

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno y Fertilización Nitrogenada en la  
Producción de Calabacita (*Cucurbita pepo* L.) Var. Grey zucchini

Por:

**BENJAMÍN JIMÉNEZ DE LA TORRE**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno y Fertilización Nitrogenada en la  
Producción de Calabacita (*Cucurbita pepo* L.) Var. Grey-zucchini

Por:

**BENJAMÍN JIMÉNEZ DE LA TORRE**

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. Valentín Robledo Torres

Coasesor



M.C. Belén Guadalupe Muñoz Rocha

Coasesora



Dr. Jerónimo Landeros Flores

Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2023

## 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, graficas, 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.

Pasante



---

Benjamín Jiménez De La Torre

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por acobijarme durante mi formación profesional y por permitirme cumplir con una de mis metas.

**Al Dr. Armando Hernández Pérez**, por ser mi maestro, asesor de tesis y amigo, le agradezco el haberme compartido parte de su conocimiento y formar parte de mi formación profesional.

**Al Dr. Valentín Robledo Torres**, por su apoyo en este trabajo de investigación.

**A la M.C. Belén Guadalupe Muñoz Rocha**, por la amistad y apoyo que me brindó durante la realización de este proyecto.

**A todos los doctores y doctoras** que con su granito de arena contribuyeron a mi formación profesional.

Agradezco a todos mis compañeros y amigos en especial a mi amiga Laura y mis amigos Alexis, Fernando, Ponciano, José, por haberme brindado su amistad y compañía en esta etapa de mi vida profesional, nunca los olvidare.

## DEDICATORIA

A **Dios** por estar siempre a mi lado y por sentir que nunca me ha soltado de la mano en esta película llamada “vida”.

Este logro va con especial dedicación a mi madre **Antonia De La Torre Vázquez**, por su apoyo incondicional, sacrificio y esfuerzo, agradezco cada uno de los consejos que me ha dado para mejorar en cada aspecto de mi vida, cada una de sus palabras y enseñanzas las llevo grabadas en mi mente y mi corazón.

A mi abuela **Guadalupe Morales †** y mi abuelo **Ezequiel Jiménez †** que, a pesar de ya no estar físicamente a mi lado, siento que en el lugar donde se encuentran, me siguen cuidando como mis ángeles de la guarda, gracias por todos los consejos que me dieron, nunca los olvidaré.

A mis **tíos, tías, primos y primas** por hacerme compañía en aquellos momentos en que los necesitaba.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XII</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivo general</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Hipótesis</b> .....	<b>3</b>
<b>2.- REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Historia y origen</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Importancia económica y social</b> .....	<b>4</b>
<b>2.3 Clasificación y Descripción botánica</b> .....	<b>4</b>
<b>2.4 Requerimientos del cultivo</b> .....	<b>6</b>
2.4.1 Suelo .....	6
2.4.2 Temperatura .....	6
2.4.3 Humedad .....	6
2.4.4 Luminosidad .....	6
2.4.5 Requerimientos hídricos .....	7
<b>2.5 Cosecha</b> .....	<b>7</b>
<b>2.6 Fertilización</b> .....	<b>8</b>
2.6.1 Nitrógeno (N) .....	8
2.6.2 Fósforo (P).....	8
2.6.3 Potasio (K).....	9
<b>2.7 Consumo de fertilizantes minerales en México</b> .....	<b>9</b>
<b>2.8 Problemática del uso de los fertilizantes, alternativas y efectos en el cultivo</b> .....	<b>10</b>
<b>2.9 Agricultura Orgánica</b> .....	<b>11</b>
<b>2.10 Tipos de fertilizantes</b> .....	<b>11</b>
2.10.1 Biofertilizantes .....	11
2.10.2 Abonos orgánicos .....	12

2.10.3 Organominerales .....	13
<b>2. 11 Principales géneros de Bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) .....</b>	<b>13</b>
2.11.1 <i>Azotobacter</i> spp.....	14
2.11.2 <i>Azospirillum</i> spp.....	15
2.11.3 <i>Rhizobium</i> spp .....	15
<b>2.12 Fijación Biológica de Nitrógeno .....</b>	<b>16</b>
<b>3.- MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Localización del experimento .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Instalación del experimento.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Material vegetal .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4 Tratamientos .....</b>	<b>17</b>
<b>3.5 Diseño experimental.....</b>	<b>18</b>
<b>3. 6 Siembra.....</b>	<b>18</b>
<b>3.7 Labores culturales .....</b>	<b>18</b>
<b>3.8 Riego y fertilización .....</b>	<b>19</b>
<b>3.9 Control de plagas y enfermedades .....</b>	<b>19</b>
<b>3.10 Cosecha.....</b>	<b>19</b>
<b>3.11 Variables evaluadas.....</b>	<b>19</b>
3.11.1 Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), conductividad eléctrica (CE) y potencial de hidrogeno (pH) de la solución del suelo. ....	19
3.11.2 Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) en la savia del peciolo de las hojas de la planta calabacita. ....	20
3.11.3 Altura de la planta (cm).....	20
3.11.4 Diámetro de tallo (cm) .....	20
3.11.5 Peso promedio de fruto (g) .....	20
3.11.6 Rendimiento por planta (Kg) .....	20
3.11.7 Rendimiento $\text{t ha}^{-1}$ .....	21
<b>3.12 Análisis estadísticos .....</b>	<b>21</b>
<b>4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 Concentración de iones y valor de conductividad eléctrica (CE) y pH en la solución de suelo.....</b>	<b>22</b>
4.1.1 Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	24
4.1.2 Potasio ( $\text{K}^+$ ) .....	25

4.1.3 Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ).....	26
4.1.4 Conductividad Eléctrica (CE).....	27
4.1.5 Potencial de Hidrogeno (pH) .....	28
<b>4.2 Concentración de iones en la savia de la planta.....</b>	<b>29</b>
4.2.1 Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	31
4.2.2 Potasio ( $\text{K}^+$ ) .....	32
4.2.3 Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ).....	33
<b>4.3 Variables de crecimiento.....</b>	<b>34</b>
4.3.1 Altura de la planta.....	34
4.3.2 Diámetro de tallo (DT) .....	35
<b>4.4 Variables de rendimiento .....</b>	<b>36</b>
4.4.2 Peso promedio de fruto (PPF) .....	38
4.4.1 Rendimiento por planta.....	39
4.4.3 Rendimiento $\text{t ha}^{-1}$ .....	40
<b>5.- CONCLUSIONES .....</b>	<b>42</b>
<b>6.- LITERATURA CITADA.....</b>	<b>43</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.-</b> Tratamientos aplicados. ....	<b>18</b>
<b>Cuadro 2.-</b> Efecto de la inoculación de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) y del nitrógeno en la concentración de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), potencial de hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica (CE) de la solución de suelo en la fase de floración y fase de producción de calabacita Var. Grey zucchini. ....	<b>24</b>
<b>Cuadro 3.-</b> Efecto de la inoculación de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) y del nitrógeno en la concentración de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) de la savia de la planta en la fase de floración y fase de producción de calabacita Var. Grey zucchini. ....	<b>31</b>
<b>Cuadro 4.-</b> Efecto de la inoculación de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) y del nitrógeno en la altura de la planta, diámetro de tallo, peso promedio de fruto y rendimiento por planta y por hectárea de calabacita Var. Grey zucchini. ....	<b>38</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de  $\text{NO}_3^-$  de la solución suelo en plantas de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media. .... 25
- Figura 2.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de  $\text{K}^+$  de la solución suelo en plantas de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media. .... 26
- Figura 3.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  de la solución suelo en plantas de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media. .... 27
- Figura 4.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la CE de la solución suelo en plantas de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media. .... 28
- Figura 5.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en el pH de la solución suelo en plantas de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media.....29
- Figura 6.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la savia del pecíolo de hoja de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media. .... 32
- Figura 7.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de  $\text{K}^+$  en la savia del pecíolo de hoja de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media. .... 33
- Figura 8.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en la savia del pecíolo de hoja de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media. .... 34
- Figura 9.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la altura de plantas de calabacita Var. Grey zucchini. Las barras indican el error estándar de la media. .... 35
- Figura 10.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en el DT de calabacita Var. Grey zucchini. Las barras indican el error estándar de la media. .... 36

**Figura 11.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en el PPF de calabacita Var. Grey zucchini. Las barras indican el error estándar de la media. .... **39**

**Figura 12.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en el rendimiento por planta de calabacita Var. Grey zucchini. Las barras indican el error estándar de la media. .... **40**

**Figura 13.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en el rendimiento por hectárea de calabacita Var. Grey zucchini. Las barras indican el error estándar de la media. .... **41**

## RESUMEN

El experimento se realizó con el propósito de observar el efecto de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la producción de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) Var. Grey zucchini, como una alternativa para suplir la fertilización nitrogenada en los suelos. El experimento se llevó a cabo en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se evaluaron tres dosis de N (0.0, 60 y 120 Kg ha<sup>-1</sup>) y tres dosis de bacterias (0.0, 1.0 y 2.0 l ha<sup>-1</sup>). La fertilización base fue de 120 de N, 77 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 210 K<sub>2</sub>O (testigo de referencia). En todos los tratamientos se aplicaron las mismas dosis de fósforo (P) y potasio (K). El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con arreglo factorial de 3 x 3, cada tratamiento consistió en seis repeticiones. Se evaluaron altura de planta, diámetro de tallo, peso promedio de fruto, rendimiento por planta y por hectárea, además, se determinó la concentración nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), calcio (Ca<sup>2+</sup>), pH y conductividad eléctrica (CE) de la solución de suelo y concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup> en la savia del peciolo de la hoja en la fase de floración y producción del cultivo. Los resultados obtenidos en este experimento reflejan que la mejor interacción fue con la aplicación de 1 l de las BFN más el 100 % de la fertilización nitrogenada, pues la altura de la planta, diámetro de tallo, peso promedio de fruto, rendimiento por planta y por hectárea obtuvieron un incremento del 15 %, 5 %, 11 %, 24 % y 24 % respectivamente, a comparación del testigo absoluto, en cuanto al testigo de referencia se obtuvo un incremento del 4 %, 2 %, 4 %, 1 % y 1 % respectivamente, además, en este tratamiento también se obtuvo la mayor concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la solución del suelo en la fase de producción con un incremento de 8 % con respecto al testigo absoluto y un 30 % respecto al testigo de referencia, del mismo modo, la concentración de este ion en la savia de la planta fue mayor tanto en la fase de floración como en la de producción con un incremento del 245 % y 549 % respectivamente en el testigo absoluto y un 30 % y 174 % respectivamente en el testigo de referencia. El uso de las BFN promueve mayor crecimiento y rendimiento de fruto.

**Palabras clave:** nitrato, potasio, calcio, floración, producción, crecimiento, rendimiento.

## 1.- INTRODUCCIÓN

La familia cucurbitácea es una de las más grandes, aproximadamente son 130 géneros y abarca 800 especies que se cultivan en climas cálidos alrededor del mundo. La Calabacita (*Cucurbita pepo* L.), es una de las más importantes de esta familia, pues, presenta gran importancia económica y medicinal y, además, se aprovecha principalmente para su consumo en fresco; es rica en vitaminas y minerales. Las semillas comúnmente se emplean con fines alimenticios al igual que su fruto, mientras que las flores (principalmente las masculinas) y partes tiernas de los tallos, se utilizan poco para consumo como verdura (Apáez-Barrios *et al.*, 2019). Dentro de su importancia en las propiedades medicinales, se encuentran sus efectos como anticancerígeno, potencial antioxidante y antimicrobiano; como inhibidor de la formación de cálculos renales, hipotensor, antiinflamatorio y coagulador de la sangre (Ratnam, Najjibullah e Ibrahim, 2017).

Sin embargo, la producción de esta hortaliza extrae importantes cantidades de nutrimentos principalmente nitrógeno y potasio (Sedano-Castro *et al.*, 2011), es por ello por lo que, los agricultores suministran cantidades excesivas de fertilizantes químicos, pero es una práctica de mayor costo y reduce las utilidades del productor y a su vez provoca la contaminación y degradación de los suelos por el uso excesivo de estos (Alvarado-Carrillo, Díaz-Franco y Alejandro-Allende, 2017).

Por ello, se debe implementar una agricultura alternativa tal como el uso de biofertilizantes a base microorganismos aplicados al suelo y/o planta, con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010). En general, el uso de los biofertilizantes en los sistemas productivos es una alternativa viable y de gran importancia, para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sustentable, ya que permite una producción de bajo costo, no contamina el ambiente y mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de la fertilidad y biodiversidad (Martínez-Viera, Dibut y Ríos, 2010).

Existen diferentes tipos de biofertilizantes, siendo los que están constituidos por bacterias los de mayor importancia, principalmente las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, éstas poseen la capacidad de convertir el nitrógeno

atmosférico ( $N_2$ ), que constituye el 78 % en la atmosfera, en formas asimilables para la planta tal como amonio. La fijación biológica de nitrógeno provee la mayor fuente externa de nitrógeno para los diferentes ecosistemas. Este proceso es responsable del 65 % de la fijación anual, mientras que los procesos industriales solamente representan el 25 %. Por lo anterior, pueden sustituir el uso de fertilizantes químicos, contribuyendo a la mejora y productividad de los cultivos (Mantilla-Paredes *et al.*, 2009).

### **1.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de las diferentes concentraciones de bacterias fijadoras de nitrógeno y de la fertilización nitrogenada en la producción de calabacita Var. Grey zucchini.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la interacción de la dosis de bacterias fijadoras de nitrógeno y fertilización nitrogenada en las concentraciones de nitrato, potasio, calcio, el valor del pH y conductividad eléctrica en la solución del suelo durante la fase de floración y producción de calabacita Var. Grey zucchini.
- Determinar el efecto de la interacción de la dosis de bacterias fijadoras de nitrógeno y fertilización nitrogenada en las concentraciones de nitrato, potasio y calcio en la savia del peciolo de la hoja durante la fase de floración y producción de calabacita Var. Grey zucchini.
- Obtener el efecto de la interacción en diferentes dosis de las bacterias fijadoras de nitrógeno y la fertilización nitrogenada en la altura de la planta, diámetro de tallo, peso promedio de fruto, rendimiento por planta y por hectárea de calabacita Var. Grey zucchini.

### **1.3 Hipótesis**

Al menos una de las interacciones entre la concentración de bacterias fijadoras de nitrógeno y fertilización nitrogenada afectará los iones de la solución de suelo y de la savia de la hoja, crecimiento y producción de calabacita Var. Grey zucchini.

## **2.- REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Historia y origen**

La calabacita (*Cucurbita pepo* L.) es originaria de México y Norte América (Orozco *et al.*, 2016). Datos arqueológicos señalan que esta especie está ampliamente distribuida en esta región desde hace unos 7000 a.C. En Centro América también, son de gran importancia ya que son utilizadas en la alimentación desde tiempos remotos (Camargo y González, 2020).

### **2.2 Importancia económica y social**

En el año 2020 la producción mundial del cultivo de calabacita fue de 27, 962, 742 toneladas, las cuales se obtuvieron de un área cosechada de 2, 019, 564 hectáreas, siendo el rendimiento promedio por hectárea de 13.8 toneladas. Dentro de los principales países productores de esta hortaliza destaca China con una producción de 7, 433, 743 toneladas (26.6 %), seguido por India con 5, 113, 792 toneladas (18.3 %) y Ucrania con 1, 268, 270 toneladas (4.5 %) (FAOSTAT, 2021).

A nivel nacional el área total de este cultivo fue de 26,370.10 hectáreas, siendo el Estado de Sonora el que mayor producción ha reportado, en cifras sería 184,236 toneladas, seguido por el estado de Sinaloa con 78, 215, Puebla con 70, 150, Hidalgo con 32,848 y Michoacán con 30, 419 (SIACON, 2021).

En el último decenio esta hortaliza tuvo una tendencia positiva ya que la producción actual es de 589,802 toneladas, con estas cifras el país es el productor número cinco, contribuyendo con el 2.1 % de la producción mundial, sin embargo, la producción del año 2020 fue 14.8 % menor que el año 2019, esto como resultado de menores siembras y un bajo rendimiento (SIAP, 2021).

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

Clase: Angiospermae

Subclase: Dicotiledonea

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceae

Tribu: Cucurbitineae

Género: *Cucurbita*

Especie: *Cucurbita pepo*.

(Pérez, Márquez y Peña, 1997).

La calabacita es una planta anual, con tallos voluminosos, estriados, ásperos al tacto y cortos siendo susceptible a heladas. Dependiendo de la variedad su crecimiento puede ser semideterminado o determinado, tiene un tallo duro y angulado, la base del limbo es codiforme y poco lobulado, con un ápice agudo (Domingo, 2015), con entrenudos muy cortos y zarcillos poco desarrollados (Messiaen, 1979).

Es una planta monoica que presenta entre 20 y 40 flores unisexuales dominando, por lo común, las flores masculinas. La predominancia de este tipo de flor sobre las femeninas es consecuencia de la selección artificial, lo que asegura la polinización y consecuentemente el desarrollo de un buen número de frutos, así mismo estas flores surgen más temprano en la planta (Pérez, Márquez y Peña, 1997). Las flores masculinas tienen un pedúnculo más largo y delgado, presentan pétalos amarillo anaranjado a diferencia de las femeninas (Romo-Reyes, Loza-Llamas y Méndez-Morán, 2018). A altas temperaturas y gran duración del día la formación de flores femeninas puede demorarse (Pérez, Márquez y Peña, 1997).

Los frutos se consumen aún inmaduros, son cilíndricos, su color varía desde verde claro hasta verde oscuro e incluso amarillo, el interior es blanco, tiene una superficie principalmente lisa; el pedúnculo de inserción en el fruto es de sección pentagonal y no se ensancha en su contacto con éste (Maroto, 2002). El color de las semillas puede variar desde el blanco, crema hasta ligeramente café, para una buena germinación la temperatura debe ser mayor a 15°C, siendo la óptima los 22°C (Romo-Reyes, Loza-Llamas y Méndez-Morán, 2018).

El sistema radicular se constituye por una raíz principal, raíces secundarias y abundantes pelos absorbentes. Las hojas se componen por peciolos alargados y huecos, un área foliar abundante, con manchas blancas en su superficie y una nervadura palmeada. El follaje representa 59.4 % de la biomasa total, a los 67 después de la siembra bajo condiciones climáticas óptimas (Sedano-Castro *et al.*, 2005).

## 2.4 Requerimientos del cultivo

Las exigencias del cultivo en cuestión de requerimientos edafoclimáticos son los siguientes:

### 2.4.1 Suelo

Es moderadamente tolerante a la acidez y a la salinidad siendo su pH de 5.5 a 6.8 (Valadez, 1998), prospera en cualquier tipo de suelo, aunque prefiere suelos de textura media, ricos en materia orgánica y profundos (Peirce, 1987).

### 2.4.2 Temperatura

La temperatura óptima oscila entre los 18°C-27°C (Salunkhe y Kadam, 2004) soporta temperaturas máximas de 32°C y una mínima de 10°C. La germinación se ve beneficiada con temperaturas que oscilan entre los 20°C-25°C. Con temperaturas en el suelo mayor a los 40°C y menor a 15°C la germinación se ve afectada. Durante el desarrollo vegetativo requiere de 25°C-30°C, en cuanto a la floración, la temperatura óptima oscila alrededor de los 20°C-25°C, en ambas fases la mínima debe ser de 10°C y máxima de 35°C (Durán, 2013).

### 2.4.3 Humedad

El calabacín es exigente en cuanto a la humedad del suelo, necesaria para la formación de la planta, que tiene una gran masa foliar y frutos con altos contenidos de agua (alrededor del 95 %). El exceso de humedad en el suelo impide la germinación y pueden ocasionar asfixia radicular; una baja humedad puede provocar la deshidratación de los tejidos, la reducción del desarrollo vegetativo, una deficiente fecundación por caída de flores, por lo que se puede ver afectada negativamente la producción, además de tener un retraso en el crecimiento. La humedad relativa óptima es de 70 % - 80 %, una humedad mayor a este rango favorece la aparición de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación (Jaramillo *et al.*, 2019).

### 2.4.4 Luminosidad

El cultivo de *Cucurbita pepo* L. es exigente en cuanto a horas luz se refiere, por lo que es necesario tomar en cuenta que la luz tiene un efecto positivo sobre la fotosíntesis, la floración o precocidad de los frutos, lo que sin duda se traduce en

una mayor producción. La intensidad lumínica determinará la relación final de flores masculinas y femeninas, por lo que en periodos cortos de luz se favorece la producción de femeninas, que necesitan 10 horas de fotoperiodo (Jaramillo *et al.*, 2019).

#### 2.4.5 Requerimientos hídricos

Por presentar una gran masa foliar y un elevado contenido de agua del fruto, el calabacín es considerado un cultivo exigente en agua, necesita riegos más frecuentes con la aparición de los primeros frutos. Sin embargo, los encharcamientos le son perjudiciales, y en las primeras fases del cultivo no son convenientes los excesos de agua en el suelo, con el objetivo de tener un buen enraizamiento.

El consumo de agua dependerá del marco de siembra, la época del cultivo y el sistema de riego que se esté utilizando, oscilando en cultivos con riego localizado (goteo o exudación) entre los 2000 y 2500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y entre 500 y 600 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en riego a pie (a manta o por surcos) por ciclo de cultivo (Durán, 2013).

### 2.5 Cosecha

La recolección de calabacín se lleva a cabo a los 45-65 días tras la siembra, si la temperatura ha sido adecuada. Esta actividad se efectúa cuando los frutos no han alcanzado su desarrollo definitivo.

La cosecha es escalonada y se realiza de manera manual, para ello es recomendable el uso de tijeras para el corte de frutos, dejando una longitud del pedúnculo de 1 a 2 cm. El peso aproximado del fruto debe de ser de 200-250 g, siendo longitudes normales y adecuadas para ser cosechadas las de 15-18 cm. La recolección de calabacines, una vez recolectados, debe ser muy cuidadosa, puesto que la piel de los frutos es muy sensible a todo tipo de magulladuras.

En buenas condiciones de cultivo pueden obtenerse entre 30 y 50 t ha<sup>-1</sup>, mientras que, en invernadero los rendimientos pueden alcanzar e incluso rebasar las 100 t ha<sup>-1</sup> (Maroto, 2002).

## 2.6 Fertilización

Como se ha mencionado anteriormente, el cultivo para su producción se requiere de una gran demanda de nutrientes, para ello el uso de fertilizantes es esencial para alcanzar los mayores rendimientos. No obstante, la forma de producción tradicionales; es decir, con altas dosis de fertilizantes químicos, han originado problemas de contaminación en suelos y aguas, lo que ocasiona la degradación de estos recursos naturales, por lo que se ha optado en buscar alternativas para evitar el abuso de esta práctica, tal como productos de origen orgánico o inoculantes biológicos. Con el uso de bacterias y hongos se puede apreciar un incremento en la absorción de los elementos nutritivos por las plantas e incrementar el rendimiento en campo (Aguilar *et al.*, 2019). Entre los principales elementos que consume la planta se encuentran:

### 2.6.1 Nitrógeno (N)

Es uno de los nutrientes que más influye en el rendimiento de los cultivos. El nitrógeno favorece el desarrollo foliar e intensifica el color verde de las hojas; forma parte de componentes celulares esenciales, como aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos; además, es regulador del fósforo y potasio y otros nutrimentos (Sedano-Castro *et al.*, 2011).

La deficiencia de N tiene una gran influencia en el crecimiento de la planta. Los primeros síntomas empiezan con un debilitamiento, un pobre crecimiento, las hojas no crecen y se tornan rígidas y de un color verde amarillento, y es probable que las nerviaciones de las hojas se muestren más pronunciadas.

Cuando hay un exceso de fertilización nitrogenada, las plantas presentan un exceso del desarrollo foliar; un pobre rendimiento de frutos por retardos en la floración y la formación de semillas; un menor desarrollo radicular, y hojas de color verde oscuro. (Bojacá *et al.*, 2012).

### 2.6.2 Fósforo (P)

La absorción de este elemento se da principalmente en forma de fosfato. La mayor parte del fósforo (P) presente en los suelos no es aprovechable por las plantas, debido a su gran insolubilidad y fijación en los coloides del suelo. Su absorción y

disponibilidad dependen del pH del suelo y, a medida que el pH aumenta, es menos disponible para las plantas.

El fosfato es relativamente móvil dentro de las plantas, por lo que puede moverse de manera ascendente y descendente en el floema, es decir, que las hojas jóvenes pueden ser abastecidas con rapidez. El P Constituyente de coenzimas, ADN y ARN, hace parte del ATP, promueve el desarrollo radical, y ayuda a desarrollar resistencia a enfermedades (Jaramillo *et al.*, 2019).

Las plantas con bajos contenidos de P son débiles, ya que este elemento es un componente de casi todos los procesos de crecimiento y síntesis de compuestos. Las hojas de las plantas carentes de P son delgadas, pequeñas, con nervaduras poco pronunciadas y coloraciones que van de rojizas a violetas. Así mismo, la maduración del fruto se retrasa.

Los excesos de P son poco comunes, debido a la naturaleza del elemento. Cuando ocurren se deben principalmente a antagonismos con el hierro, que generan una clorosis férrica (rojiza); en otros casos, puede darse un mayor crecimiento de la parte radical, que causa un desbalance con la parte aérea, además causa la aceleración de la maduración de los frutos (Bojacá *et al.*, 2012).

### 2.6.3 Potasio (K)

El potasio (K), absorbido en forma de catión  $K^+$ , es requerido por la planta principalmente en la etapa de crecimiento. Es un elemento con alta movilidad dentro de las plantas y se detecta con facilidad en todos sus órganos. Este elemento participa en la activación de varias enzimas, las relaciones hídricas, la transpiración, las relaciones energéticas, la traslocación de asimilados, la absorción de nitrógeno y síntesis de proteína, y los sistemas de defensa de la planta (INIFAP, 2005).

La deficiencia de esta nutriente afecta negativamente el rendimiento y calidad del cultivo, aumenta la vulnerabilidad a enfermedades y lo hace menos resistente a condiciones de estrés tales como sequías, heladas, etc. (Fageria, 2001).

## 2.7 Consumo de fertilizantes minerales en México

En el año 2017, la disponibilidad fue de 4.9 millones de toneladas de fertilizantes en el país, de los cuales el 66.4 % fue de nitrogenados, 22.2 % de fosfatados, 8.1 %

potásicos y 3.3 % son mezclas de los tres principales nutrientes mencionados anteriormente.

De esta disponibilidad el 79 % es importando y el resto es producido en el país, teniendo una mayor dependencia en fertilizantes nitrogenados, representando el mayor volumen (66.7 %) y valor de la importación (61.3 %) de los fertilizantes. De estos fertilizantes la urea es el de mayor volumen (48.7 %) y valor de las importaciones totales (45.9 %) de fertilizantes. La urea es importada principalmente de Rusia, China, Irán y Egipto que en conjunto representan el 80 % de la importación de este producto (CEDRSSA, 2019).

## **2.8 Problemática del uso de los fertilizantes, alternativas y efectos en el cultivo**

La aplicación de altas dosis de fertilizantes químicos, en algunos casos es justificada por los agricultores ante eventos climáticos extremos, tal como los huracanes, donde la alta precipitación lixivia los nutrientes del suelo. Por otra parte, una sobrefertilización de los suelos, así como una fertilización limitada, se consideran prácticas no deseables por las consecuencias negativas para el medio ambiente, así como por la reducida eficiencia económica, además del decremento de la biodiversidad y la degradación de los suelos.

Para la producción de *C. pepo*, como se ha mencionado anteriormente requieren altas cantidades de fertilizantes de síntesis química, especialmente el nitrógeno; es por ello, en la actualidad, existe un gran interés por reducir su uso debido a que afectan el medio ambiente. Para lograrlo, existen diferentes tecnologías; como el caso de la aplicación de zeolita, que en combinación con la fertilización química ha permitido reducir el 25 % la cantidad de nitrógeno y fósforo aplicados, obteniendo rendimientos superiores al de las plantas con fertilización base. Otras alternativas incluyen la sustitución total o parcial de fertilizantes químicos por fertilizantes orgánicos o por biofertilizantes, pues se obtienen rendimientos similares a los que se logran con la fertilización mineral a 50 % de la dosis recomendada al emplear gallinaza o biofertilizantes a base de micorrizas vesículo arbusculares; la harina de pescado también se considera una alternativa para la sustitución de la fertilización mineral (Alvarado-Camarillo *et al.*, 2021).

Sin embargo, el uso de fertilizantes es indispensable, debido a la baja fertilidad de la mayoría de los suelos, por lo que son necesarios para obtener un buen rendimiento y calidad (Aguilar-Carpio *et al.*, 2022); de hecho, el 50 % de la producción a nivel mundial se atribuyen a este tipo de fertilizantes (Alvarado-Camarillo *et al.*, 2021).

## **2.9 Agricultura Orgánica**

El impacto que ha provocado el uso de fertilizantes minerales ha sido ampliamente estudiado, tal como lo es el efecto que ha tenido en el suelo, agua, aire y en los últimos años la emisión de gases de efecto invernadero. Como consecuencia ha crecido la demanda por una producción de alimentos más sana tanto para la salud humana como para el medio ambiente pudiendo adoptar los principios de producción orgánica, biológica o ecológica como parte de la solución (Beltrán-Morales *et al.*, 2019). La importancia de la agricultura orgánica se ve reflejada en el área de producción y comercialización de productos orgánicos ya que va en aumento. Durante la primera década del presente siglo, fue el sector económico con mayor y continuo crecimiento, a una tasa del 20 % anual (Soto, 2020).

La agricultura orgánica es definida como un sistema de producción que mejora y mantiene la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas, basada fundamentalmente en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales, sin usar insumos que tengan efectos adversos. Entre algunos insumos o procedimientos que prohíbe este sector es el uso de agroquímicos, los pesticidas y transgénicos. Se prohíben algunos compuestos químicos mientras que otros están permitidos. Existen asociaciones que han ampliado el rango de prohibiciones, por ejemplo, hormonas, reguladores de crecimiento, edulcorantes, aditivos, conservadores sintéticos, aguas negras y/o tratadas, los plásticos, los monocultivos, la quema, la irradiación y la hidroponía (Zamilpa, Schwentesis y Ayala, 2015).

## **2.10 Tipos de fertilizantes**

### **2.10.1 Biofertilizantes**

Los biofertilizantes, también conocidos como bioinoculantes, inoculantes microbianos o inoculantes del suelo, son productos agrobiotecnológicos que

contienen microorganismos vivos o latentes (bacterias u hongos, solos o combinados) (Aguado-Santacruz, 2012), que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas ayudando a su nutrición y protección (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012). Estos bioinoculantes pueden ser aplicados a las semillas, la superficie de las plantas o el suelo para colonizar la rizosfera (Moreno *et al.*, 2018).

Estos microorganismos normalmente habitan en el suelo, aunque en poblaciones bajas y que, al incrementar sus poblaciones por medio de la inoculación artificial, ponen a disposición de la planta, mediante su actividad biológica, una gran parte de las sustancias nutritivas que requieren para su desarrollo, así como suministrar sustancias hormonales (Martínez-Viera, Dibut y Ríos, 2010).

De este modo, los biofertilizantes surgen como una alternativa para reducir el uso de fertilizantes químicos, que como parte de su metabolismo aumentan la fertilidad y benefician a las plantas, por lo que a estas bacterias se les ha denominado promotoras del crecimiento de las plantas (PGPRs). Entre sus actividades se encuentra la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos, producción de hormonas, antibióticos, y otros compuestos de importancia para el correcto desarrollo de cultivos. Algunos biofertilizantes a base de bacterias y otros microorganismos ya son comercializados; sin embargo, algunas veces no son efectivos debido a que provienen de condiciones edafoclimáticas totalmente diferentes, por lo que se prefiere el uso de estos microorganismos propios de los suelos donde van a ser utilizados, adaptados a las condiciones ecológicas y que puedan ser utilizados correctamente con la biota nativa (Escobar *et al.*, 2011).

#### 2.10.2 Abonos orgánicos

Es el material resultante de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, los cuales digieren los materiales, transformándolos en otros benéficos que aportan nutrientes al suelo y a las plantas que ahí crecen. Se obtienen de un proceso controlado y acelerado de descomposición de los residuos, que puede ser aeróbico o anaeróbico, dando lugar a un producto estable de alto valor como mejorador del suelo (Ramos y Terry, 2014).

Dentro de los abonos orgánicos utilizados se encuentra el humus de lombriz que ha demostrado ser un estimulante del rendimiento en una gran variedad de cultivos incluidas las hortalizas. También mejora la fertilidad natural de los suelos incluso aunque estén afectados por la salinidad, adicionalmente incide en el aumento de la actividad microbiana del suelo, además de aportar sustancias estimulantes del crecimiento vegetal, como fitohormonas (Reyes *et al.*, 2017).

Otros abonos orgánicos son el estiércol, gallinaza, compost, sangre seca, cuernos y huesos, entre otros. La harina de pescado es considerada como una buena alternativa como abono orgánico, ya que sus características químicas indican valores altos de nitrógeno (7.74 %) y de cenizas (34.7 %), por lo que puede ser utilizada en la nutrición vegetal, como complemento parcial del fertilizante inorgánico nitrogenado (Monares-Gallardo *et al.*, 2012).

### 2.10.3 Organominerales

Son considerados como abonos organominerales a la mezcla resultante de abonos orgánicos con fertilizantes minerales industriales. Sin embargo, al utilizar minerales naturales tal como la zeolita, caliza fosfatada, fosforita con abonos orgánicos tienen una mayor sostenibilidad en el agroecosistema (Cairo *et al.*, 2017).

Los fertilizantes organominerales tienen un efecto sinérgico en los rendimientos y en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Algunos efectos positivos se han registrado en la productividad del guayabo al combinar la gallinaza con algunos fertilizantes minerales, del mismo modo, la combinación del humus de lombriz con fertilizantes minerales aumenta el rendimiento en ají y mango, además del mantenimiento de varios indicadores de fertilidad del suelo.

Combinar los minerales con abonos orgánicos, además de ser una alternativa para la fertilización, facilita un manejo integrado de nutrientes, siendo posible el uso eficiente, rentable y ecológicamente sostenible de los fertilizantes minerales y la incorporación de materia orgánica en los suelos (Chaveli *et al.*, 2009).

## 2. 11 Principales géneros de Bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN)

Existen diferentes géneros de bacterias de vida libre o asociativa que fijan N<sub>2</sub>, pero solo algunas destacan por su potencial como biofertilizantes (Oliva, 2019). Dentro del grupo de las aerobias se encuentran *Rhizobium* (Fernández-Pascual, Nuria y

Felipe, 2002), *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia*, y *Azospirillum*; en las aerobias facultativas están *Enterobacter*, *Pseudomonas* y *Bacillus*; y las anaerobias *Metanobacterium*, *Clostridium* y *Desulfovibrio* (Oliva, 2019). Entre los principales géneros se encuentran:

#### 2.11.1 *Azotobacter* spp

Es un grupo de bacterias aeróbicas Gram negativas, fijadoras de nitrógeno que habitan en el suelo. En su simbiosis con las plantas éstas forman quistes de paredes gruesas resistentes a condiciones nocivas, en condiciones ambientales desfavorables; por lo general, son polimórficos y tienen un tamaño que oscila entre 2 y 10 micrómetros de largo y entre 1 y 2 de ancho (Sumbul *et al.*, 2020).

Son microorganismos de vida libre en el suelo que requieren de sustancias orgánicas como fuente de energía. La efectividad de este género es mayor combinado con el *Rhizobium* pues incrementan significativamente el peso y número de nódulos, la fijación de nitrógeno, así como el contenido de micronutrientes y macronutrientes, superando la inoculación individual (Gonzales *et al.*, 2018).

Los biofertilizantes y bioestimuladores elaborados a base de *Azotobacter chroococcum*, son comúnmente empleados en diferentes cultivos de importancia económica, demostrándose su mayor respuesta en hortalizas tales como tomate, cebolla, cebollino, pimiento, pepino, ajo, lechuga, acelga, berenjena, remolacha, rábano, coliflor y brócoli, entre otras.

El efecto de la bacteria *Azotobacter* sp. se puede apreciar desde los inicios del cultivo, incrementándose del 15-25 % el número de plántulas que emergen en los semilleros, se logra un aumento entre 20-36 % de los diferentes indicadores de crecimiento en plántulas como altura, número de hojas, diámetro del tallo, área foliar y biomasa vegetal, posibilitando el acortamiento entre 7-10 días del ciclo de obtención de la cosecha. En cuanto a la cosecha, se han registrado indicadores entre 28 y 35 % de aumento en cuanto al peso y diámetro de frutos (Lara, García y Oviedo, 2011).

### 2.11.2 *Azospirillum* spp

Estas bacterias son estrictamente aerobias cuando se les suministra fuentes de nitrógeno o microaerofilicas cuando están en un ambiente libre de N<sub>2</sub>, es decir, cuando necesitan fijar biológicamente el nitrógeno.

Este género tiene un metabolismo de carbono y nitrógeno lo que aumenta la capacidad para competir con la rizósfera, además son diazótrofos endófitos facultativas que, en otras palabras, pueden colonizar tanto el interior como la superficie de las raíces. La colonización ocurre principalmente en la zona de elongación y la zona de pelos radicales. Cuando tienen presencia en la rizósfera, éstas colonizan tanto la etapa de mucigel alrededor de las raíces (colonización externa), como los espacios intercelulares de las raíces (colonización interna).

*Azospirillum* prefiere temperaturas de 28°C-41°C, siendo altamente competitiva mientras coloniza la rizósfera, haciendo uso de diferentes fuentes nitrogenadas como amoniaco, nitrito, nitrato, nitrógeno molecular y aminoácidos, y fuentes de carbono como ácidos orgánicos (malato, piruvato, succinato y fructosa), para su correcto funcionamiento metabólico.

Del género *Azospirillum* se tienen registradas 15 especies a nivel mundial, de las cuales las más investigadas son *A. lipoferum* y *A. brasilense*, siendo de ocurrencia más común en gramíneas y forrajeras de regiones tropicales (Domingues *et al.*, 2020).

La inoculación con diferentes cepas de *Azospirillum* provoca el aumento de peso seco total, tamaño de la hoja, brotes, aparición temprana de espiga, peso y tamaño de grano, aumento en la altura de la planta, índice de área foliar y tasa de germinación (Hernández, Terry y Almogoea., 2015).

### 2.11.3 *Rhizobium* spp

Las bacterias del género *Rhizobium* tienen la capacidad de inducir en las raíces principalmente de las leguminosas la formación de estructuras especializadas llamadas nódulos, dentro de las cuales el N<sub>2</sub> atmosférico, que es muy estable y relativamente inerte, se reduce a iones amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) fácilmente asimilables por la mayoría de las especies vegetales (López-Alcocer *et al.*, 2017).

*Rhizobium* sp infecta y forma nódulos en plantas hospederas específicas, porque la bacteria contiene un plásmido grande que codifica la información que no se utiliza cuando crece en el suelo como organismo de vida libre, pero por otra parte es vital para infectar a la planta huésped susceptible. Es por esto que en la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa, resulta una interacción muy específica entre la bacteria y la planta (Hernández, Cubillos-Hinojosa y Milian, 2012).

La interacción *Rhizobium*-leguminosas depende de un acomplexado intercambio de señales, que se mantiene durante todo el proceso simbiótico. Estas plantas secretan flavonoides, reconocidos por bacterias compatibles y que inducen sus genes nod. Estos codifican las proteínas que sintetizan y exportan lipoquitooligosacáridos conocidos como factores Nod. Estos factores activan los procesos de infección e inician la división celular en la raíz, hasta la formación del nódulo y participan también en la fijación biológica del nitrógeno (Nápoles *et al.*, 2016).

### **2.12 Fijación Biológica de Nitrógeno**

El nitrógeno molecular ( $N_2$ ) no es fácilmente asimilable por las plantas debido al triple enlace que une los átomos que forma la molécula es difícil de romper; la única forma de aprovechar el  $N_2$  es mediante el proceso metabólico conocido como fijación biológica de nitrógeno, lo que asegura la disponibilidad de nitrógeno en los ecosistemas. Este proceso se lleva a cabo gracias a la acción de microorganismos del suelo mejor conocidos como “microorganismos fijadores de nitrógeno” todos los microorganismos que convierten el  $N_2$  en amoníaco lo hacen gracias a la enzima nitrogenasa, constituida por dos metaloproteínas: la proteína (I) llamada hierro-molibdeno-proteína, y la proteína (II) hierro-proteína; la enzima requiere la participación de otras dos proteínas: ferredoxina y flavodoxina, actuando como donadores de electrones y reductores naturales de la nitrogenasa. Los electrones son transportados a la nitrogenasa por la ferredoxina, llegando a la hierro-proteína, ésta activa a la hierro-molibdeno-proteína y se produce la reducción del nitrógeno, siendo fijado como compuesto aminado (Lara, Villalba, y Oviedo, 2007).

### **3.- MATERIALES Y MÉTODOS**

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

El experimento se realizó en el área del departamento de Horticultura dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con dirección a Calzada Antonio Narro #1923, Buenavista, C.P. 25315 en Saltillo, Coahuila, México. Perteneciente a las coordenadas 25°23'36.24" N, 101°0'1.8" W, a una altitud de 1600 msnm.

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

La primera actividad que se llevó a cabo fue la preparación del terreno, donde de manera manual se quitó hierba, posteriormente con ayuda de un azadón se removió el suelo con el objetivo de dejarlo bien mullido por lo menos en los primeros 30 cm de profundidad. Después se procedió a la formación de camas a una altura de entre 30 a 40 cm sobre el nivel del suelo, una anchura de 40 cm y una separación de 1.2 m entre camas. Por último, se realizó la instalación de riego por goteo a doble cintilla, con una distancia de 20 cm entre goteros y una capacidad de riego de 1.03 l ha<sup>-1</sup>.

#### **3.3 Material vegetal**

El material que se utilizó fue la semilla de calabacita larga Var. Grey zucchini (Lan Semillería, Estados Unidos) es considerada una variedad de polinización abierta y con frutos de color verde grisáceo de producción precoz. Las semillas cuentan con una germinación superior al 85 % y una pureza del 99 %.

#### **3.4 Tratamientos**

Se evaluaron tres dosis de N (0.0, 60 y 120 Kg ha<sup>-1</sup>) y tres dosis de bacterias (0.0, 1.0 y 2.0 l ha<sup>-1</sup>). La fertilización base fue de 120 de N, 77 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 210 K<sub>2</sub>O (Castellanos, 2004) vía riego, más la aplicación de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) principalmente a base de *Azotobacter vinelandii* (en el cuadro 1 se describe la dosis utilizada por aplicación). Los fertilizantes minerales utilizados en el experimento fueron: fosfato monopotásico, nitrato de potasio, fosfonitrato y cloruro de potasio.

**Cuadro 1.-** Tratamientos aplicados.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>DOSIS</b>
Testigo absoluto	0-77-210 + 0 l ha <sup>-1</sup> de las BFN.
2	0-77-210 + 1 l ha <sup>-1</sup> de las BFN.
3	0-77-210 + 2 l ha <sup>-1</sup> de las BFN.
4	60-77-210 + 0 l ha <sup>-1</sup> de las BFN.
5	60-77-210 + 1 l ha <sup>-1</sup> de las BFN.
6	60-77-210 + 2 l ha <sup>-1</sup> de las BFN.
Testigo de referencia	120-77-210 + 0 l ha <sup>-1</sup> de las BFN.
8	120-77-210 + 1 l ha <sup>-1</sup> de las BFN.
9	120-77-210 + 2 l ha <sup>-1</sup> de las BFN.

### **3.5 Diseño experimental**

El diseño que se utilizó fue el de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 3 x 3, por lo que, se obtuvieron nueve tratamientos, con seis repeticiones por cada tratamiento.

### **3.6 Siembra**

Una vez instalado el sistema de riego se procedió a humedecer el suelo a capacidad de campo, y el día 23 de marzo se realizó la siembra directa. Cada semilla se colocó a una profundidad de 3 cm y a una distancia de 35 cm a hilera sencilla. Con estas distancias se obtiene una densidad de 23,240 plantas ha<sup>-1</sup>.

### **3.7 Labores culturales**

El cultivo se mantuvo libre de malezas durante todo el ciclo. El primer control se realizó cuando las plantas tenían una altura de 10 cm y posteriormente cuando era necesario, con el objetivo de airear el terreno, además de evitar la competencia por nutrientes. Esta actividad se realizó de manera manual con la ayuda de un azadón. El aporcado es una actividad que consiste en cubrir con tierra parte del tronco para reforzar su base y favorecer el desarrollo radicular y se realizó a los 30 DDS con la ayuda de un azadón.

### **3.8 Riego y fertilización**

Como se ha mencionado anteriormente este cultivo es exigente en cuanto a la humedad. Los riegos se daban de acuerdo con las condiciones ambientales, a modo de evitar encharcamientos o excesos de agua en el suelo, con el objetivo de tener un buen enraizamiento o evitar enfermedades, por lo general, se regaba cada tercer día, aumentando la frecuencia de riego con la aparición de los primeros frutos.

La fertilización se llevó a cabo en distintas fracciones, dependiendo de la etapa en que se encontraba la planta de calabacita. La primera fertilización se dio el 7 de abril donde se aplicó el 5 % de la fórmula N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, las siguientes fertilizaciones se realizaron el 14 de abril donde se aplicó el 10 % de la fórmula, 21 de abril con el 15 %, 28 de abril con el 20 %, 5 de mayo con el 20 %, 12 de mayo con el 15 % y el 19 de mayo con el 15 %.

En cuanto a las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) se realizaron tres aplicaciones al suelo dependiendo del tratamiento (0.0, 1.0 y 2.0 l ha<sup>-1</sup>), en las fechas 15 de abril, 29 de abril y 13 de mayo.

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

Se realizaron aplicaciones químicas para control de *Diabrotica* sp, cabe mencionar que esta plaga no causó gran impacto ni influyó en los resultados del experimento.

### **3.10 Cosecha**

La cosecha se realizó de manera manual con la ayuda de una navaja para cortar los frutos, se dejó una longitud del pedúnculo de 1-2 cm, esta actividad se realizó diario. Iniciando la primera cosecha el 10 de mayo y finalizando el 30 del mismo mes.

### **3.11 Variables evaluadas**

3.11.1 Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), calcio (Ca<sup>2+</sup>), conductividad eléctrica (CE) y potencial de hidrogeno (pH) de la solución del suelo.

Se determinó la concentración de nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), calcio (Ca<sup>2+</sup>), conductividad eléctrica (CE) y potencial de hidrogeno (pH) de la solución del suelo. Esta actividad se realizó durante la fase de floración y producción de la planta, realizando la extracción de la solución de suelo mediante el uso de chupatubos y

evaluando la concentración de este ion con la ayuda de unos ionómetros de los iones indicados de la marca HORIBA. Los chupatubos se instalaron en el suelo un día después de realizar la fertilización química, dejándolos durante un periodo de 24 horas, posterior a ello se procedió a evaluar la solución del suelo recolectada por los chupatubos. Esta actividad se realizó a las 4:00 p.m.

3.11.2 Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) en la savia del peciolo de las hojas de la planta calabacita.

Se evaluó la concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) en la savia del peciolo de las hojas de la planta calabacita. Esta actividad se llevó a cabo tomando una muestra durante la fase de floración y otra en la de producción, mediante la extracción de la savia del peciolo de la planta, y evaluando dicha concentración de iones con el uso de ionómetros de la marca HORIBA. Para ello, se tomaron en cuenta peciolos que se encontraban en una maduración intermedia y se procedió a cortarlos en trozos pequeños, posteriormente con la ayuda de un exprimidor se extrajo la savia. Esta actividad se realizó a las 11:00 a.m.

3.11.3 Altura de la planta (cm)

La medición de esta variable se llevó a cabo al final de la producción, por lo que se procedió a arrancar la planta para medir de una manera más exacta su altura, con la ayuda de una regla de 60 cm.

3.11.4 Diámetro de tallo (cm)

Esta variable se determinó al final de la producción de la calabacita, se midió con la ayuda de un vernier, tomando la parte media del tallo.

3.11.5 Peso promedio de fruto (g)

En esta variable se sumó el peso de cada fruto obtenido en cada corte por planta y después entre el número total de frutos por planta.

3.11.6 Rendimiento por planta (Kg)

Esta variable se obtuvo a partir de la suma del peso de cada fruto cosechado en cada corte que se realizó.

### 3.11.7 Rendimiento t ha<sup>-1</sup>

Se obtuvo a partir del rendimiento que se obtuvo por planta (Kg) multiplicado por la densidad (23, 240 plantas ha<sup>-1</sup>).

### **3.12 Análisis estadísticos**

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), utilizando el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.2.

## 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Concentración de iones y valor de conductividad eléctrica (CE) y pH en la solución de suelo

La aplicación del complejo de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) influyó significativamente en la concentración de iones de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), y la CE, tanto en la fase de la floración (FF) como en la fase de producción (FP), a excepción del ion  $\text{Ca}^{2+}$  en la FP, la CE en la FF y el pH en ambas fases (Cuadro 2). La concentración de nitrógeno (N) aplicado influyó en todas las variables antes mencionadas. Del mismo modo, la interacción entre estos dos factores también presentó diferencia significativa en estas variables (Cuadro 2).

En la FF la concentración de la solución del suelo de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$  fue mayor en plantas que no recibieron las BFN y 2 l de las BFN, sin embargo, con la aplicación de 1 l dichas concentraciones disminuyeron. Así mismo se observó que la concentración de  $\text{K}^+$  aumentó con la aplicación de 1 l de las BFN, mientras que, con 2 l la concentración de este ion disminuyó. En cuanto al pH y la CE la aplicación de las BFN no influyó estadísticamente en la solución del suelo (Cuadro 2).

En la FP la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la solución del suelo fue mayor con la inoculación de 1 l, pero con 2 l esta concentración disminuyó. Así mismo la concentración de  $\text{K}^+$  en la solución del suelo fue mayor cuando no se aplicaron las BFN, a medida que se aumentó la dosis de las BFN, dicha concentración disminuyó. En cuanto el pH no se vio influenciado con la aplicación de las BFN, no obstante, la CE de la solución del suelo disminuyó con la aplicación de 1 l de las BFN, pero donde no hubo aplicación de éstas fue donde se registró una mayor CE (Cuadro 2). La fertilización nitrogenada influyó en la concentración de iones en la FF, ya que con la aplicación de 100 % N se registró una mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , siendo la menor concentración con el 50 % de la fertilización nitrogenada. En esta fase la concentración de  $\text{K}^+$  en la solución del suelo fue mayor donde no hubo aplicación de la fertilización nitrogenada, por lo que, a medida que se aumenta la dosis nitrogenada la concentración de este ion disminuye. Mientras que el pH fue menor con la aplicación de 100 % de la fertilización nitrogenada, pero aumentó al aplicar el 50 % de la dosis de N. Por otra parte, la CE en la FF fue mayor con la

aplicación del 100 % de la fertilización nitrogenada, mientras que, fue menor con la aplicación del 50 % de la dosis de N (Cuadro 2).

En la FP tanto el  $\text{NO}_3^-$  como el  $\text{Ca}^{2+}$  registraron una menor concentración en la solución del suelo con la aplicación del 50 % de la fertilización nitrogenada, mientras que, donde no hubo aplicación de N se observó la mayor concentración de estos iones. En esta misma fase la concentración de  $\text{K}^+$  fue mayor donde no se realizó la aplicación de N, por lo que, a medida que se aumenta la dosis de la fertilización nitrogenada la concentración de este ion disminuye (Cuadro 2). Mientras que el pH de la solución del suelo fue menor con la aplicación del 100 % de la fertilización nitrogenada, no obstante, con la aplicación de la dosis al 50 % este aumenta. En cuanto a la CE en esta fase fue menor con la aplicación del 50 % de la fertilización nitrogenada, sin embargo, donde no se aplicó la fertilización nitrogenada la CE fue mayor (Cuadro 2).

**Cuadro 2.-** Efecto de la inoculación de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) y del nitrógeno en la concentración de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), potencial de hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica (CE) de la solución de suelo en la fase de floración y fase de producción de calabacita Var. Grey zucchini.

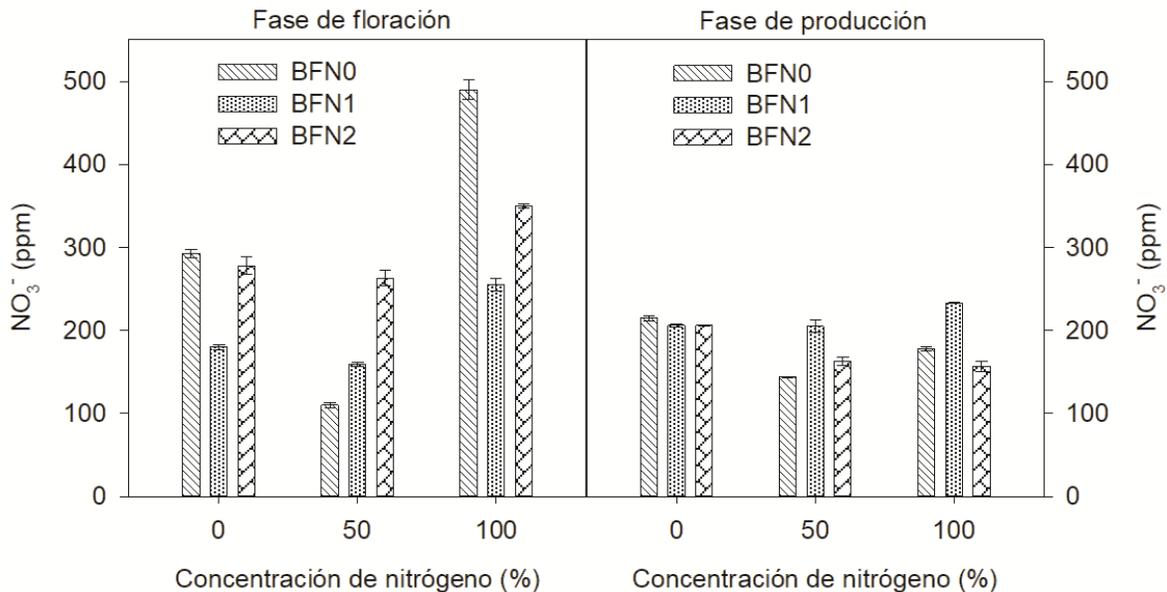
BFN (l ha <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_3^-$		$\text{K}^+$		$\text{Ca}^{2+}$		pH		CE	
	FF	FP	FF	FP	FF	FP	FF	FP	FF	FP
0	297.56a	178.67b	68.44b	98.89a	59.89a	50.78	8.26	8.41	2.32	2.37a
1	198.00b	214.56a	78.11a	96.11a	52.89b	49.44	8.31	8.41	1.86	1.10a
2	297.00a	175.22b	59.67c	79.56b	61.56a	48.11	8.21	8.40	2.35	1.63b
ANOVA $P \leq$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.007	0.18	0.21	0.94	0.10	0.001
Nitrógeno										
(%)										
0	250.22b	209.00a	85.44a	132.22a	58.00b	52.22a	8.28a	8.37b	2.01b	2.29a
50	177.33c	170.33c	73.33b	77.22b	45.67c	45.33b	8.39a	8.51a	1.57b	1.58b
100	365.00a	189.11b	47.44c	65.11c	70.67a	50.78a	8.10b	8.34b	2.96a	2.12a
ANOVA $p \leq$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.01	0.001	0.001
Interacción $p \leq$	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.003	0.002
CV (%)	9.18	7.03	2.88	4.42	7.07	5.88	1.39	1.25	23.48	17.10

ANOVA= análisis de varianza, CV= coeficiente de variación, las letras a, b y c son las categorías obtenidas a partir de la comparación de medias con Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ), FF= fase de floración, FP= fase de producción, N= nitrógeno, Interacción= BFN x nitrógeno.

#### 4.1.1 Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

La concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la solución del suelo fue mayor en fase de floración que en la de producción (Figura 1). Esta disminución puede ser debido a la demanda de este nutriente por la planta, ya que, la concentración de nitrógeno en la hoja, pero en olivo aumenta durante el desarrollo de frutos, siendo las máximas concentraciones durante la maduración (Medina y Núñez, 2015), lo que explica que, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la solución del suelo sea menor en esta fase. En la floración se presentó la mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la solución de suelo cuando no se inoculó las BFN y 100 % de N, a excepción de cuando se aplica el 50 % de la fertilización nitrogenada, pero durante la fase de producción se registró una mayor concentración en plantas testigo y las que recibieron 1 l de BFN, mientras que, con la inoculación de 2 l de las BFN la concentración de  $\text{NO}_3^-$  disminuyó (Figura 1). Estos resultados son similares a los referidos por Oliva (2019) donde señala que los

excesos del suministro de las BFN influyen de manera negativa en la concentración de N en el suelo, lo que sugiere que éstas fungieron como fitopatógenos, pues menciona que las bacterias fijadoras no simbióticas, en condiciones de una elevada concentración de nitrógeno en el suelo, reprimen la concentración de éste desde la atmósfera.

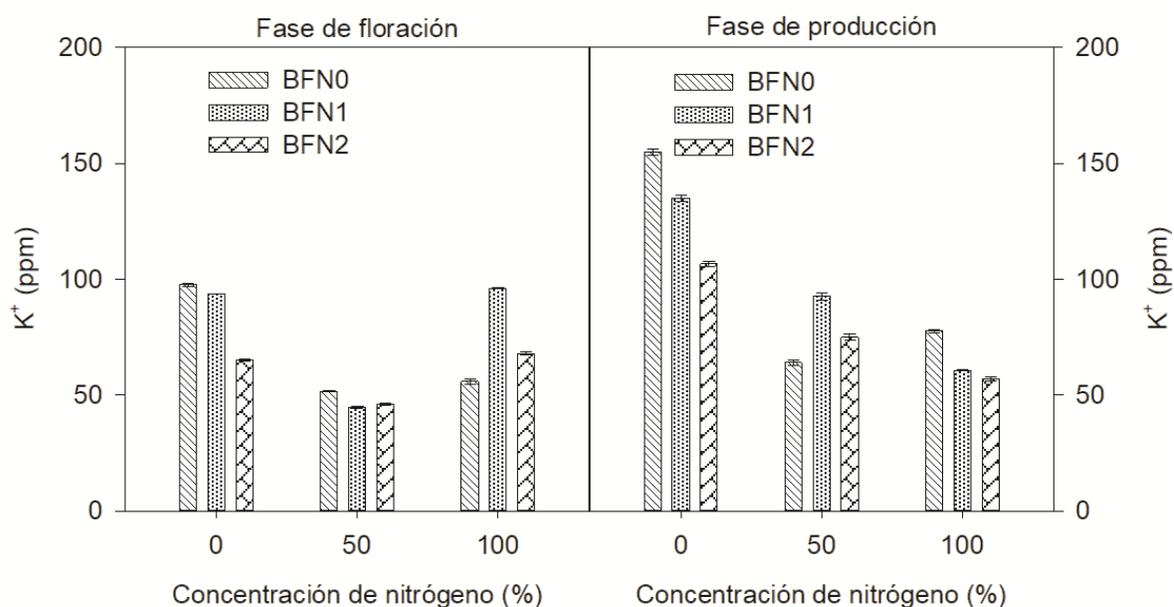


**Figura 1.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la solución suelo en plantas de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.1.2 Potasio (K<sup>+</sup>)

La concentración de iones K<sup>+</sup> en la solución del suelo fue menor durante la fase de floración que en la de producción, esto pudo ser debido a que existió una mayor demanda de este ion en la planta. En la floración se observó una mayor concentración de K<sup>+</sup> en el suelo con 0 % de la fertilización nitrogenada y 100 % de N en combinación con 1 l de BFN, mientras que, en la fase de producción se registraron valores más altos únicamente con 0 % de la fertilización nitrogenada (Figura 2). La concentración de K<sup>+</sup> en la solución de suelo, puede estar dada por el nitrógeno, ya que una fertilización nitrogenada adecuada favorece la absorción de éste (Tamara, 2016), en otras palabras, el sinergismo que existe entre los iones NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y K<sup>+</sup> conllevan a una mayor absorción de estos nutrientes, pues el movimiento

del potasio es similar al del nitrógeno (flujo de masas) evidenciándose en el incremento de biomasa (Gaona-Gonzaga *et al*, 2020), sin embargo, cantidades grandes de nitrógeno impide la correcta asimilación del potasio en la planta (Tamara, 2016), Además, otro factor que pudo haber intervenido en la concentración de  $K^+$  en la solución del suelo, es que la planta no solo toma este nutriente de esta fuente, sino también a partir de los iones  $K^+$  que se encuentran retenidos en las arcillas y la materia orgánica del suelo en forma coloidal y que fueron liberados (Jiménez, 2018).

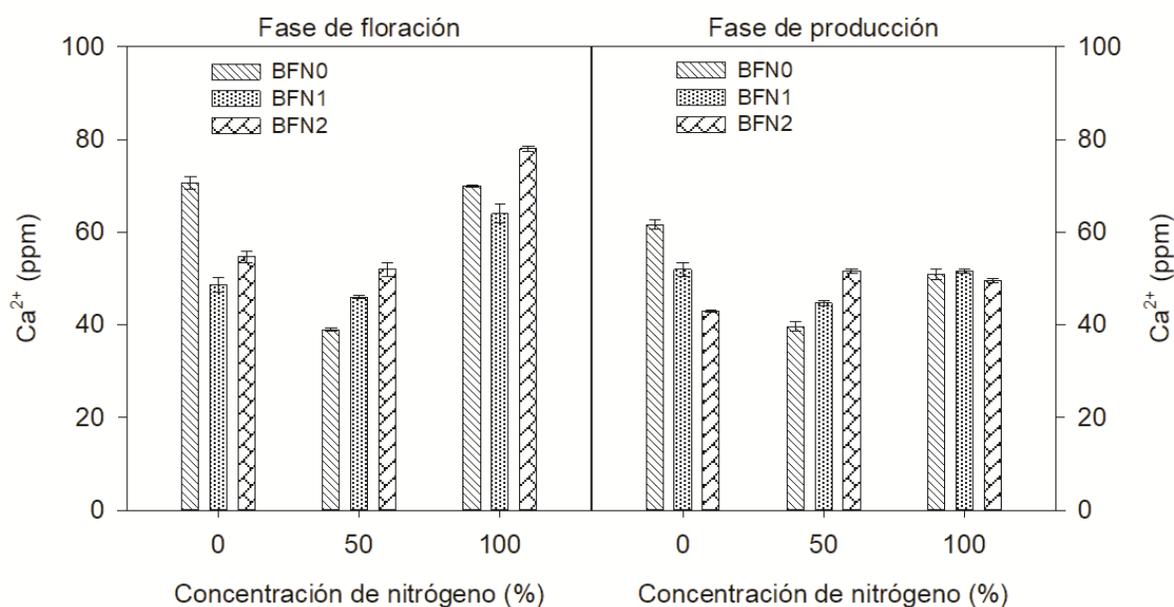


**Figura 2.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de  $K^+$  de la solución suelo en plantas de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.1.3 Calcio ( $Ca^{2+}$ )

La concentración  $Ca^{2+}$  en la solución del suelo fue mayor en la fase de floración que en la fase de producción, esto pudo deberse al incremento en la demanda de este ion por parte de la planta en la fase de producción. En la fase de floración se obtuvo una mayor concentración con una fertilización nitrogenada del 100 % y en suelos donde no hubo ningún tipo de aplicación, pero en la fase de producción se registró una mayor concentración al no aplicar nitrógeno, 100 % de la fertilización

nitrogenada y 50 % de N más la inoculación de 2 l de BFN, mientras que, en ambas fases la menor concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  se registró en plantas que no se inocularon más la aplicación de 50 % de la fertilización nitrogenada (Figura 3). Uno de los factores que pudo haber alterado las concentraciones de los iones de  $\text{Ca}^{2+}$  en la solución del suelo, es que tanto en el agua como en el suelo las concentraciones de sodio son altas, por lo que desplazan al  $\text{Ca}^{2+}$  por lixiviación a capas más profundas del suelo (Bataller, 2014).

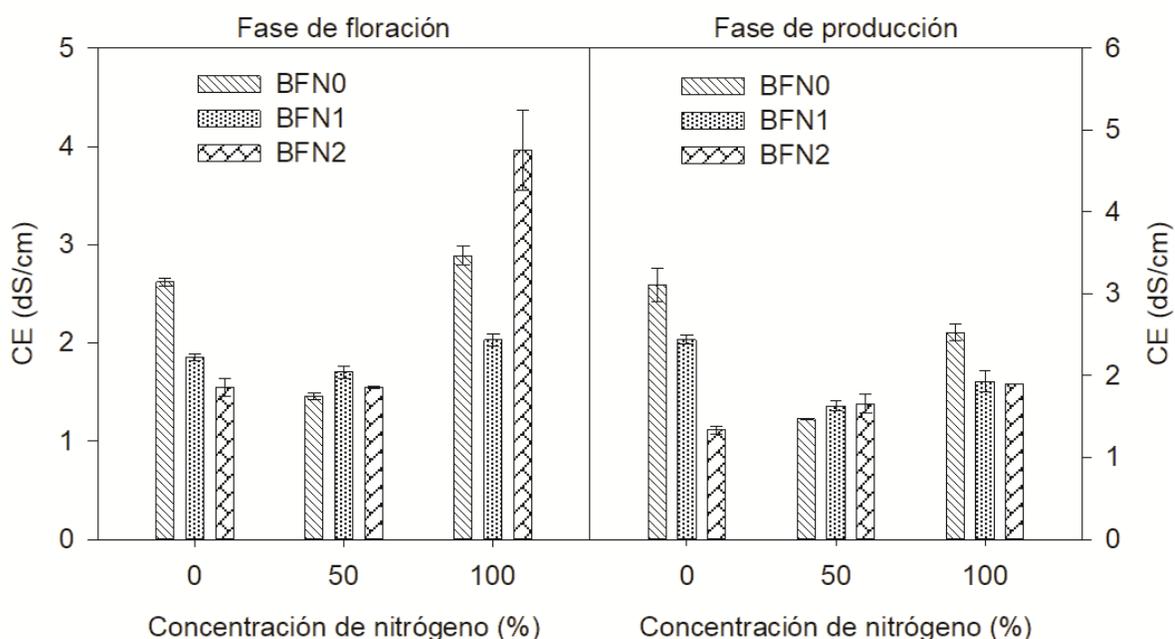


**Figura 3.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  de la solución suelo en plantas de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.1.4 Conductividad Eléctrica (CE)

Durante la fase de floración la CE en el suelo fue menor con la aplicación del 50 % de la fertilización nitrogenada, la inoculación de 2 l de BFN más 0 % de N, pero con la aplicación del 100 % de la fertilización nitrogenada más 2 l de BFN la CE aumentó (Figura 4). Resultados similares se obtuvieron en la fase de producción, pues la CE fue menor cuando no se aplicó la fertilización nitrogenada más 2 l de BFN, pero cuando no se inocula con BFN más el 0 % de N y en el 100 % de la fertilización nitrogenada más 0 l de BFN, la CE es mayor (Figura 4). Este aumento de la CE con

el 100 % de la fertilización nitrogenada, se les atribuye a los fertilizantes químicos, principalmente los  $\text{NO}_3^-$ , ya que tienen una mayor contribución debido a que poseen una mayor movilidad (Insuasti, 2017). En general, la CE fue mayor en la fase de floración que en la de producción, a esto se le atribuye a que, debido a las altas temperaturas durante la fase de floración, las plantas presentaron menor consumo de iones y mayor consumo de agua, mientras que, en la fase de producción existe un mayor consumo de iones, por lo que, la CE tiende a disminuir (Domínguez y Sibrián, 2016).

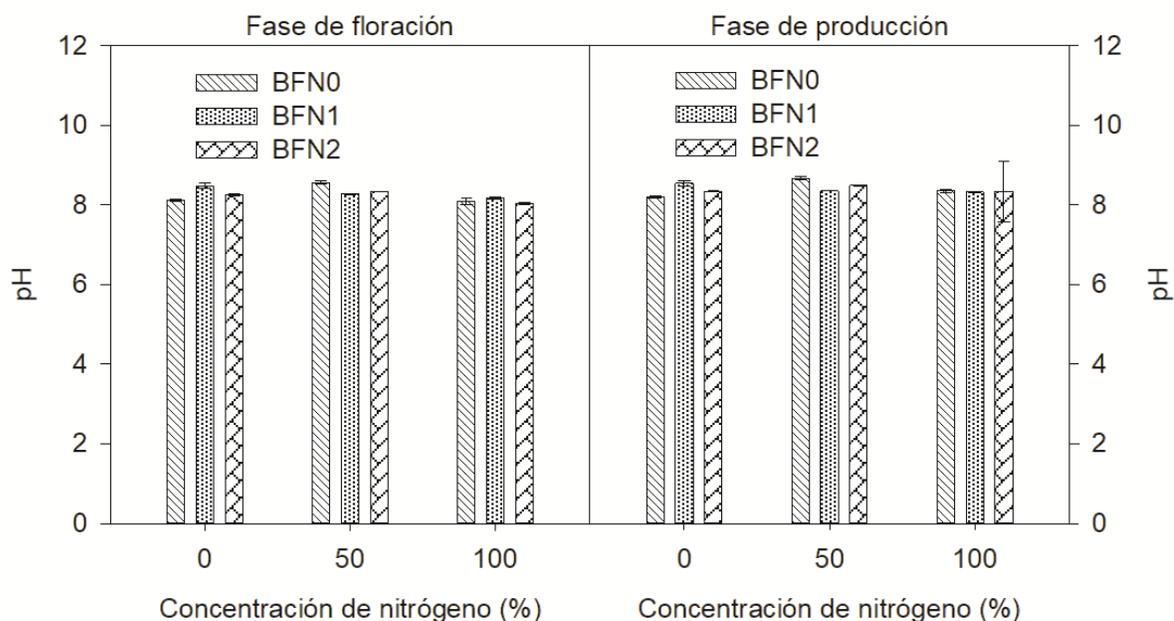


**Figura 4.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la CE de la solución suelo en plantas de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.1.5 Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH en la solución de suelo fue mayor tanto en la fase de floración como en la de producción al aplicar el 50 % de la fertilización nitrogenada y 0 % del N más 1 l de las BFN (Figura 5). Este incremento del pH se les atribuye a los fertilizantes aplicados, principalmente al nitrato de potasio, ya que al no contener ni generar amonio no acidifica el suelo, además neutraliza los medios ácidos (Insuasti, 2017). Por otro lado, el pH en la solución de suelo fue menor en ambas fases en plantas

testigo y las que recibieron el 100 % de la fertilización nitrogenada (Figura 5). Esta disminución se debe a que el fosfonitrato que contiene el 50 % de N en forma amoniacal genera acidez (Insuasti, 2017), además el nitrógeno que queda en el suelo sin ser utilizado por la planta es transformado a formas químicas que intensifican la acidez en el suelo (Cremona y Enríquez, 2020).



**Figura 5.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en el pH de la solución suelo en plantas de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.2 Concentración de iones en la savia de la planta

La aplicación del complejo de las BFN influyó significativamente en la concentración de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , tanto en la fase de FF como en la FP. La concentración de N también influyó en las variables mencionadas anteriormente, a excepción de  $\text{K}^+$  en ambas fases. La interacción entre estos dos factores tuvo efecto significativo, a excepción del ion  $\text{K}^+$  en la FF (Cuadro 3).

La concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la FF fue mayor con la inoculación de 1 l de las BFN, por otro lado, donde no se inoculó se registró la menor concentración de este ion (Cuadro 3). En esta fase la concentración de  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  fue mayor con la aplicación de 2 l de las BFN, por lo que, a medida que se redujo la dosis, la concentración de

estos iones también disminuyó (Cuadro 3). En la FP la concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en la savia de la planta fue mayor con la inoculación de 1 l, mientras que, la concentración de ambos iones fue menor donde no se inocularon las BFN (Cuadro 3). En esta fase la concentración de  $\text{K}^+$  fue mayor con la inoculación de 2 l, por lo que, a medida que se redujo la dosis, la concentración de este ion también disminuyó (Cuadro 3).

En la FF la aplicación del 100 % de la fertilización nitrogenada aumentó la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la savia de la planta, por lo tanto, a medida que se disminuyó la dosis de N, la concentración de este ion se redujo (Cuadro 3). En esta fase la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  fue mayor en plantas que no recibieron la fertilización nitrogenada, mientras que, con la aplicación de 50 % de N fue menor la concentración de este ion (Cuadro 3). En la FP la concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en la savia de la planta con la aplicación de 100 % de la fertilización nitrogenada, por lo que, a medida que se redujo la dosis de N, la concentración de ambos iones también disminuyó (Cuadro 3).

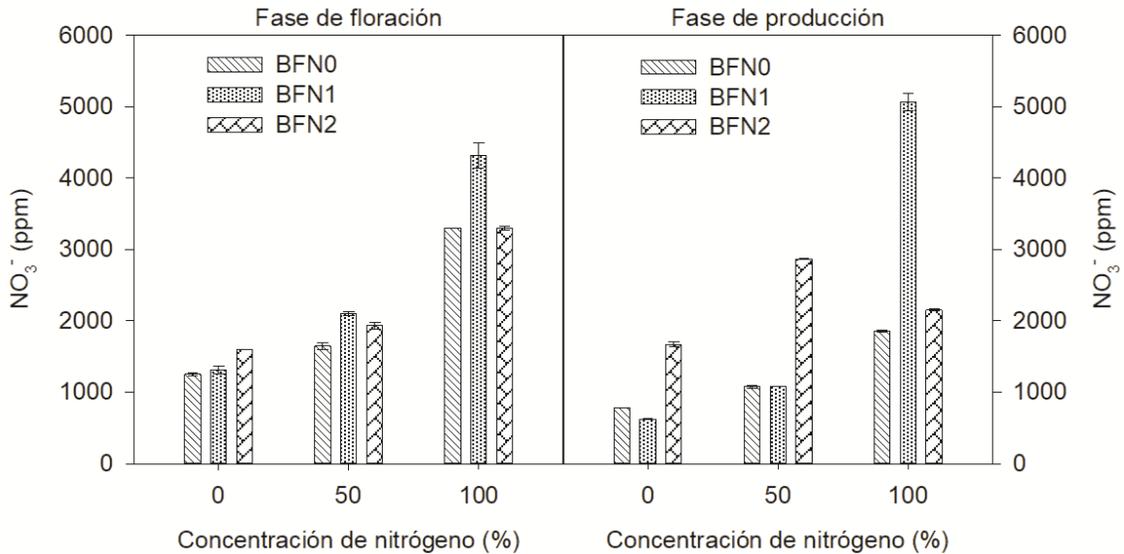
**Cuadro 3.-** Efecto de la inoculación de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) y del nitrógeno en la concentración de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) de la savia de la planta en la fase de floración y fase de producción de calabacita Var. Grey zucchini.

BFN (l ha <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_3^-$		$\text{K}^+$		$\text{Ca}^{2+}$	
	FF	FP	FF	FP	FF	FP
0	2066.10b	1235.33b	6027.80b	6983.30b	34.44b	210.00b
1	2575.60a	2256.11a	6255.60ab	7166.67ab	34.67b	300.00a
2	2277.00b	2229.00a	6505.60a	7266.67a	38.56a	295.89a
ANOVA $P \leq$	0.001	0.001	0.007	0.026	0.001	0.001
Nitrógeno (%)						
0	1385.90c	1024.00c	6372.20	7211.11	37.78a	213.33c
50	1892.80b	1674.22b	6150.00	7072.22	33.22b	244.22b
100	3640.00a	3022.22a	6266.70	7133.33	36.67a	348.33a
ANOVA $P \leq$	0.001	0.001	0.258	0.366	0.001	0.001
Interacción $P \leq$	0.002	0.001	0.146	0.002	0.001	0.001
CV (%)	10.19	7.89	4.41	2.84	6.02	5.52

ANOVA= análisis de varianza, CV= coeficiente de variación, las letras a, b y c son las categorías obtenidas a partir de la comparación de medias con Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ), FF= fase de floración, FP= fase de producción, N= nitrógeno, Interacción= BFN x nitrógeno.

#### 4.2.1 Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

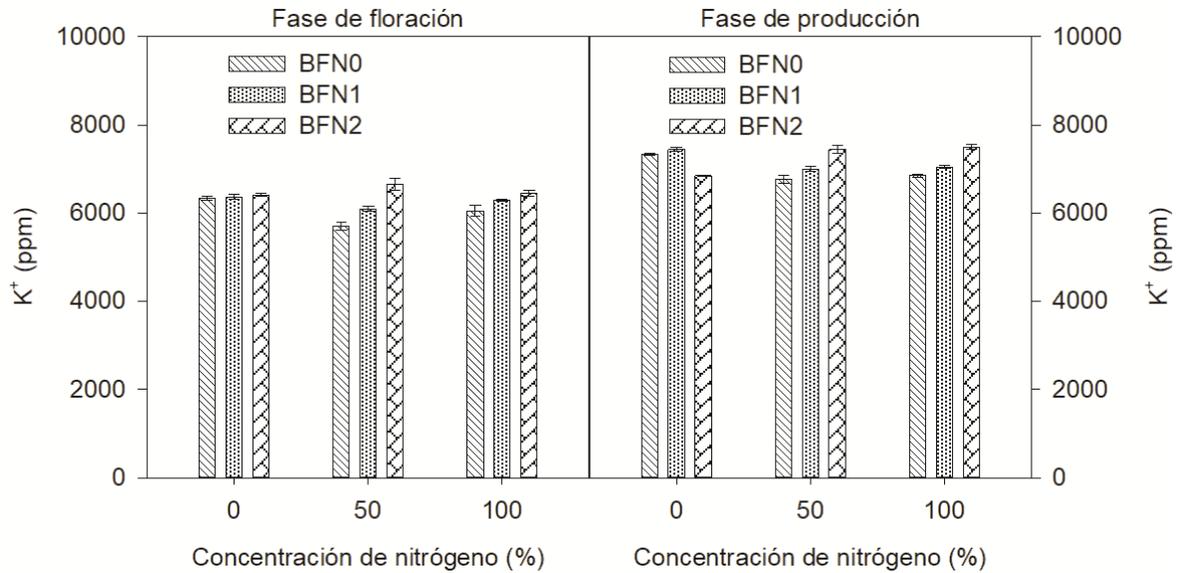
Tanto en la fase de floración como la de producción la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la planta de calabacita fue menor en aquellas donde no se llevó a cabo la fertilización nitrogenada, mientras que, con un 100 % de la fertilización nitrogenada más 1 l de las BFN la concentración aumenta (Figura 6). Esta diferencia de concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en la planta se debe principalmente a la adición de fertilizantes nitrogenados (Flores *et al*, 2010), mientras que, las BFN influyeron de manera positiva en dosis óptimas (1 l) contribuyendo a la fijación del  $\text{N}_2$  en el suelo (Oliva, 2019), por lo que, la absorción de  $\text{NO}_3^-$  por parte de la planta aumentó.



**Figura 6.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la savia del pecíolo de hoja de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.2.2 Potasio (K<sup>+</sup>)

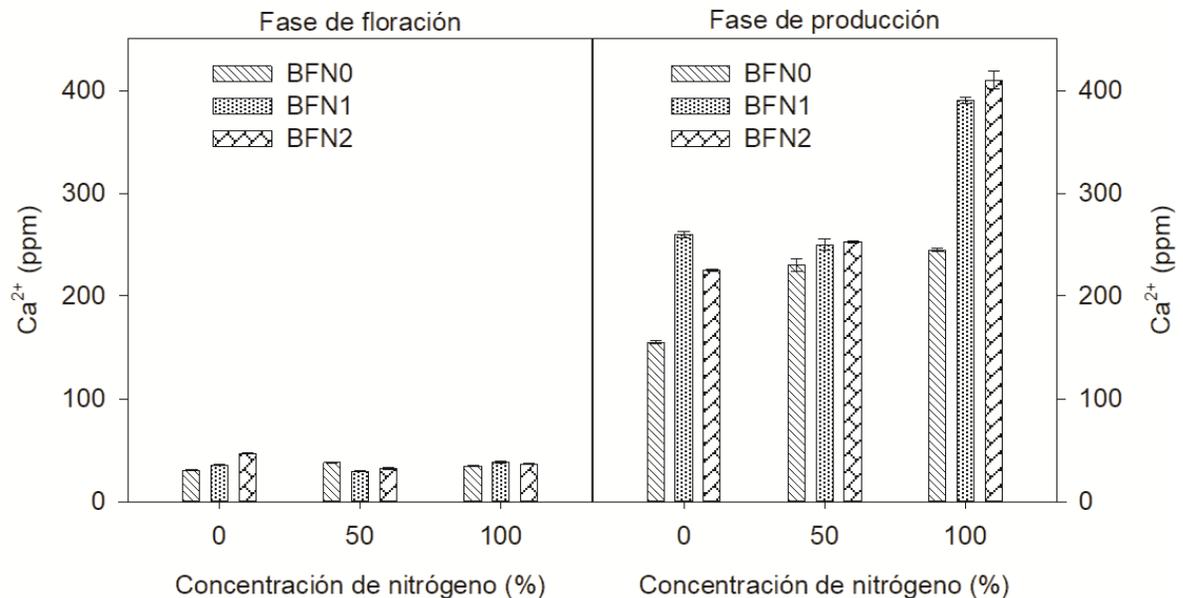
La concentración de este ion (K<sup>+</sup>) fue mayor durante la fase de producción que en la fase de floración (Figura 7). El aumento en la concentración de este elemento en la planta se debe a que, el fruto es el órgano donde existe mayor acumulación de potasio, seguido de los tallos y hojas, conforme aumenta la concentración de K<sup>+</sup> en el fruto, el tallo y las hojas también lo hacen (Balta *et al.*, 2015). En la floración, estadísticamente no existió una diferencia significativa entre la interacción de las BFN y la fertilización nitrogenada, pero en la fase de producción se observó una mayor concentración con la aplicación de 0 % de la fertilización nitrogenada más 1 l de las BFN, 50 % de N más 2 l de las BFN y el 100 % de la fertilización nitrogenada más 2 l de las BFN (Figura 7).



**Figura 7.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de K<sup>+</sup> en la savia del pecíolo de hoja de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.2.3 Calcio (Ca<sup>2+</sup>)

La concentración de iones de Ca<sup>2+</sup> fue menor en la fase de floración que en la fase de producción, esto pudo deberse al incremento en la demanda de este nutriente por parte del fruto (Figura 8). Algo similar ocurre con lo expuesto por Cadahía (2008) pero en el cultivo de tomate donde menciona que la demanda del ion Ca<sup>2+</sup> aumenta considerablemente durante la maduración de frutos. En etapa de floración se registró una mayor concentración en la planta con la aplicación de 2 l de BFN más 0 % de la fertilización nitrogenada, teniendo concentraciones inferiores con la aplicación de 50 % de la fertilización nitrogenada más 1 l de BFN, 50 % de N más 2 l de BFN y en plantas testigo, mientras que, en la fase de producción todos los tratamientos aumentaron la concentración de iones Ca<sup>2+</sup> considerablemente con respecto a la fase de floración, se registró una concentración mayor con la fertilización del 100 % de N más 1 l de BFN y 100 % de la fertilización nitrogenada más 2 l de BFN, la concentración de iones Ca<sup>2+</sup> fue menor en plantas testigo (Figura 8).



**Figura 8.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la concentración de Ca<sup>2+</sup> en la savia del pecíolo de hoja de calabacita Var. Grey zucchini durante la fase de floración y producción. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.3 Variables de crecimiento

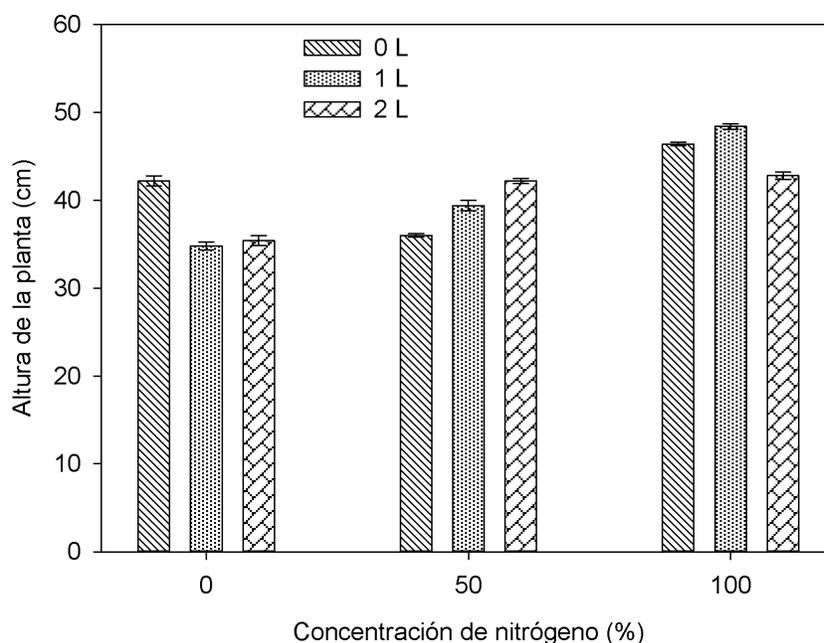
La aplicación del complejo de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) no influyeron significativamente en variables como la altura de la planta, diámetro de tallo (DT) (cuadro 4). La concentración de N aplicado influyó significativamente en todas las variables mencionadas anteriormente. Del mismo modo, la interacción de las BFN y la concentración de nitrógeno (N) presentó diferencia significativa en estas variables (cuadro 4).

Se registró una mayor altura de la planta con la aplicación de 100 % y 50 % de N, por otro lado, cuando la concentración de N se redujo a 0 % la altura disminuyó (cuadro 4). El DT fue mayor con las aplicaciones de 100 % y 50 % de N, mientras que, con una concentración de 0 % de N el DT fue menor (cuadro 4).

##### 4.3.1 Altura de la planta

La altura de la planta de la calabacita aumentó con la inoculación de 0 y 1 l de BFN en combinación con el 100 % de la fertilización nitrogenada, lo mismo ocurrió con aquellas que recibieron 2 l de BFN más el 50 % de N y en plantas testigo, mientras

que, la menor altura se registró en plantas que no recibieron la fertilización química más 1 l de las BFN (Figura 9). El aumento de la altura con el 100 % de la fertilización nitrogenada coincide con Lozada y Rivas (2010) donde obtuvieron una altura mayor en plantas de ají dulce aplicando únicamente el 100 % de fertilización química, seguido de 50 % de fertilización química más el 20 % de *Azotobacter* spp., pero con la aplicación del 30 % de *Azotobacter* spp. más el 50 % de la fertilización química la altura fue menor. Además, la bacteria *Azotobacter* tiene efectos significativos en la altura de la planta en los cultivos de tomate y lechuga, estos efectos se observaron principalmente a los 28 días después de la germinación en ambos cultivos, este aumento en la altura de la planta se le atribuye al incremento de la fijación de nitrógeno (Pilatuña *et al.*, 2021), mayor absorción de nutrientes e incremento en la producción de fotoasimilados (Obando, Rivera y Bonilla, 2013) lo que se traduce en un mayor crecimiento vegetativo.

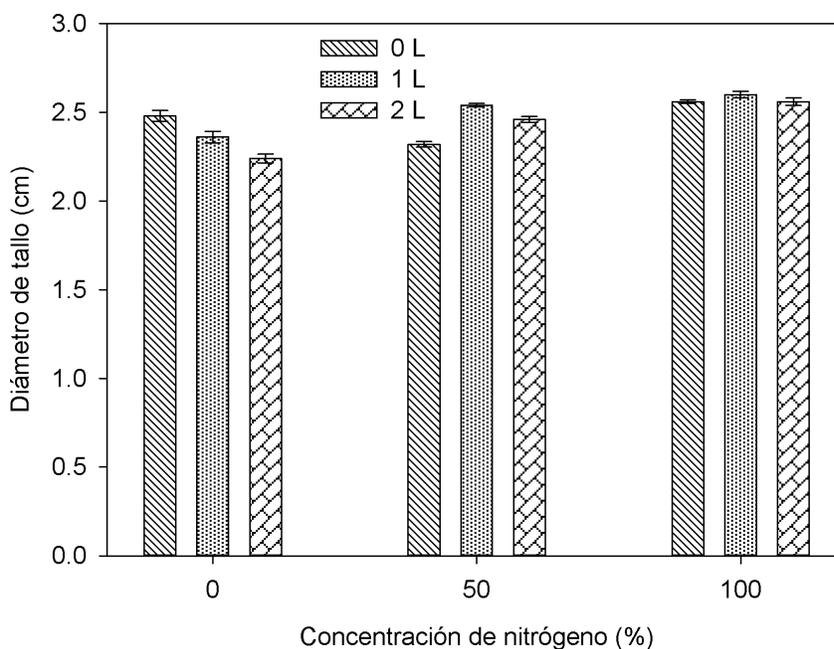


**Figura 9.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en la altura de plantas de calabacita Var. Grey zucchini. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.3.2 Diámetro de tallo (DT)

El DT de la Zucchini fue mayor en plantas que recibieron el 100 % de N y con la inoculación de 1 l más el 50 % de la fertilización nitrogenada, mientras que, el menor

DT se registró en aquellas donde no se aplicó la fertilización nitrogenada más 2 l de las BFN (Figura 10). Estos resultados son similares a los observados por Lozada y Rivas, 2010, donde explican que en ají dulce el mayor DT fue con 100 % de la fertilización química, seguido de 20 % de *Azotobacter* spp. más 50 % de la fertilización química y 30 % de *Azotobacter* spp. más 50 % de la fertilización química. Con la inoculación de 2 l de las BFN (representó el mayor volumen de inoculación de bacterias), no se obtuvieron los mejores resultados, puesto que al encontrar limitaciones nutricionales en el suelo no lograron un nivel de sobrevivencia y establecimiento adecuado (Lozada y Rivas, 2010). Mientras que, Piscocoya y Ugaz, 2016, sostienen que la aplicación de *Azospirillum* spp., *Azotobacter* spp. y *Enterobacter* spp. aplicado junto al 50 % de fertilizante químico incrementan la altura, número de hojas y DT a los 30, 60 y 90 después de la aplicación en plantas de maíz, superando a la aplicación de 100 % químico.



**Figura 10.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en el DT de calabacita Var. Grey zucchini. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.4 Variables de rendimiento

La aplicación del complejo BFN influyó significativamente en el peso promedio de fruto (PPF), el rendimiento por plantas y por hectárea (Cuadro 4). La concentración

de N suministrado afectó significativamente todas las variables mencionadas anteriormente. Así mismo, la interacción de estos dos factores también presentó diferencia significativa en estas variables (Cuadro 4).

El mayor rendimiento por planta se registró en plantas testigo y con la aplicación de 1 l de las BFN, mientras que, con 2 litros de BFN el rendimiento se redujo (Cuadro 4). En cuanto al PPF se observó un aumento en plantas testigo y con la aplicación de 1 l de BFN, por otra parte, se vio reducido con la dosis de 2 l (cuadro 4). Así mismo, se presentó un incremento en el rendimiento por ha, en plantas testigo y con la aplicación de 1 l de las BFN, mientras que, el rendimiento se vio reducido con la dosis de 2 l de las BFN (cuadro 4).

El mayor rendimiento por planta se observó con la concentración de 100 % y 50 % de N, por otro lado, las plantas testigo presentaron el menor rendimiento por planta (cuadro 4). El mayor PPF se presentó con las concentraciones de 100 % y 50 % de N, mientras que, en plantas testigo el PPF fue menor (cuadro 4). En la variable rendimiento por hectárea, se registró un aumento con la aplicación de 100 % y 50 % de N, mientras que, este rendimiento disminuyó en plantas testigo (cuadro 4).

**Cuadro 4.-** Efecto de la inoculación de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) y del nitrógeno en la altura de la planta, diámetro de tallo, peso promedio de fruto y rendimiento por planta y por hectárea de calabacita Var. Grey zucchini.

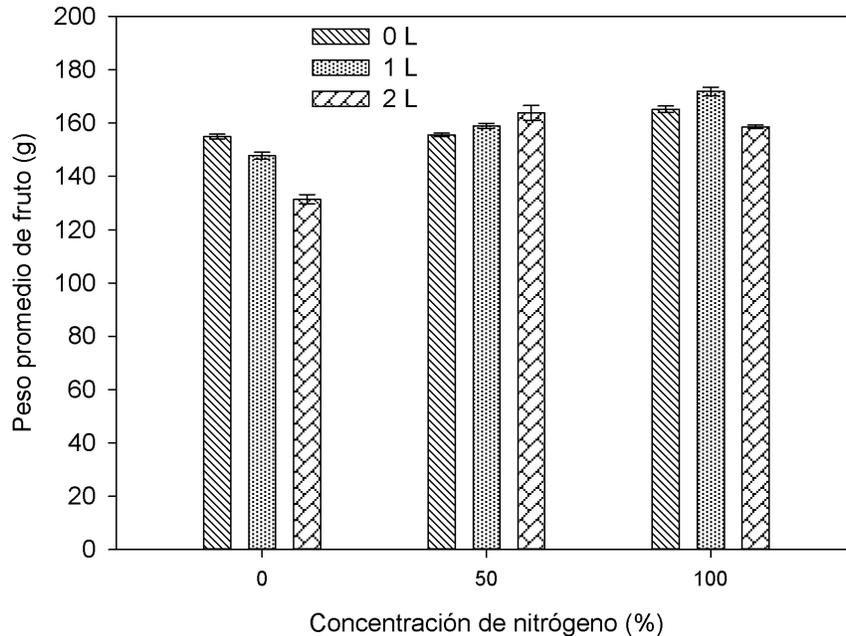
BFN (l ha <sup>-1</sup> )	Altura (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Peso promedio de fruto (g)	Rendimiento (Kg/planta)	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>
0	41.53	2.45	158.59a	1.45a	33.63a
1	40.87	2.50	159.53a	1.43a	33.18a
2	40.13	2.42	151.27b	1.35b	31.38b
ANOVA $P \leq$	0.141	0.080	0.003	0.009	0.009
Nitrógeno (%)					
0	37.47c	2.36b	144.71b	1.28c	29.77c
50	39.20b	2.44b	159.44a	1.41b	32.83b
100	45.87a	2.57a	165.24a	1.53a	35.60a
ANOVA $P \leq$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Interacción $P \leq$	0.001	0.005	0.001	0.001	0.001
CV (%)	5.06	4.23	4.69	6.70	6.70

ANOVA= análisis de varianza, CV= coeficiente de variación, las letras a, b y c son las categorías obtenidas a partir de la comparación de medias con Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ), FF= fase de floración, FP= fase de producción, N= nitrógeno, Interacción= BFN x nitrógeno.

#### 4.4.2 Peso promedio de fruto (PPF)

El PPF de la calabacita fue menor en aquellas donde no se aplicó la fertilización nitrogenada más la inoculación de 2 l de las BFN, pero cuando se inoculó 1 l de BFN más en 100 % de la fertilización nitrogenada el rendimiento fue mayor al resto de los tratamientos (Figura 11). Algo similar ocurre con la aplicación de *Azotobacter* spp. más el 50 % de la fertilización química en plantas de maíz, obteniendo un mayor peso de mazorca e incluso por arriba de la aplicación del 100 % de la fertilización química (Piscoya y Ugaz, 2016). Así mismo una adecuada dosis de las BFN influyen de manera positiva en rendimiento ya que tienen la capacidad de producción de fitohormonas responsables del crecimiento de la raíz, modificando su morfología y aumento de biomasa, mejorando el anclaje, aprovechamiento de nutrientes y agua. Por lo que, dosis muy bajas no alcanzan a tener un efecto positivo, y dosis muy altas pueden inducir una inhibición del crecimiento de raíces (Oliva, 2019), esto explica por qué con la inoculación de 2 l de las BFN más el 50 % de la fertilización nitrogenada (dosis óptima) el PPF es mayor que con la inoculación de 2 l de BFN

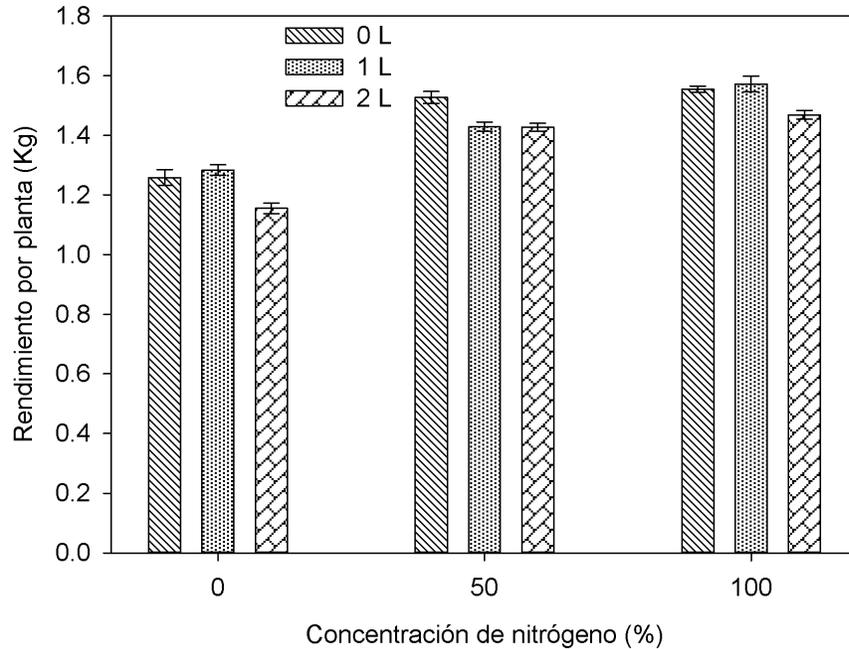
más el 100 % de la fertilización nitrogenada, pues se puede decir que hubo un exceso de la dosis, mientras que, con la inoculación de únicamente 2 l de las BFN se puede considerar que hubo una dosis deficiente.



**Figura 11.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en el PPF de calabacita Var. Grey zucchini. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.4.1 Rendimiento por planta

El rendimiento por planta del calabacín se vio afectado al inocular 2 l de las BFN, mientras que, el mayor aumento se registró con la inoculación de 1 l de BFN más el 100 % de la fertilización nitrogenada (Figura 12). A esto se le puede atribuir a que, las BFN poseen la capacidad de producir fitohormonas responsables del crecimiento radical en las plantas, modificando su morfología y aumentando la biomasa, permitiendo un mayor anclaje, mejorando el aprovechamiento de los nutrientes y el agua, pero en dosis óptimas de las BFN (Oliva, 2019).



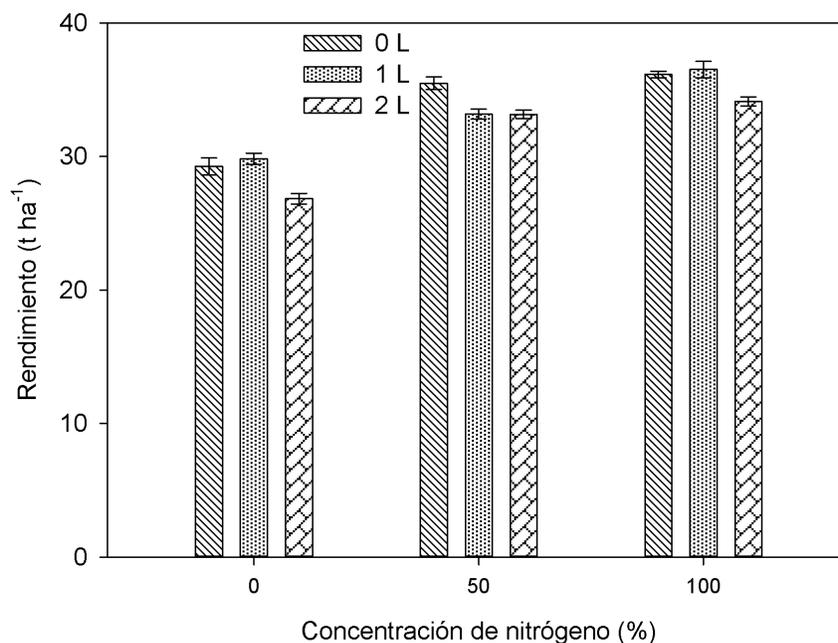
**Figura 12.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en el rendimiento por planta de calabacita Var. Grey zucchini. Las barras indican el error estándar de la media.

#### 4.4.3 Rendimiento $t\ ha^{-1}$

El rendimiento por hectárea de calabacita fue mayor en aquellas que no fueron inoculadas con BFN y 50 % de la fertilización nitrogenada o en plantas que recibieron 0 y 1 L de BFN, pero, 1 l más 100 % de la fertilización fue donde se obtuvo el mayor rendimiento, mientras que, el menor se registró en aquellas donde no se aplicó la fertilización nitrogenada más la inoculación de 2 l de las BFN (Figura 13). Algo similar menciona Oliva, 2019, pues explica que las aplicaciones de las BFN en campos de producción deben aplicarse con una fertilización química del 100 %, de lo contrario el rendimiento se puede reducir hasta 33 %. Este aumento en el rendimiento en este tratamiento (1 l más 100 % de la fertilización nitrogenada) se le puede atribuir a que la concentración  $NO_3^-$  en la solución del suelo fue menor durante la fase de producción, por lo que hubo una mayor demanda de este ion por parte de la planta en esta fase. Comparando la concentración de  $NO_3^-$  en la solución del suelo durante la fase de producción se observó que dicha concentración fue mayor en este tratamiento (Figura 1), por lo que, la planta tuvo una mayor disponibilidad de este nutriente, de esto se puede decir que, en esta fase la planta

aumentó la absorción de este ion debido al aumento en la demanda por parte de los frutos, pues la savia de la planta registró una mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  en esta fase que en la de floración (Figura 6). A este tratamiento también se le suman los iones de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , ya que la concentración de ambos en la fase de producción disminuyó en el suelo, pero aumentó en la savia de la planta (Figura 2, 3, 7 y 8). Cabe mencionar que en este tratamiento también se obtuvo la mayor altura de la planta, DT, PPF y rendimiento por planta (Figura 9, 10, 11 y 12), por lo que estas variables están relacionadas con el incremento en el rendimiento por hectárea de la calabacita.

En general la inoculación de 2 l de las BFN disminuyó el rendimiento de las plantas (Figura 13). En este caso se puede decir que, esta dosis (2 l de las BFN), representó el mayor volumen de inoculación de bacterias, por lo que las BFN encontraron limitaciones nutricionales en el suelo, de esta forma no lograron una sobrevivencia y establecimiento adecuado, por lo que, los resultados no fueron los esperados (Lozada y Rivas, 2010).



**Figura 13.-** Efecto de la interacción entre la concentración de nitrógeno y de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) en el rendimiento por hectárea de calabacita Var. Grey zucchini. Las barras indican el error estándar de la media.

## 5.- CONCLUSIONES

La aplicación al suelo de bacterias fijadoras de nitrógeno en combinación con fertilizantes nitrogenados permite incrementar el diámetro de tallo, altura de la planta, el peso promedio de fruto, así como el rendimiento por hectárea de calabacita, siempre y cuando se utilice la dosis adecuada (1 l de BFN más el 100 % de la fertilización), ya que dosis excesivas afectan de manera negativa.

La concentración de iones tanto en la solución del suelo como en la savia de la planta estuvo dada principalmente por la etapa fisiológica del cultivo y por la aplicación de la fertilización nitrogenada en cuanto a la concentración de nitratos. Esto sugiere que, el uso de las BFN promueve mayor crecimiento y rendimiento de calabacita.

## 6.- LITERATURA CITADA

- Aguado-Santacruz G. A. 2012.** Uso de microorganismos como biofertilizantes. *In:* Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. INIFAP/SAGARPA. México. 35 p.
- Aguilar C. C., Alcántara J. J. A., Leyva B. S., Ayvar S. S. y Díaz V. G. E. 2019.** Rendimiento y rentabilidad de genotipos de papaya en función de la fertilización química, orgánica y biológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10 (3).
- Aguilar-Carpio C., Cervantes-Adame Y. F., Sorza-Aguilar P. J., Escalante-Estrada J. A. S. 2022.** Crecimiento, rendimiento y rentabilidad de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) fertilizada con fuentes químicas y biológicas. *Terra Latinoamericana* 40: 1-12.
- Alvarado-Camarillo D., Valdez-Aguilar L. A., Cepeda-Dovala J. M., Rubí-Arriaga M. y Pineda-Pineda J. 2021.** Aplicación fraccionada de fertilizantes vía fertirriego y la eficiencia del nitrógeno, fósforo y potasio en calabacita. *Acta Agrícola y Pecuaria* 7(1).
- Alvarado-Carrillo M., Díaz-Franco A. y Alejandro-Allende F. 2018.** Gallinaza, micorriza arbuscular y fertilización química reducida en la productividad de calabacita y pepino. *Revista internacional de contaminación ambiental* 34(2): 273-279.
- Apáez-Barrios P., Lara-Chávez M. B. N., Apáez-Barrios M. y Raya-Montaño Y. A. 2019.** Producción y rentabilidad de calabacita con aplicación de zeolita y fertilizante químico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* publicación especial número 23.
- Armenta-Bojórquez A. D., García-Gutiérrez C., Camacho-Báez J. R., Apodaca-Sánchez M. Á., Gerardo-Montoya L. y Nava-Pérez, E. 2010.** Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai* 6(1): 51-56.
- Balta C. R. A., Rodríguez C. Á. M., Guerrero A. R., Cachique, D., Alva P. E., Arévalo L. L. y Loli O. 2015.** Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo

y potasio en sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en suelos ácidos, San Martín, Perú. Folia Amazónica 24(2): 23-30.

**Bataller G. V. 2014.** El calcio y su asimilación por parte de las plantas. Cannabis Magazine: La revista de los profesionales y amantes del cáñamo 125: 58-63.

**Beltrán-Morales F. A., Nieto-Garibay A., Murillo-Chollet J. S. A., Ruíz-Espinoza F. H., Troyo-Dieguez E., Alcalá-Jauregui J. A. y Murillo-Amador B. 2019.** Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. Terra Latinoamericana 37: 371-378.

**Bojacá, C., Monsalve, O., Casilimas, H., Gil, R., Villagrán, E., Arias, L., & Fuentes, L. 2012.** Manual de producción de pepino bajo invernadero. Bogotá, Colombia: Universidad Jorge Tadeo Lozano.

**Cadahía L. C. 2008.** La savia como índice de fertilización, Cultivos agroenergéticos, hortícolas, frutales y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. España.

**Cairo C. P., Machado A. J., Rodríguez L, O. y Rodríguez U. A. 2017.** Efecto de abonos órgano-minerales sobre la calidad del suelo, impacto en el rendimiento de la caña de azúcar. Centro Azúcar 44(4): 12-20.

**Camargo E. y Gonzalez J. E. 2020.** Estudio bromatológico de cinco variedades de zapallos (*Curcubita* spp) cultivados en la provincia de Chiriquí. Revista Plus Economía 8(2): 57-73.

**Castellanos J. Z. 2004.** Manual de producción hortícola en invernaderos. Intagri. (2ª ed.). Celaya, Guanajuato. México.

**CEDRSSA. 2019.** Fertilizantes. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. [http://www.cedrssa.gob.mx/post\\_n-fertilizantes-n.htm](http://www.cedrssa.gob.mx/post_n-fertilizantes-n.htm) consultado 31 enero 2023.

**Chaveli C. P., Font V. L., Calero M. B. J., Valenciano A. M. y Corrales G. I. 2009.** Evaluación de la calidad y estabilidad de abonos órgano-minerales. Centro Agrícola 36(3): 63-69.

- Cremona M. V. y Enríquez A. S. 2020.** Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. Revista Presencia (73).
- Domingo E. 2015.** El libro de la huerta. Editorial LIBSA. España. 134 p.
- Domingues D. C. F., Cecato U., Trento B. T., Mamédio D. y Galbeiro S. 2020.** *Azospirillum* spp en gramíneas y forrajeras. Revisión. Revista mexicana de ciencias pecuarias 11(1): 223-240.
- Domínguez V. N. M. y Sibrián F. Y. B. 2016.** Efecto del poliacrilato de potasio en el rendimiento de chile morrón (*Capsicum annuum*) cultivar Alliance en macrotúnel Zamorano, Honduras. [Tesis de licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana]. Biblioteca Digital - Zamorano. Recuperado de: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/028e82bd-c5b7-4ec4-bfd2-9ac0cdba6245/content>
- Durán R. F. 2013.** Seguridad alimentaria cultivando hortalizas. Grupo Latino Editores S.A.S. Colombia. 187, 190, 192 p.
- Escobar C., Horna Y., Carreño C. y Mendoza G. 2011.** Caracterización de cepas nativas de *Azotobacter* spp. y su efecto en el desarrollo de *Lycopersicon esculentum* Mill. "tomate" en Lambayeque. Scientia Agropecuaria 2(1): 39-49.
- Fageria V. D. 2001.** Nutrient interactions in crop plants. Revista de Nutrición Vegetal 24(8): 1269-1290 p.
- FAOSTAT. 2020.** Base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> 22 enero 2023.
- Fernández-Pascual M., Nuria M. y Felipe R. M. 2002.** Fijación biológica de nitrógeno: factores limitantes. Ciencia y Medio Ambiente: 195-202.
- Flores M. A., Miranda R. R. A., Galvis S. A., Hernández M. M. T. y Ramos E. G. 2010.** Estudio sobre el requerimiento interno de nitrógeno en lechuga

(*Lactuca sativa*). Sociedades rurales, producción y medio ambiente 19: 83-100.

**Gaona-Gonzaga P., Vásquez-Rojas L., Aguayo-Pacas S., Viera-Arroyo W., Viteri-Díaz P., Sotomayor-Correa A., Medina-Rivera L., Mejía-Bonilla P., y Cartagena-Ayala Y. 2020.** Respuesta del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) cultivar “Colombiana” al suministro de nitrógeno y potasio por fertirriego. Manglar 17(1): 75-82.

**Gonzales E., Alcarraz M., Castro A. y Casas S. 2018.** Efecto del biofertilizante *azotobacter-rhizobium* en tarwi (*Lupinus mutabilis* SWEET.), como alternativa a la fertilización química. Ciencia e Investigación 21(2): 7-12.

**Grageda-Cabrera O. A., Díaz-Franco A., Peña-Cabriales J.J. y Vera-Núñez J. A. 2012.** Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3(6): 1261-1274.

**Hernández C. M., Terry E. C. y Almogueva F. M. 2015.** Uso de *Azospirillum* en la agricultura. Revista Científica Agroecosistemas, 3(1).

**Hernández J. L., Cubillos-Hinojosa J. G. y Milian P. E. 2012.** Aislamiento de cepas de *Rhizobium* spp., asociados a dos leguminosas forrajeras en el Centro Biotecnológico del Caribe. Revista Colombiana de Microbiología Tropical 2(2).

**INIFAP. 2005.** La fertilización en los cultivos de maíz, sorgo y trigo en México. Folleto técnico N° 1. Celaya, Guanajuato, México.

**Insuasti B. J. P. 2017.** Efecto de los fertilizantes triple 20 y nitrato de potasio en pH, conductividad eléctrica en el sustrato y crecimiento de plántulas de lechuga, tomate y chile. [Tesis de licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana]. Biblioteca Digital - Zamorano. Recuperado de: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/407552b8-0532-4762-afc4-c2f56f200e66/content>

- Jaramillo N. J., Aguilar A. P. A., Villarreal N. A. P., Saldarriaga C. A., Grisales V. N. Y., Quintero V. L. M., Franco G., Martínez C. F. E., Sánchez B. A. N., Bautista C. R. A., Fuentes B. J. C, y Macías V. A. J. 2019.** Modelo productivo de calabacín (*Cucurbita pepo*) para los departamentos de Cundinamarca y Antioquia. Agrosavia. Colombia. 66, 91, 92 p.
- Jiménez M. B. R. 2018.** Influencia del potasio en la producción y calidad del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad Floradade. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Tumbes. Recuperado de: <http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/224/TESI%20-%20JIMENEZ%20MORE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lara M. C., García T. L. P. y Oviedo Z. L. E. 2011.** Efecto biofertilizante del preparado: residuos vegetales-bacteria nativa diazótrofa, sobre las variables biométricas en plántulas de *Rhapanus sativus*. Revista Colombiana de Biotecnología 13(1): 156-162.
- Lara M. C., Villalba A. M. y Oviedo Z. L. E. 2007.** Bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno de la zona agrícola de San Carlos. Córdoba, Colombia. Revista Colombiana de Biotecnología 9(2): 6-14.
- López-Alcocer J. J., Lépiz-Ildefonso R., González-Eguiarte D. R., Rodríguez-Macias, R., López-Alcocer E., Olalde-Portugal V. 2017.** Caracterización morfológica y bioquímica de cepas de *Rhizobium* colectadas en frijol común silvestre y domesticado. Revista Fitotecnia Mexicana 40(1): 73-81.
- Lozada L. L. C. y Rivas V. C. Y. 2010.** Evaluación del efecto de la inoculación de *Azotobacter spp.* en plantas de ají dulce (*Capsicum frutescens*). [Tesis de licenciatura, Universidad de los Andes]. Biblioteca digital de la Universidad de los Andes. Recuperado de: [http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde\\_arquivos/34/TDE-2010-05-18T07:01:28Z-956/Publico/LozadaLusbely\\_RivasCarmen.pdf](http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde_arquivos/34/TDE-2010-05-18T07:01:28Z-956/Publico/LozadaLusbely_RivasCarmen.pdf)

- Mantilla-Paredes A. J., Cardona G. I., Peña-Venegas C. P. Murcia U., Rodríguez M. y Zambrano M. M. 2009.** Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana. *Revista de biología tropical* 57(4): 915-927.
- Maroto B. J. V. 2002.** Horticultura herbácea especial. (5ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa. España. 575 p.
- Martínez-Viera R., Dibut B. y Ríos Y. 2010.** Efecto de la integración de aplicaciones agrícolas de biofertilizantes y fertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta. *Cultivos Tropicales* 31(3).
- Medina B. P., y Núñez T. N. 2015.** Efecto de compost inoculado con bacterias de los géneros *Azotobacter* y *Novosphingobium* fijadoras de nitrógeno en el rendimiento del olivo (*Olea europaea* L.) en la Yarada - Tacna, 2011-2012. *Revista Ciencia y Desarrollo* 20: 27-30.
- Messiaen C. M. 1979.** Las hortalizas. Blume distribuidora S. A. México. 228 p
- Monares-Gallardo I., Ceja-Torres L. F., Escalera-Gallardo C., Vázquez-Gálvez G. y Ochoa-Estrada S. 2012.** Tamaño de partícula y tiempo de aplicación pre-siembra de harina de pescado (*Plecostomus* spp.) en producción de calabacita. *Terra Latinoamericana* 30(2):147-155.
- Moreno R. A., Carda M. V., Reyes C. J. L., Vásquez A. J. y Cano R. P. 2018.** Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología* 20(1): 68-83.
- Nápoles G. M. C., Cabrera P. J. C., Onderwater R., Wattiez Ruddy., Hernández F. I., Martínez G. L. y Núñez V. M. 2016.** Señales producidas por *Rhizobium leguminosarum* en la interacción con frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) *Cultivos Tropicales* 37(2): 37-44.

- Obando M., Rivera D. y Bonilla R. 2013.** Respuesta fisiológica a la fertilización por *Azotobacter chroococcum* AC1 y fertilización nitrogenada de síntesis sobre el maíz (*Zea mays* L.) en invernadero. *Biotecnología* 17: 11-22.
- Oliva P. M. J. 2019.** Efecto de la Aplicación Exógena de Consorcio de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno en el Crecimiento y Rendimiento de Calabacita (*Cucurbita pepo* L.). [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio de la UAAAN. Recuperado de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47421/K%2066569%20Oliva%20Palma%2c%20Margarito%20Jovani.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Orozco V. J., Galindo P., Segura C., Fortis H., Preciado R., Yescas C., y Montemayor T. 2016.** Dinámica de crecimiento de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en un sustrato a base de vermicomposta en invernadero. *Phyton* (Buenos Aires) 85(1): 117-124.
- Peirce L. C. 1987.** Vegetable: characteristics, production, and marketing. John Wiley & Sons. USA. 375 p.
- Pérez G. M., Márquez S. F. y Peña L. A. 1997.** Mejoramiento genético de hortalizas. 1ª (ed.) en español. Universidad Autónoma Chapingo. México. 188, 193 p.
- Pilatuña Q. M. F., González-Parra M. M., Mero G. M. E., y Risco A. D. 2021.** Evaluación agronómica de bacterias fijadoras de nitrógeno aisladas de suelos andinos en plántulas de lechuga y tomate. *Investigación Agraria* 23(1): 47-52.
- Piscoya C. E. y Ugaz U. Z. 2016.** Efecto de *Azospirillum*, *Azotobacter* y *Enterobacter spp.* nativas con 50 % de fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de *Zea mays* L." maiz" amarillo duro en Lambayeque, 2013. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo]. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. Recuperado de: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/497/BC-TES-4271.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ramos A. D. y Terry A. E. 2014.** Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales* 35(4): 52-59.
- Ratnam N., Naijibullah M. and Ibrahim M. D. 2017.** A review on *Cucurbita pepo*. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research* 9(9): 1190-1194.
- Reyes P. J. J., Luna M. R. A., Reyes B. M. R., Zambrano B. D., Vázquez M. V. F. 2017.** Fertilización con abonos orgánicos en el pimiento (*Capsicum annum* L.) y su impacto en el rendimiento y sus componentes. *Revista Centro Agrícola* 44(4): 88-94.
- Romo-Reyes M, M., Loza-Llamas J. A. y Méndez-Morán L. 2018.** Efecto en la producción de calabacita italiana (*Curcubita pepo* L.), bajo riego con agua de lluvia y de pozo. *Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable* 4(10): 8-12.
- Salunkhe D. K. y Kadam S. S. 2004.** Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas. Acribia S. A. España. 279 p.
- Sedano-Castro G., González-Hernández V. A., Engleman E. M., y Villanueva-Verduzco C. 2005.** Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(2): 291-297.
- Sedano-Castro G., González-Hernández V. A., Saucedo-Veloz C., Soto-Hernández M., Sandoval-Villa M. y Carrillo-Salazar J. A. 2011.** Rendimiento y calidad de frutos de calabacita con altas dosis de N y K. *Terra Latinoamericana* 29(2): 133-142.
- SIACON. 2022.** Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430> 23 enero 2023.
- SIAP. 2021.** Servicio de Alimentación Agroalimentaria y Pesquera. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/paq/2021/Panorama-Agroalimentario-2021](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/paq/2021/Panorama-Agroalimentario-2021) consultado 23 enero 2023.

- Soto G. 2020.** El continuo crecimiento de la agricultura orgánica: Orgánico 3.0. Revista de Ciencias Ambientales 54(1): 215-226.
- Sumbul A., Ansari R. A., Rizvi R. and Mahmood I. 2020.** *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. Saudi journal of biological sciences 27(12): 3634-3640.
- Tamara P. L. A. 2016.** Macronutrientes y micronutrientes. Programa de biología. Fisiología Vegetal. Universidad de Sucre.
- Valadez L. A. 1998.** Producción de hortalizas. Editorial LIMUSA. México. 227 p.
- Zamilpa J., Schwentesius R. R. y Ayala O. D. A. 2016.** Estado de la cuestión sobre las críticas a la agricultura orgánica. Acta Universitaria 26(2): 20-29.