *et al.*, 2014).

En Tamaulipas, los nutrientes requeridos por la planta son aplicados en cada riego o basado en un programa de curva de crecimiento. Este programa consiste en aplicar después del trasplante, fracciones de nutrientes de acuerdo al desarrollo del cultivo, (180-80-282 Kg/ha), cuyas cantidades se incrementan progresivamente

hasta alcanzar un punto máximo de aplicación de nutrientes, y posterior a este punto disminuye (etapa de senescencia) (Mata *et al.*, 2011).

### **2.6.1 Nitrógeno (N)**

El N está considerado como el más importante de los nutrientes en el cultivo de la cebolla, dado que tiene gran influencia en el crecimiento de la planta y en el rendimiento de la misma, mientras que el potasio está considerado como elemento fundamental en la fotosíntesis del cultivo de cebolla (Dilruba *et al.*, 2006).

El N es un nutriente que presenta diferentes formas químicas en el suelo, encontrándose por lo general en forma de nitrato y presentando una alta movilidad dentro del suelo. Esta condición implica que existen cuidados necesarios a la hora de aportar este nutriente para evitar que se produzcan pérdidas que generen pasivos ambientales, y que impliquen mayores requerimientos de fertilización, provocando aumentos en los costos de producción (Lopez, 2007).

El promedio total de absorción de N por el cultivo es de 157 kg de N/ha y el 70 al 90% del N se concentra en el bulbo a la cosecha. La tasa de absorción de N durante las primeras etapas de crecimiento es de 1.1 a 3.4 kg de N/ha/día (Reveles *et al.*, 2014).

Comúnmente se realizan aplicaciones fraccionadas de fertilizantes nitrogenados durante el ciclo de crecimiento (Horneck, 2006).

### **2.6.2 Fósforo (P)**

El P es uno de los diecinueve elementos considerados como esenciales para la vida de las plantas. Constituye un componente primario de los sistemas responsables de la capacitación, almacenamiento y transferencia de energía, y es componente básico en las estructuras de macromoléculas de interés crucial, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos (Fernández, 2007).

Mismos autores señalan el sistema suelo-planta, el 90 % del P está en el suelo y menos del 10 % se encuentra repartido fuera del suelo. Sin embargo, sólo una pequeña parte de ese 90% es utilizable por los vegetales.

Las formas en que se absorbe por la planta, son como fosfato monobásico ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) bibásico ( $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ ). También se absorbe como fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) o como ácido fosfórico. El pH del suelo determina la disponibilidad de fosfatos asimilables para el vegetal. A medida que aumenta el pH (pH 7.0 es decir, la alcalinidad) crece la proporción de los fosfatos bibásicos y tribásicos de menor absorción o inasimilables. Este fenómeno (el paso de los fosfatos asimilables a formas asimilables o insolubles) se llama fijación del fósforo o inmovilidad (Torres, 2016).

Las cebollas dependen mucho de las micorrizas para obtener el P del suelo. Estos hongos que viven en íntima asociación con las raíces producen una red de hifas que se extiende por el suelo, aumentando apreciablemente el área de absorción del sistema radicular. Debido a que el P es esencial para el rápido desarrollo radicular, la deficiencia de este nutriente reduce el tamaño del bulbo y retrasa la maduración. La absorción total de P para un rendimiento de bulbos de 94 t/ha está entre 22 y 28 kg de P/ha (50 a 62 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ha) al momento de la cosecha (Horneck, 2006).

### **2.6.3 Potasio (K)**

El K es uno de los nutrimentos más importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que participa en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos de los vegetales. Desempeña funciones esenciales en la activación enzimática, síntesis de proteínas, fotosíntesis, osmorregulación, actividad estomática, transferencia de energía, transporte en el floema, equilibrio anión-catión y resistencia al estrés biótico y abiótico. El K es un nutriente clave en la relación agua-planta al ayudar a los vegetales a mantener altos niveles de turgencia, es decir, niveles adecuados de agua en las plantas. Lo anterior es posible debido a que participa fuertemente en la regulación de la apertura y cierre de los estomas, lo cual es esencial para la fotosíntesis (Intagri, 2017).

El K es reciclado rápidamente de los residuos orgánicos, y los fertilizantes de este nutriente son por lo general asimilables en su totalidad por las plantas. La cebolla remueve a la cosecha cantidades de K casi iguales a las de N. La remoción de K está en el rango de 145 a 210 kg de  $\text{K}_2\text{O}$ /ha (Horneck, 2006).

## **2.7 Zinc (Zn)**

El Zn es un elemento de poca movilidad dentro de la planta, pero con numerosas funciones críticas. La estructura y funcionalidad de muchas enzimas dependen de la presencia de Zn en la planta. Aproximadamente 2,800 proteínas dependen del Zn para que puedan sintetizarse y actuar. Se requiere para la síntesis de carbohidratos durante la fotosíntesis y en la transformación de los azúcares en almidón. Participa también en el metabolismo de hormonas al regular el nivel de auxinas a través de la síntesis del aminoácido triptófano (Cakmak, 2015).

Como dato curioso, en la actualidad el Zn constituye quizá el micro nutrimento más deficiente en el mundo. Sumado a esto, se sabe que su deficiencia puede reducir los rendimientos de los cultivos en un 20 % sin manifestar síntomas (hambre oculta).

Este micronutriente es absorbido en forma catiónica ( $Zn^{++}$ ) y en forma de cantidades pequeñas, fisiológicamente la planta lo utiliza en muchas enzimas como: deshidrogenasas, proteinasas y peptidasas. Posiblemente una deficiencia repercute en el ARN y en los ribosomas (Lopez, 2016).

La fertilización foliar con zinc es común en árboles frutales (p. ej. nogal, aguacate y cítricos), aunque también es factible realizarlo en muchos cultivos, sobre todo en los de mayor demanda. Se recomiendan dosis de 0.4 – 1.5 kg de Zn/ha, dependiendo de la cantidad de agua a utilizar, cultivo y etapa fenológica. Las fuentes más utilizadas para aplicaciones foliares son el sulfato de zinc y el nitrato de zinc, en dosis que van de 0.2 a 0.3 % de zinc, pero también se usan los quelatos de zinc, aunque la efectividad de estos productos depende del manejo del pH en la solución a aplicar, para garantizar la estabilidad del quelato (Ramos y Rodríguez, 2014).

## **2.8. Aplicación foliar.**

La fertilización foliar es una herramienta importante para el manejo sostenible y productivo de los cultivos, además de su importancia comercial en todo el mundo. Las principales razones para el uso de la fertilización foliar son: 1) limitación de la disponibilidad de los nutrimentos aplicados al suelo; 2) en condiciones en que se pueden producir altas tasas de pérdida de nutrientes aplicados al suelo; 3) cuando la etapa de crecimiento de las plantas, la demanda interna de la planta y las

condiciones ambientales interactúan para limitar el suministro de nutrientes a los órganos vitales de planta (Fernández, 2013).

La fertilización foliar no substituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero sirve de respaldo para suplementar los requerimientos nutrimentales del cultivo que no pueden abastecerse mediante la fertilización tradicional (Bhuyan *et al.*, 2012)

Así, se convierte en un sistema complementario muy eficaz (Khan y Kuruwanshi, 2015) que permite, además, suministrar nutrientes a órganos específicos de la planta cuando la etapa de crecimiento del cultivo, la demanda interna de la planta y las condiciones ambientales limitan la entrega de los mismos (Fernández y Brown, 2013).

Para el buen éxito de la fertilización foliar es necesario tomar en cuenta tres factores, los de la planta, ambiente y formulación foliar. En relación a la formulación foliar, la concentración de la sal portadora del nutrimento, el pH de la solución, la adición de coadyuvantes y el tamaño de la gota del fertilizante líquido, del nutrimento por asperjar se cita su valencia y el ion acompañante, la velocidad de penetración y la translocabilidad del nutrimento dentro de la planta.

Del ambiente se debe de considerar la temperatura del aire, el viento, la luz, humedad relativa y la hora de aplicación. De la planta se ha de tomar en cuenta la especie del cultivo, estado nutricional, etapa de desarrollo de la planta y edad de las hojas. (Kovacs, 1986).



### **3.- MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización del experimento**

El experimento se llevó a cabo en el área experimental del departamento de Horticultura perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Calzada Antonio Narro #1923, Buenavista, C.P. 25315 en Saltillo, Coahuila, México. Con las coordenadas 25°21'23.5"N 101°02'09.8"W y una altitud de 1600 msnm.

#### **3.2 Instalación del experimento**

Se inició delimitando el área de trabajo, posteriormente se llevó a cabo la preparación del terrero de una forma manual, empezando por un deshierbe para proceder a aflojar el suelo con ayuda de un azadón hasta conseguir un suelo bien mullido y sin presencia de terrenos con una profundidad de 30 cm.

Después se hizo el trazado de camas con las dimensiones de 1m de ancho 30 metros de largo, 40 cm de altura, y con una separación de 1 metro entre cada cama.

Se continuó con la instalación del sistema de riego por goteo a doble cintilla, con una distancia de 20 cm entre goteros. Se colocaron candados de alambre a una distancia de 2.5 metros para evitar que la cintilla se levantara o se contrajera.

Para finalizar se recortaron los bordos de las camas para colocar el acolchado agrícola calibre 90, color negro, se hizo el señalamiento y las perforaciones requeridas a una separación de 20 cm a lo ancho y 25 cm a lo largo para obtener los perforados necesarios.

#### **3.3 Material vegetal**

El material que se utilizó fue plántula de cebolla de la variedad Cambray Suprema Star.

#### **3.4 Tratamientos**

Se evaluaron dos dosis de fósforo (P) (20 y 40 ppm) con una fertilización de 130 ppm de N, y 180 ppm de K durante toda la etapa de crecimiento vegetativo, para

posteriormente al iniciar la etapa de engrosamiento de bulbo se cambiara a 150 ppm de N y 200 ppm de K, siendo suministrada a través de vía riego, con la aplicación suplementaria foliar de zinc a 0, 300, 600, ppm a través de un Quelato de zinc al 25%.

Los fertilizantes minerales utilizados para cubrir los requerimientos fueron: Sulfato de amonio, MAP Técnico, Nitrato de potasio y Quelato de zinc.

**Cuadro 1.** Número del tratamiento con su dosis de fertilización a aplicar.

Tratamiento	Dosis
1	130-20-180 + 00.0 PPM Zn
2	130-20-180 + 300 PPM Zn
3	130-20-180 + 600 PPM Zn
4	130-40-180 + 00.0 PPM Zn
5	130-40-180 + 300 PPM Zn
6	130-40-180 + 600 PPM Zn

### 3.5 Diseño experimental

El diseño que se utilizo fue de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 3 x 2, dando como resultado seis tratamientos, con tres repeticiones por cada tratamiento.

### 3.6 Siembra

Después de haber concretado la instalación del sistema de riego y acolchado, se procedió a humedecer el suelo hasta llegar a capacidad de campo y así tener la humedad requerida para hacer el trasplante el día 25 de agosto del 2022, y hacer un retrasplante el día 05 de septiembre del 2022.

Cada plántula se colocó a una profundidad de 5 cm aproximadamente (tratando de cubrir el bulbo) con una separación de 20 cm a lo ancho y 25 cm a lo largo entre plantas.

### **3.7 Labores culturales**

Las labores del cultivo consistieron en mantener limpio el terreno durante todo el ciclo de producción. Se realizaron deshierbes manuales, para eliminar la maleza de hoja ancha y sácate que pudiera existir, esta labor se realizaba una vez a la semana para evitar el desarrollo de la maleza, y así mismo evitar la competencia por espacio y nutrientes.

También se realizó una limpieza para eliminar las hojas que se iban deteriorando con el paso de los días, esta labor se empezó a realizar cuando se presentaron las primeras hojas secas.

Para finalizar se realizó un desbrote floral de manera manual con ayuda de unas tijeras y evitar el daño mecánico a la planta, esto para evitar que el bulbo perdiera su consistencia y su firmeza a la hora de ser cosechado.

### **3.8 Riego y fertilización**

Antes de aplicar los riegos se realizaban un previo monitoreo y se revisaba las condiciones meteorológicas, con el fin de evitar una saturación del suelo, y evitar que el bulbo pudiera desarrollar alguna enfermedad, los riegos se dan aproximadamente de 1 a 2 horas cada tercer día, buscando un buen bulbo de humedad, los riegos se fueron aumentando acorde a la etapa en la que se encontraban las plantas y acorde al monitoreo de riegos que se realizaban.

La fertilización se realizó en dos etapas, la primera consistió en 130-20-180 ppm y 130-40-180 ppm respetando la fórmula  $N-P_2O_5-K_2O$  y se aplicaron en las fechas: 04, 07, 12, 17, 24 y 29 de octubre, 03, 12 y 20 de noviembre. La segunda etapa se realizó con 150-20-200 ppm y 150-40-200 ppm respetando la fórmula  $N-P_2O_5-K_2O$ , y se aplicaron: 02, 07, 15, 21, 28 de diciembre del 2022, y el 4, 11 y 18 de enero del 2023

Las aplicaciones suplementarias de zinc (0.0, 300 y 600 ppm) se hicieron con ayuda de un Kelatex zinc al 25% y se realizaron 3 aplicaciones vía foliar acorde a tratamientos y repeticiones correspondientes, en las fechas 29 de octubre, 03 de diciembre del 2022 y el 05 de enero del 2023.

### **3.9 Control de plagas y enfermedades**

Para el control de las plagas y enfermedades se dieron aplicaciones preventivas en contra de los trips de la cebolla (*Thrips tabaci*), gusano de la cebolla (*Delia antiqua*), raíz rosada de la cebolla y Mildiu).

El control fue éxito esto porque no presento problema a lo largo del ciclo del cultivo y no se vio afectado el experimento.

### **3.10 Cosecha**

La cosecha se realizó de manera manual, tomando las hojas y tirando hacia arriba para arrancar el bulbo, se dejaban al sol durante 24 horas para después eliminar las raíces con ayuda de una navaja y eliminando el excedente de las hojas, las hojas se dejaban con una longitud de 12 pulgadas. La primera cosecha se realizó el día 24 de enero y finalizó el día 03 de febrero del 2023. Mientras que la toma de datos se inició el día 25 de enero y se finalizó el día 04 de febrero del 2023

### **3.11 Variables evaluadas**

#### **3.11.1 Diámetros de bulbos (cm)**

La variable del diámetro fue tomada al momento final del experimento, 24 horas después de la cosecha, y se midió con ayuda de un vernier a la altura del diámetro ecuatorial del bulbo.

#### **3.11.2 Peso de la cebolla (g)**

Se seleccionaron 10 bulbos al azar para tomar el peso de cada uno de ellos, hacer la sumatoria y después dividir entre 10, que fueron los bulbos pesados, y de esta manera obtener los promedio del peso.

#### **3.11.3 Rendimiento (Kg m<sup>-2</sup>)**

Esta variable se obtuvo al obtener los pesos (Kg) por metro cuadro, y ser multiplicado por 10,000 m<sup>2</sup> que corresponden a una hectárea.

#### **3.11.4 Quercetinas (mg 100 g<sup>-1</sup> PF)**

Para la variable de las quercetinas se trabajó en el laboratorio de fisiología vegetal y se empleó el método de Extracción de quercetina y Kaemferol (Solubility of Quercetin in Water + Methanol and Water + Ethanol from que consiste en pesar 10

g de peso fresco (PF), para congelar las muestra, para ponerlas en una liofilizadora hasta que se encuentren completamente secas, para después agregar 1 ml se solución de extracción (70% etanol + 1% de ácido fórmico), para someter en vortex hasta ver la muestra homogenizada, pasar a ultrasonicar por 10 minutos, y extraer el líquido por centrifugación a 13000 rpm por 40 min y poner cada extracción en un eppendorff e inyectar en el LC.

#### **3.11.5 Potencial Antioxidante (g 100 g<sup>-1</sup> PF)**

Esta variable también se obtuvo en el laboratorio de fisiología vegetal, y se utilizó la práctica de Potencial Antioxidante por DPPH y ABTS.

La cual consiste en colocar las muestras en morteros y se macerará por completo (estas ya se encontraban liofilizadas). Para después pesar 10 mg del tejido macerado y agregaron 1.5 mL del extractante, para agitar en vórtex por 20 seg, luego se zonificaron por 10 min y centrifugaron a 12000 rpm, se obtuvo el extracto y por último se filtró con pirinolas.

#### **3.12 Análisis estadísticos**

Los datos obtenidos de todas las variables se sometieron a un análisis de varianza y poder realizar la comparación de medias con las pruebas Tukey 0.05, empleando el programa estadístico SAS versión 9.0.

## 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de varianza

La aplicación de fósforo (P) influyó en todas las variables evaluadas, ya que, el diámetro de cebolla (DC), peso de cebolla (PC), rendimiento, quercetina (Quer) y potencial antioxidante (PA) fueron afectados significativamente por la concentración de P (Cuadro 2). Este mismo efecto significativo se presentó al aplicar de manera foliar diferentes concentraciones de zinc (Zn) en las variables mencionadas. La interacción de entre P y Zn tuvieron diferencias significativas en los parámetros antes mencionados (Cuadro 2).

El mayor DC, PC, rendimiento, Quer y PA se registró en aquellas plantas que se les suministró 20 ppm de P, en comparación de plantas que fueron nutridas con 40 ppm de P (Cuadro 2). La aplicación vía foliar 600 ppm de Zn incrementó el DC, PC, rendimiento y quercetina en contraste de plantas que se les aplicó 0 (Testigo) y 300 ppm de Zn. Pero, el PA se aumentó en plantas que recibieron 300 ppm de Zn (Cuadro 2). Lo anterior puede deberse a que el P es un componente esencial de la transferencia de energía (ATP) que resultan de rápido crecimiento de las plantas (Waraich *et al.*, 2011). Así mismo, Aisha *et al.* (2007) reportan que, las aplicaciones de fósforo aumentan el rendimiento, incrementan el peso y el diámetro del bulbo de la cebolla. Por otra parte, el incremento del rendimiento de la cebolla con la aplicación de Zn puede deberse a que este nutriente promueve el crecimiento radicular y por lo tanto mayor absorción de nutrientes. Ya que, Tariq *et al.* (2018) señalan que, el zinc juega un papel importante en la producción de triptófano, que a su vez es precursor de la auxina, una hormona de crecimiento para las plantas, desarrollando un complejo sistema radicular y Khatemenla *et al.* (2018) indican que, este incremento en el sistema radicular podría haber promovido a la absorción de una mayor cantidad de nutrientes en el suelo.

**Cuadro 2.** Efecto de la concentración de P y de Zn en el rendimiento y calidad nutracéutica de cebolla Var. Cambray Suprema Star.

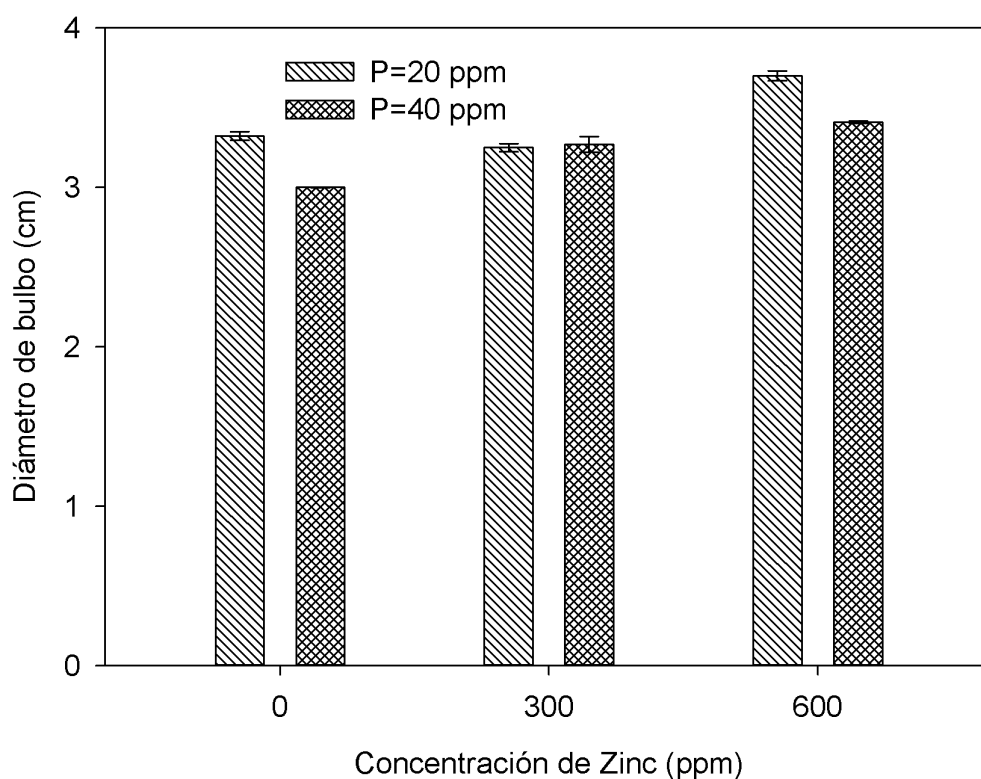
Fósforo (ppm)	Diámetro de bulbo (cm)	Peso de la cebolla (g)	Rendimiento (Kg m <sup>-2</sup> )	Quercetina (mg 100 g <sup>-1</sup> PF)	Potencial Antioxidante g 100g <sup>-1</sup> PF)
20	3.424a	75.443a	2.112a	630.429a	2.438a
40	3.227b	65.260b	1.827b	518.798b	1.912b
ANVA $P_{\leq}$	0.003	0.0001	0.001	0.001	0.014
<b>Zinc</b>					
Zinc (ppm)					
0	3.162b	68.040b	1.865b	32.68c	2.12ab
300	3.260b	66.623b	1.905b	46.97b	2.59a
600	3.555a	76.392a	2.139a	92.72a	1.81b
ANVA $P_{\leq}$	0.001	0.001	0.001	0.0001	0.015
P*Zn $P_{\leq}$	0.01	0.002	0.002	0.0001	0.01
CV (%)	2.31	4.82	4.82	0.032	17.33

ANVA= Análisis de varianza, CV= coeficiente de variación, P\*Zn= Interacción. Las literales son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

#### 4.2 Diámetro de bulbos

El mayor diámetro de la cebolla se obtuvo al aplicar una concentración de 600 ppm de Zn vía foliar con 20 ppm de P suministrado por fertirriego, sin embargo, las plantas que recibieron 40 ppm de P sin la aplicación de Zn registran el menor DC (Figura 1). En general, las plantas nutridas con 20 ppm de P y las que recibieron 0 (testigo) y 600 ppm de Zn vía foliar presentaron mayor DC (Figura 1). Gómez *et al.* (2007) reportan que, el incremento del diámetro que ejerce la interacción de Zn como complemento de la fertilización (NPK) está relacionada directamente con la calidad expresada en mayor significancia en diámetro ecuatorial con un promedio

de 88.32 mm en el manejo de su cultivo. En ajo también se ha demostrado el aumento en el diámetro con la aplicación del Zn (Uzma, 2016).



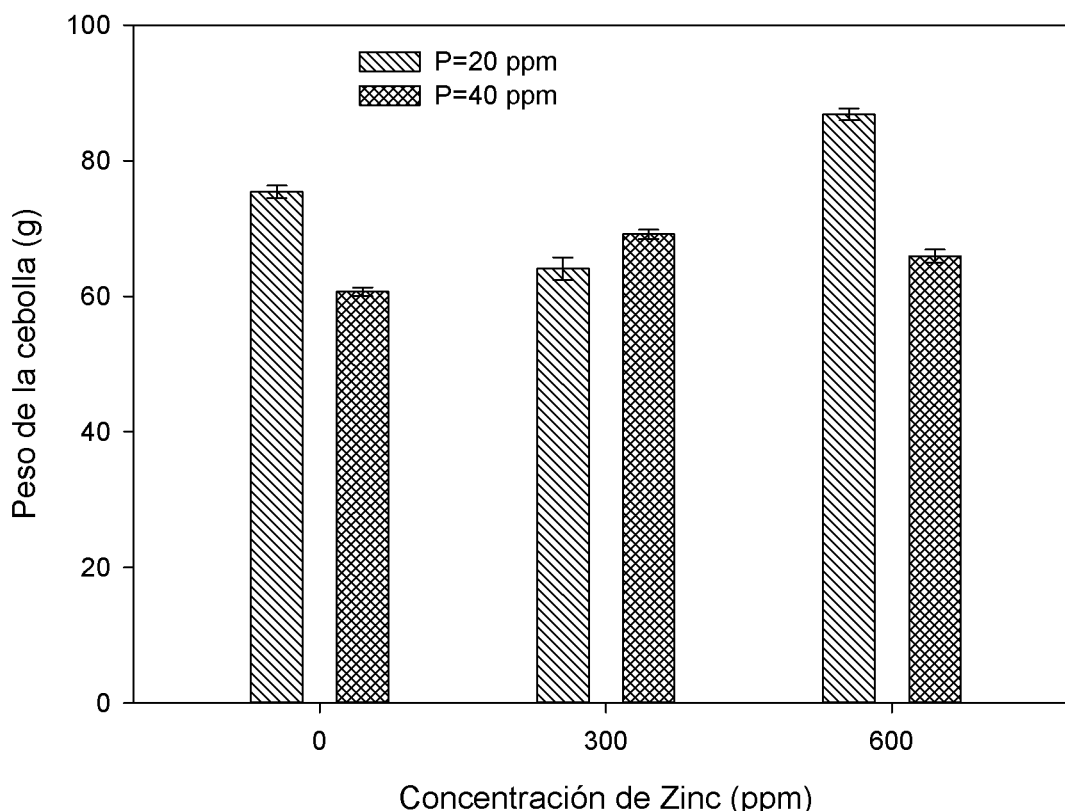
**Figura 1.** Efecto de la interacción entre P y Zn en el diámetro de bulbo de la cebolla Var. Cambray Suprema Star. Las barras indican el error estandar de la media.

#### 4.3 Peso de la cebolla

El peso de la cebolla obtuvo un incremento cuando se realizó una aplicación de 20 ppm de P aplicadas vía riego y 600 ppm de Zn suministrado foliar, no obstante, cuando se suministró 40 ppm de P sin Zn obtuvimos el menor PC (Figura 2). Las plantas tratadas a 20 ppm de P y 0 ppm (testigo) o 600 ppm de Zn vía foliar aumentó el PC (Figura 2). Estudios demuestran que los bulbos de cebolla responden significativamente a la aplicación de P con dosis de 50 kg ha<sup>-1</sup> (Dudhat *et al.*, 2010) a dosis de 42 kg ha<sup>-1</sup> (Simon *et al.*, 2014) y con dosis de 20 y 60 kg ha<sup>-1</sup> (Agumas *et al.*, 2014). Frairhust *et al.* (1999) afirman que, el P era esencial para el crecimiento de las raíces, lo que resulta en la absorción de agua y otros nutrientes,



lo que se ve reflejado en un aumento del peso del bulbo. Mediante la aplicación de zinc, el crecimiento de las plantas es mayor debido a que, la planta produjo el peso máximo del bulbo. Sakarvadia *et al.* (2009) señalan que, el zinc influía significativamente en el peso del bulbo.



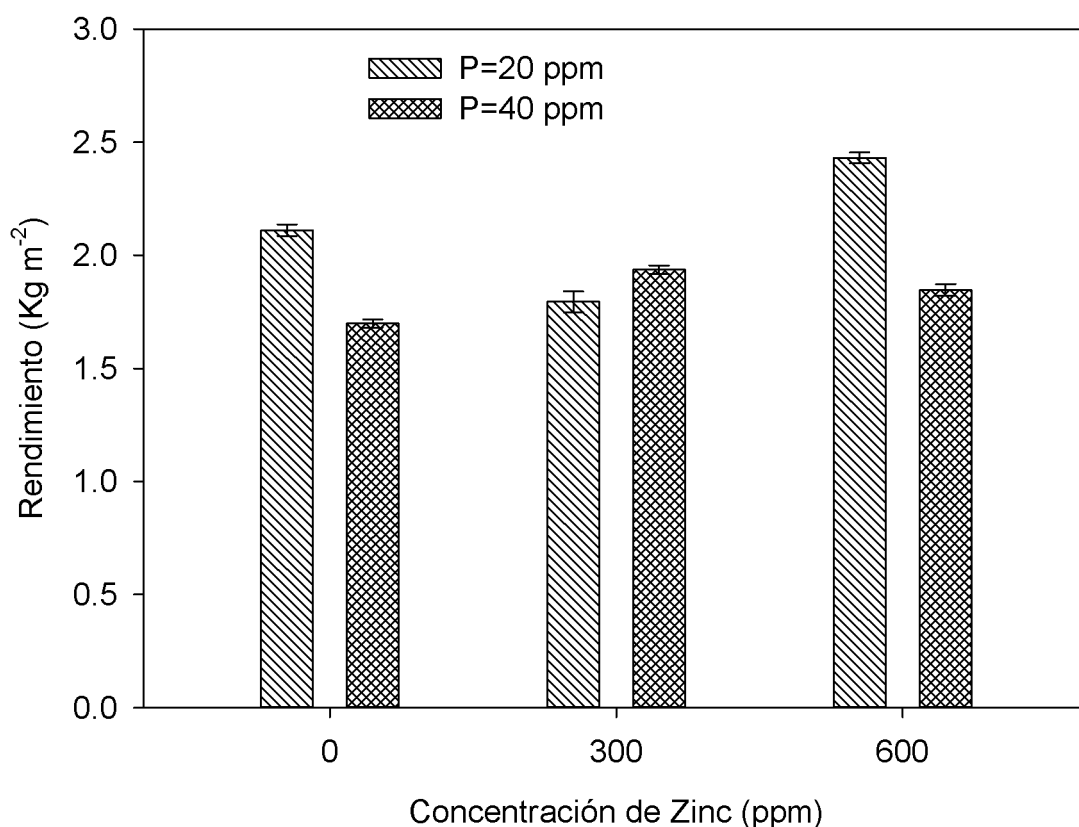
**Figura 2.** Efecto de la interacción entre P y Zn en el peso de la cebolla Var. Cambray Suprema Star. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.4 Rendimiento

El rendimiento se aumentó al aplicar una concentración de 600 ppm de Zn vía foliar y con 20 ppm de P suministrados vía riego, mientras que, una concentración de 40 ppm de P sin la aplicación de Zn registró el menor rendimiento (Figura 3). La fertilización con 20 ppm de P junto con la aplicación de 0 (testigo) y 300 ppm de Zn se incrementó el rendimiento de peso fresco (Figura 3). Una concentración baja de P y Zn incrementa el rendimiento de bulbo Otros autores como: Novo *et al.* (2016), Tekeste *et al.* (2017) y Akram *et al.* (2021) reportan que, el P es el nutriente de alto rendimiento de los cultivos, debido a las diversas formas de funciones,

destacando el desarrollo radicular, permitiendo mayor aborción de nutrientes y generando un alto rendimiento. Así mismo, Siddharth *et al.* (2021) declara que, el Zn mejora la síntesis y translocación de los fotosintatos a los bulbos, para la formación de las hojas. Una mayor cantidad de hojas por planta aseguraría un mayor peso, tamaño y el grosor que son responsables de aumentar el rendimiento.

Una concentración alta de P y Zn afecta de manera negativa el rendimiento de las plantas posiblemente por un antagonismo entre esos nutrientes. Por su parte, Malavolta (2005) señala que, en condiciones de concentraciones muy altas de P (600 ppm) y una concentración alta de Zn (25 ppm) disminuye progresivamente rendimientos de los cultivos. Asimismo, Marschner (1995) y Khah y Ajakaiye (1976) indican que, en plantas de cebollas se presentó un antagonismos entre P y Zn en el tejido foliar por excesos de P.

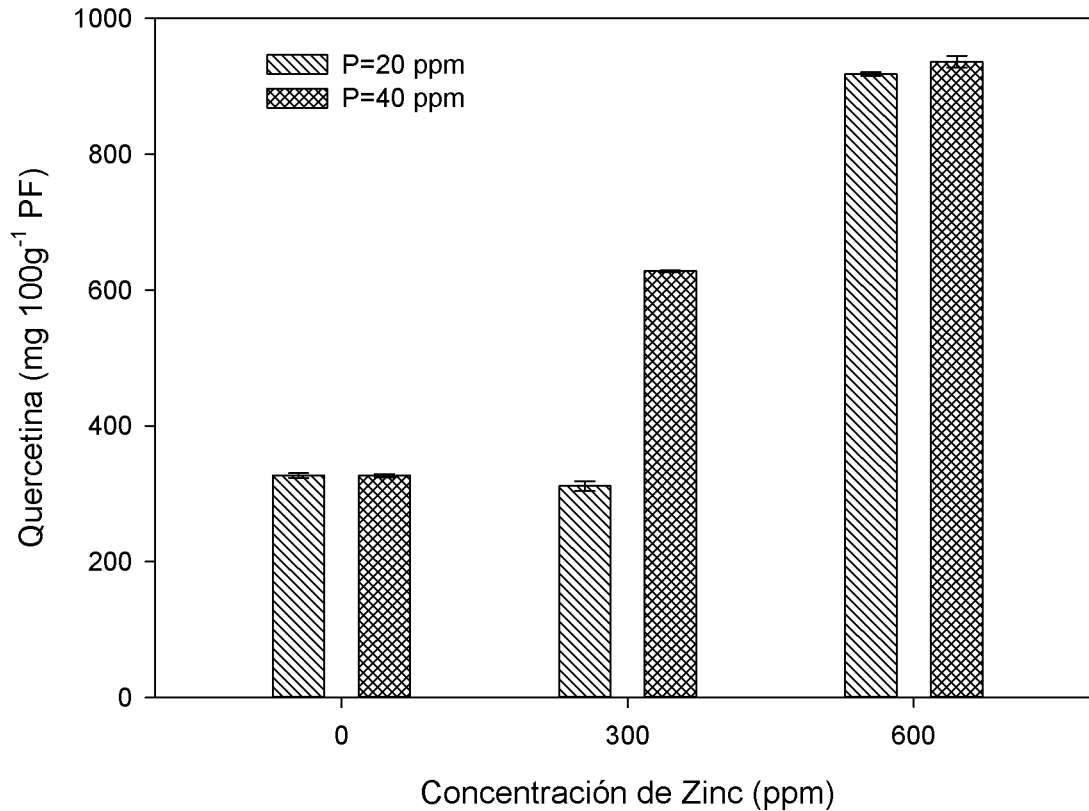


**Figura 3.** Efecto de la interacción entre P y Zn en el rendimiento por metro cuadrado de la cebolla Var. Cambray Suprema Star. Las barras indican el error estandar de la media.

#### **4.5 Quercetina (mg 100g<sup>-1</sup> PF)**

La concentración de quercetina se incrementó al realizar aplicaciones de 600 ppm de Zn con 40 ppm de P a través de riego, mientras que, cuando se suministró 40 ppm de P con 300 ppm de Zn vía foliar se obtuvo el nivel más bajo de la concentración de esta (Figura 4). Sin embargo, en esta misma variable se observa aumento al suministrar 600 ppm de Zn foliar con 20 y 40 ppm de P (Figura 4).

La quercetina es un flavonoide natural que se distribuye ampliamente en plantas y alimentos naturales y muestra muchos efectos beneficiosos como actividades antiinflamatorias, antioxidantes y antidiabéticas (Szkudelski, 2011). Además, la quercetina facilita diversos procesos fisiológicos de las plantas, como la germinación de semillas, el crecimiento del polen y la fotosíntesis, además de inducir el crecimiento y desarrollo adecuados de las plantas (Singh *et al.*, 2021). La propiedad antioxidante de la quercetina la convierte en una fuente más confiable para erradicar el estrés, ya que la mayor parte del estrés daña la planta al generar estrés oxidativo. La interacción de la quercetina con el ABA le confiere además su capacidad para detener el estrés. La quercetina reduce el nivel de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (requerido para el cierre estomático inducido por ABA), lo que ayuda a las plantas a enfrentar el estrés de una manera menos salvadora (Agati *et al.*, 2011; Agati *et al.*, 2009).



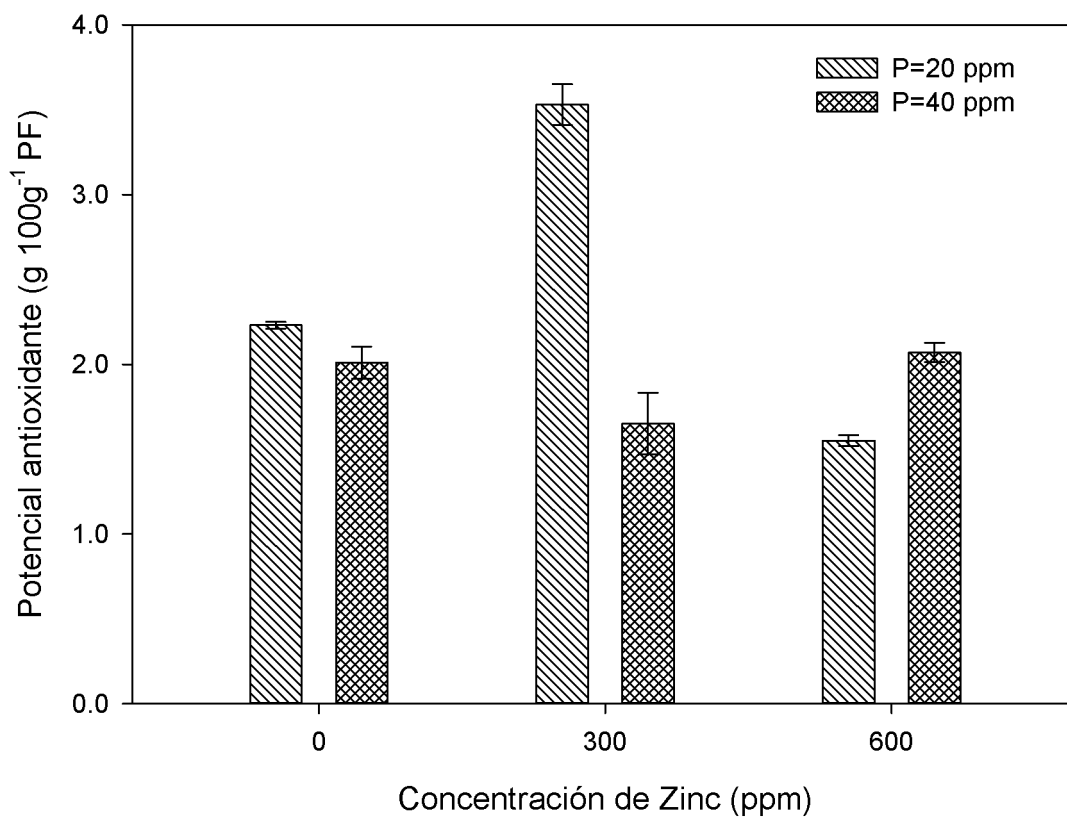
**Figura 4.** Efecto de la interacción entre P y Zn en la quercetina obtenida en cebolla Var. Cambray Suprema Star. Las barras indican el error estandar de la media.

#### 4.6 Potencial antioxidante (g 100g<sup>-1</sup> PF)

La mayor capacidad antioxidante (CA) se presentó cuando se aplicó una concentración de 20 ppm de P a través de fertirrigación y con 600 ppm de Zn foliar, no obstante, las plantas que recibieron 20 ppm de P con 600 ppm de Zn foliar se obtuvo el menor CA (Figura 5). Así mismo, el valor de CA se observa un incrementado al emplear una concentración de 20 ppm de P vía riego pero, con 0 (Testigo) y 300 ppm de Zn foliar. Los antioxidantes pueden inhibir las reacciones oxidativas y ayudar en el rendimiento funcional de las enzimas para los mecanismos de autodefensa dentro de la célula (Lu X *et al.*, 2011). Suleria, *et al.*, (2015) reportó que el consumo de cebollas reduce el riesgo de enfermedad neurodegenerativa,

cánceres, formación de cataratas y desarrollo de úlceras debido a efectos antioxidantes.

El bajo tratamiento Zn (10 y 100 M) aumentó la tolerancia y promovió la acumulación de biomasa vegetal al mejorar la capacidad fotosintética y estimular las actividades de las enzimas antioxidantes. Por el contrario, el tratamiento alto con Zn indujo (300-1000 M) el estrés oxidativo, interrumpió la síntesis de pigmentos fotosintéticos (Chang *et al.*, 2022). Por otra parte, Ahmad, (2017) reporta que, la aplicación foliar de P a 8 kg ha<sup>-1</sup> en la octava etapa de hoja del maíz mejoró significativamente las relaciones hídricas, el contenido de clorofila y la actividad antioxidante de todos los híbridos de maíz en condiciones de buen riego y estrés.



**Figura 5.** Efecto de la interacción entre P y Zn en el potencial antioxidante de la cebolla Var. Cambray Suprema Star. Las barras indican el error estandar de la media.

## **5.- CONCLUSIONES**

La aplicación de 20 ppm de fósforo a través de fertirriego y las concentraciones de zinc aplicado vía foliar (300 y 600 ppm) incrementan el rendimiento, el diámetro y peso de bulbo y promueve mayor compuestos nutraceuticos en la cebolla Var. Cambray Suprema Star. Los anterioro sugiere que el suministro adecuado de P y Zn permite lograr mayor rendimiento y calidad de la cebolla.

## 6.- LITERATURA CITADA

**Agati G., Biricolti S., Guidi L., Ferrini F., Fini A. y Tattini M. 2011.** The biosynthesis of flavonoids is enhanced similarly by UV radiation and root zone salinity in *L. vulgare* leaves. *Journal of Plant Physiology*, 168 (3), 204-212.  
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.07.016>

**Agati G., Stefano G., Biricolti S. y Tattini M. 2009.** Mesophyll distribution of 'antioxidant' flavonoid glycosides in *Ligustrum vulgare* leaves under contrasting sunlight irradiance. *Annals of Botany*, 104(5): 853-861.

**Agumas B., Abewa A. y Abebe D. 2014.** Response of Irrigated Onion (*Allium cepa* L.) to Nitrogen and Phosphorus Fertilizers at Ribb and Koga Irrigation Schemes in Amhara Region, North western Ethiopia. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci.* 4(5):95-100

**Ahmad Zahoor. 2017.** Modulation in water relations, chlorophyll contents and antioxidants activity of maize by foliar phosphorus application under drought stress. *Pakistan Journal of Botany*. 49. 11-19.

**Aisha Rizk F.A., Shaheen A.M. y Abdel-Mouty M.M. 2007.** Onion Plant Growth, Bulbs Yield and its Physical and Chemical Properties as Affected by Organic and Natural Fertilization. Department of Vegetable Research, National Research Centre, Dokki, Egypt.

**Alva A.K. 2005.** Role of Fertigation in Horticultural Crops: Citrus. Optimizing the Utilization of Water and nutrients In International Symposium on fertigation. *Agricultural Research Service, Vegetable and Forage Crop Research Unit*, 24106 North Bunn Road, Prosser, WA 99350, USA.

**Bayer. 2018.** La cebolla en el campo mexicano, mercado y producción.  
<https://www.vegetables.bayer.com/mx/es-mx/recursos/noticias/la-cebolla-en-el-campo-mexicano-mercado-y-produccion.html> Consultado 22 Junio de 2023

**Benacchio S.S. 1982.** Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal. De Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela.

**Blanco M., Carlos y Lagos O. y José. 2017.** Manual de producción de Cebolla. Santiago, Chile: Boletín INIA - *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. no. 380. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6711>

**Borrego, J. M. 2002.** *Horticultura herbácea especial* (5.a ed.). Editorial Mundi-Prensa Libros. México.

**Brewster, J. 2001.** *Las cebollas y otros alliums*. Zaragoza, España. Acribia. 101 - 102 p.

**Brewster, J. 2008.** Onions and other vegetable alliums. En CABI eBooks (2.a ed., Vol. 15). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781845933999.0000>

**Brindis, J. G. G. 2007.** *Semillas hortícolas: Vol. Tomo II (Primera)*. Comunica Diseña. México. 190 p.

**Cakmak I. 2014.** ¿Por qué las plantas necesitan zinc? 3er. *Congreso Internacional de Nutrición y Fisiología Vegetal Aplicadas*. INTAGRI. Guadalajara, Jalisco, México.

**Cakmak I. 2015.** Zinc para la Producción Global Sustentable de Cultivos y mejores Dietas Nutricionales. *Conferencia del Curso Internacional de Nutrición de Cultivos*. Intagri.

**Castell, V., y Díez, M. 2000.** *Colección de semillas de cebolla del Centro de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana*. Madrid, España. 26 p.

**Chang Wei., Qiujuan Jiao., Evgenios Agathokleous., Haitao Liu., Gezi Li., Jingjing Zhang., Shah Fahad. Y Ying Jiang. 2022.** Hormetic effects of zinc on growth and antioxidant defense system of wheat plants, *Science of The Total Environment*, Volume 807, Part 2, 150992, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150992>.



**Dilruba S., Alam M. S., Rahman M. M. y Hasan M. Z. 2006.** Influence of Nitrogen and Potassium on Yield Contributing Bulb Traits of Onion. *International Journal of Agricultural Research*, 1(1), 85-90.

**Doorenbos J. y A.H. Kassam. 1979.** Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 33. FAO. Roma.

**Dudhat M., Chovatia P., Sheta B., Rank H. y Parmar H. 2010.** Effect of Nitrogen, Phosphorous and Potash on Growth and Bulb Yield of Onion (*Allium cepa* L.). *An Asian Journal Of Soil Science*, 5(1), 189-191. Retrieved from <https://i-scholar.in/index.php/Ajss/article/view/163802>

**Duran, Ramírez, F.D.R. 2013.** *Seguridad alimentaria cultivando hortalizas: Vol. Volumen 1* (Primera edición). Grupo Latino Editores S.A.S. Colombia.

**Fageria, Nk. 2009.** *El uso de nutrientes en plantas de cultivo*. Taylor y Francisco Grupo, Boca Ratón: Florida, Estados Unidos.

**Fernández M. T. 2007.** Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XLI (2), 51-57. Fecha de consulta 22 de Junio de 2023 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>

**Fernández V. y Brown P. 2013.** From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Frontiers in Plant Science*, Vol 4, Article 289, pp 1-5.

**Gómez Manuel Iván., Castro Hugo E., Gómez Clara Johanna y Gutiérrez Oscar Ferney. 2007.** Optimización de la producción y calidad en cebolla cabeza (*Allium cepa*) mediante el balance nutricional con magnesio y micronutrientes (B, Zn y Mn), Valle Alto del Río Chicamocha, Boyacá Agronomía Colombiana, vol. 25, núm. 2, julio-diciembre, pp. 339-348 Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia

**INTAGRI. 2017.** Las Funciones del Potasio en la Nutrición Vegetal. *Serie Nutrición Vegetal* Núm. 100. Artículos Técnicos de Intagri. México. 4 p.

**INTAGRI. 2017.** Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura. *Serie Nutrición Vegetal* Núm. 105. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p

**Japón, Quintero J. 1982.** *Cultivo extensivo de la cebolla*. PUBLICACIONES DE EXTENSIÓN AGRARIA, Corazón de María, Madrid. España

**Khan S. y Kuruwanshi V. B. 2015.** Foliar nutrition of plants. *Rashtriya Krishi*. Hind Agricultural Research and Training Institute, India. 10 (1): 54-55

**Khatemenla V.B., Singh Trudy Tengse A., Sangma y Maiti C.S. 2018.** Effect of Zinc and Boron on Growth, Yield and Quality of Onion (*Allium cepa* L.) cv. *Agrifound Dark* Red. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 7(4): 3673-3685. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.704.413>

**Kovacs G. 1986.** The importance of environmental, plant and spray characteristics for any foliar nutrition programmer to be successful. pp. 26-43. In: A. Alexander (Ed.). Foliar fertilization. *Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization* by Schering Agrochemical Division. Berlin.

**Lu X., Wang J., Al-Qadiri H. M., Ross C. F., Powers J. R., Tang J. y Rasco B. A. 2011.** Determination of total phenolic content and antioxidant capacity of onion (*Allium cepa*) and shallot (*Allium oschaninii*) using infrared spectroscopy. *Food chemistry*, 129(2), 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.105>

**Martínez L. E. R., Rullán G. J. F., Asencio I. C., De L Lugo M., Vargas L. I. R., Vicente N. E., Comas M., Rojas N. y Conty L. 2012.** CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA. Conjunto Tecnológico para la Producción de Cebolla. <https://scholar.uprm.edu/handle/20.500.11801/2591>

**Mata H., Patishtán J., Vázquez E., & Ramírez. 2011.** Fertirrigación del cultivo de cebolla con riego por goteo en el sur de Tamaulipas (Primera, Vol. 5). <http://www.producetamaulipas.net/folleto%20tecnico/2010-2011/Fertirrigacion%20del%20Cultivo%20de%20Cebolla/Folleto%20Tecnico%20Fertirrigacion%20del%20Cultivo%20de%20Cebolla.pdf>

**Observatorio de Complejidad Económica. 2022.** Cebollas en México. Observatorio de Complejidad Económica. <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/onions/reporter/mex>

**Refat M. S., Hamza R. Z., Adam A. M. A., Saad H. A., Gobouri A. A., Al-Harbi F. S., Al-Salmi F. A., Altalhi T. y El-Megharbel S. M. 2021.** Quercetin/Zinc complex and stem cells: A new drug therapy to ameliorate glycometabolic control and pulmonary dysfunction in diabetes mellitus: *Structural characterization and genetic studies*. PloS one, 16(3), e0246265. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246265>.

**Reveles H., M. R. Velásquez V., L. R. Reveles T. y J. A. Cid R. 2014.** Guía para la producción de cebolla en Zacatecas. Folleto técnico No. 62. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)*.

**Rivera Martínez L. E., Fornaris Rullán G. J., Cabrera Asencio I., Lugo M. de L., Rivera Vargas L. I., Vicente N. y Conty L. 2012.** Conjunto tecnológico para la producción de cebolla. Universidad de Puerto Rico, Colegio de Ciencias Agrícolas, Rio Piedras, Puerto Rico. <https://hdl.handle.net/20.500.11801/2593>

**Salunkhe, D. K., y Kadam, S. S. 2004.** Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas: Producción, composición, almacenamiento y procesado. Zaragoza, España: Acribia. 385 p.

**Simon T., Tora A.S., y Urkato S. 2014.** The Effect of Variety, Nitrogen and Phosphorous Fertilization on Growth and Bulb Yield of Onion (*Allium Cepa L.*) at Wolaita, Southern Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 4, 89-96.

**Singh, P., Arif, Y., Bajguz, A. y Hayat, S. 2021.** The role of quercetin in plants. Plant physiology and biochemistry: PPB, 166, 10–19. Department of Botany, *Plant Physiology Section, Faculty of Life Sciences*, Aligarh Muslim University, Aligarh, 202002, India <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.023>

**Suleria H. A., Butt M. S., Anjum F. M., Saeed F. y Khalid N. 2015.** Onion: nature protection against physiological threats. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(1), 50–66. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.646364>

**Szkudelski T. y Szkudelska K. 2011.** Anti-diabetic effects of resveratrol. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1215, 34–39. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05844.x>

**Tariq A., Bhat M.A., Chattoo F., Mushtaq F., Akhter S.A., Mir M.Y., Zargar K.P., Wani M.D. Shah y Ejaz A. Parry. 2018.** Effect of Zinc and Boron on Growth and Yield of Onion under Temperate Conditions. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 7(4): 3776-3783. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.704.425>

**Torres, M. L. 2016.** *Horticultura (1.a ed.)*. Editorial Trillas. México.

**Trinidad Santos A. y Aguilar Manjarrez D. 1999.** *Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos*. Terra Latinoamericana. 17 (3): 247-255.

**Umesh Acharya., Narayan Sharma Rimal K., Venkatesan T., Saraswathi K.S. y Subramanian. 2015.** Response on growth, yield and quality parameters of Multiplier Onion (*Allium cepa L. var. aggregatum Don.*) var. CO(On)5 with different doses and method of Zinc and Boron application; *IJAAR*, V6, N4, April, P59-67

**Valencia Sandoval K. y Zetina Espinosa A. M. 2017.** La cebolla mexicana: un análisis de competitividad en el mercado estadounidense, 2002-2013. *Región y sociedad*, 29(70). <https://doi.org/10.22198/rys.2017.70.a34>

**Waraich E.A., Ahmad R. y Ashraf M.Y. 2011.** Papel de la nutrición mineral en el alivio del estrés por sequía en las plantas. *Revista Australiana de Ciencias de los cultivos*, 5(6), 764-777