

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCION DE POSTGRADO



USO DE HARINA DE SANGRE Y BACTERIAS NITRIFICANTES EN EL
CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y TASA FOTOSINTÉTICA DEL CHILE PIMIENTO

Tesis

Que presenta MARÍA GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTINEZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Saaltillo, Coahuila

Diciembre, 2020.

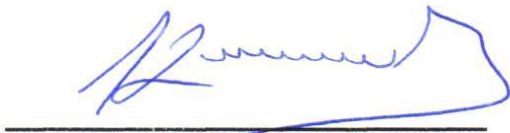
USO DE HARINA DE SANGRE Y BACTERIAS NITRIFICANTES EN EL CRECIMIENTO,
RENDIMIENTO Y TASA FOTOSINTÉTICA DEL CHILE PIMIENTO.

Tesis

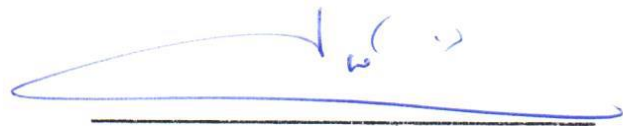
Elaborada por MARÍA GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ como requisito parcial
para obtener el Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor principal



Dr. Alejandro Zermeño González
Asesor



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor



Dr. Homero Ramírez Rodríguez
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor principal, el Dr. **Armando Hernández Pérez** por compartir sus conocimientos, la confianza y la oportunidad de realizar esta investigación.

A mis asesores:

Dr. **Alejandro Zermeño González** por su apoyo y las facilidades otorgadas para el trabajo de campo.

Dr. **Luis Alonso Valdez Aguilar** por los consejos y sugerencias en el desarrollo del proyecto.

Dr. **Homero Ramírez Rodríguez** por el apoyo otorgado para la conclusión de este trabajo de tesis.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico brindado durante el tiempo de mis estudios de postgrado.

A mi **ALMA MATER** por ser mi segunda casa y por la oportunidad de poder formarme para concluir una meta más en mi formación académica.

A **Alexis Arias** por todo el apoyo y motivación durante el desarrollo del proyecto, por creer en mí y por todas las vivencias. ¡Gracias por contagiarme con tu optimismo y ser parte fundamental en mi vida!

A mis compañeros y amigos, **Magda, Tomás, David, Salvador y Lupita Ovalle** por su colaboración y apoyo en los trabajos de campo y laboratorio, por las vivencias y risas compartidas.

Pero principalmente, agradezco al creador de todas las cosas, **mi DIOS**, por la salud, fortaleza y sabiduría para culminar una etapa más de mi vida profesional.

DEDICATORIA

A mi madre, **Esther Martínez Martínez**, como un testimonio de mi infinito amor y agradecimiento por toda una vida de esfuerzo y sacrificios, brindándome siempre sus sabios consejos, comprensión y apoyo cuando más lo necesité. Deseo de corazón que este triunfo lo sientas como tuyo propio.

A mi padre, **José Manuel Rodríguez Guerra**, por su estímulo y confianza, anhelando que siempre me preparara para enfrentarme a la vida y que hoy se ven cumplidos nuestros esfuerzos y deseos; hoy puedo decirte ¡he cumplido!

A mis hermanas **María y Gabriela**, por su apoyo incondicional, su confianza y su cariño; por tener en ustedes a mis mejores amigas.

A mis hermanos, **Julián y Juan Pablo** por brindarme su apoyo en cada etapa de mi vida.

A mis sobrinos **Daniela, Juan Carlos, Juan Pablo y Santiago**, por todas las alegrías que traen a la familia.

Dedicatoria especial:

A mi pequeña **Yulieth**, por llegar a mi vida en el momento justo. ¡Fuiste la motivación más grande y siempre buscaré lo mejor para ti, te amo infinitamente!

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
LISTA DE CUADROS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VI
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
General	3
Específicos	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Uso de fertilizantes nitrogenados	4
Uso excesivo de fertilizantes nitrogenados	5
Forma de absorción	5
Sangre de animales	6
Harina de sangre	7
Nitrificación	8
Bacterias nitrificantes	9
Bacterias nitrificantes en la agricultura	9
Cultivo de pimiento	10
Producción de pimiento e importancia económica	11
MATERIALES Y MÉTODOS	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS	29

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Respuesta de la aplicación de harina de sangre y bacterias nitrificantes en el crecimiento de <i>Capsicum annum</i> L.....	15
Cuadro 2. Concentración de macronutrientes en el medio de crecimiento según la dosis de harina de sangre y nivel de bacterias nitrificantes adicionado a éste en la producción de <i>Capsicum annum</i> L.....	18
Cuadro 3. Respuesta de la aplicación de harina de sangre y bacterias nitrificantes en la tasa fotosintética de <i>Capsicum annum</i> L.....	20
Cuadro 4. Respuesta de la aplicación de harina de sangre y bacterias nitrificantes en el peso promedio de frutos y rendimiento de <i>Capsicum annum</i> L.....	23
Cuadro 5. Respuesta de la aplicación de harina de sangre y bacterias nitrificantes en la acumulación de biomasa y contenido de carotenoides en frutos de <i>Capsicum annum</i> L.....	24
Cuadro 6. Respuesta de la aplicación de harina de sangre y bacterias nitrificantes en el estado nutrimental de <i>Capsicum annum</i> L.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la harina de sangre y bacterias nitrificantes en el crecimiento del cultivo de <i>Capsicum annum</i> L.....	16
Figura 2. Efecto de la harina de sangre y bacterias nitrificantes en la concentración de macronutrientes, pH y CE del medio de crecimiento sobre el que se desarrolló el cultivo de <i>Capsicum annum</i> L.....	19
Figura 3. Interacciones entre harina de sangre y bacterias nitrificantes en la tasa fotosintética de <i>Capsicum annum</i> L.....	21
Figura 4. Efecto de la harina de sangre y bacterias nitrificantes en el peso promedio de fruto y rendimiento total de <i>Capsicum annum</i> L.....	23
Figura 5. Interacciones entre harina de sangre y bacterias nitrificantes en la acumulación de biomasa y contenido de carotenoides en frutos del cultivo de pimiento morrón.....	27
Figura 6. Efecto de la harina de sangre y bacterias nitrificantes en el estado nutricional de <i>Capsicum annum</i> L.....	27

RESUMEN

La influencia de la harina de sangre en la nutrición de cultivos hasta la fecha es limitada. Se evaluó los efectos de cinco dosis de harina de sangre (0, 6.5, 13.0, 19.5 y 26.0 g) en el medio de crecimiento, con y sin la presencia de bacterias nitrificantes, sobre propiedades químicas del sustrato, contenido nutrimental y rendimiento de fruto de *Capsicum annum* L. La concentración de NO_3^- en el medio crecimiento aumentó al incrementar la dosis de harina de sangre, independientemente del nivel de bacteria nitrificante. El pH aumentó al incrementar la dosis de harina de sangre con bacterias nitrificantes, pero sin adicionar bacterias el pH fue menor. La concentración de Ca, K y la CE del medio de crecimiento decreció al aumentar la dosis de harina de sangre con la adición de bacterias nitrificantes, pero sin bacterias la concentración de éstos se mantuvo constante. El contenido de N y K en el tejido vegetal se redujo al aumentar la dosis de harina de sangre, independientemente del nivel de bacteria nitrificante. El contenido de Ca y Mg, al adicionar bacteria nitrificante se redujo con el aumento la dosis de harina de sangre, pero al no adicionar bacterias, el contenido de Ca fue mayor con 19.5 g de harina de sangre, mientras que de Mg fue con 0 y 19.5 g de harina de sangre. El peso promedio de fruto fue mayor al aplicar 6.5, 13.0 y 19.5 g de harina de sangre sin la adición de bacterias, pero al adicionarla este parámetro fue mayor con 6.5 y 19.5 g de harina de sangre. Por otra parte, el rendimiento fue mayor al adicionar 6.5 g de harina de sangre sin aplicar bacterias, pero al adicionarla el rendimiento fue superior sin harina de sangre.

Palabras clave: *Capsicum annum* L., fertilización orgánica, sustrato, nitrógeno.

ABSTRACT

The current knowledge on the influence of blood meal in crop nutrition is rather limited. We studied the effects of five different blood meal rates (0, 6.5, 13.0, 19.5 y 26.0 g) added to the cultural medium, with and without the presence of nitrifying bacteria. We assessed the chemical properties of the substrate, the nutritional

content and the fruit yield of *Capsicum annum* L. The concentration of NO_3^- in the cultural medium increased as the rate of blood meal increased, regardless the levels of nitrifying bacteria. The pH increased as the rates of blood meal with nitrifying bacteria increased. The pH was lower without the addition of nitrifying bacteria. Ca, K and EC in the cultural medium decreased as the rate of blood meal with nitrifying bacteria increased, but their concentration remained consistent without nitrifying bacteria. The content of N and K in plant tissue dropped, as the rates of blood meal increased, regardless the level of nitrifying bacteria. With the addition of nitrifying bacteria, Ca and Mg decreased, when the rates of blood meal increased. Without bacteria, Ca was higher at 19.5 g of blood meal; while Mg was higher with the rates of 0 and 19.5 g. Average fruit weight was higher when we applied blood meal at 6.5, 13.0 and 19.5 g, without bacteria. When we added bacteria, this parameter was higher with 6.5 and 19.5 g blood meal rates. On the other hand, the yield was higher when we added 6.5 g of blood meal, without bacteria. When we added bacteria, the yield was higher, without blood meal.

Key words: *Capsicum annum* L., organic fertilization, substrate, nitrogen.

INTRODUCCIÓN

La producción de hortalizas en invernadero hace necesario el uso de altas tasas de nutrientes con el fin de maximizar el rendimiento de los cultivos (Huang *et al.*, 2002; Trewavas, 2001). En la actualidad, el abuso y uso indebido de fertilizantes minerales son responsables de los problemas de salud, la contaminación ambiental y pérdida de biodiversidad (Meyer *et al.*, 2015; Waqar *et al.*, 2014). Por lo cual, es necesario adoptar estrategias que proporcionen una nutrición óptima de las plantas con un mínimo uso de fertilizantes convencionales y una menor contaminación ambiental, pero que a la vez permitan mejorar los rendimientos del cultivo (Haley y Reed, 2004; Roupheal *et al.*, 2004). La aplicación de fertilizantes orgánicos es una alternativa que pueden emplearse en la producción agrícola y, que actualmente, el uso de nutrientes de fuentes orgánicas con muy poco o ningún uso de fertilizantes inorgánicos está ganando rápidamente la atención de los productores y consumidores de hortalizas (Anwar *et al.*, 2005; Świtek *et al.*, 2019). En este contexto, el N es el nutriente utilizado en mayor cantidad, debido a que este elemento delimita el crecimiento y producción de las plantas (Benton, 1998; Del Amor *et al.*, 2006), por lo que el uso eficiente de fertilizantes nitrogenados se ha convertido en una preocupación, ya que éste elemento provoca la mayor contaminación de los cuerpos de agua adyacentes a las tierras agrícolas (Gaskell y Smith, 2007; Quiñones *et al.*, 2005; Ramos *et al.*, 2002). Como fuentes principales de N dentro de la agricultura orgánica se encuentran los abonos verdes, el compost, residuos de procesos biológicos y otros fertilizantes naturales (Bañados *et al.*, 2012). La harina de sangre bovina actualmente se está utilizando como una fuente importante de N orgánico, pues éste contiene abundantes cantidades de N (12% a 14% N), principalmente en forma de proteínas, que constituyen aproximadamente el 80% de la harina de sangre (Diaz-Perez *et al.*, 2017; Hartz y Johnstone, 2006; Chan *et al.*, 2007).

Sin embargo, el manejo de la fertilidad del N es problemático para muchos cultivadores de vegetales orgánicos, particularmente aquellos que producen cultivos

altamente exigentes (Hartz y Johnstone, 2006), debido a que es difícil hacer coincidir la disponibilidad de nutrientes disueltos en el medio de cultivo con la demanda de las plantas en diferentes etapas del ciclo del cultivo (Bergstrand *et al.*, 2019), ya que los fertilizantes orgánicos dependen de la degradación microbiana para convertir los nutrientes unidos orgánicamente en iones disponibles para las plantas (Bergstrand *et al.*, 2019). El proceso de mineralización y nitrificación son parte de un ciclo dinámico de N en el medio que determina en gran medida la tasa y disponibilidad de N mineral para el cultivo en crecimiento (Gaskell y Smith, 2007).

De acuerdo a lo antes mencionado y a la poca información existente sobre el uso de la harina de sangre como fuente de N orgánico adicionado junto con fertilizantes inorgánicos en la producción comercial de hortalizas, se planteó el objetivo de evaluar el efecto de la harina de sangre bovina en la producción de plantas de *Capsicum annum* L., con y sin la presencia de bacterias nitrificantes, como una alternativa que mejore la fertilización nitrogenada y rendimiento de dicho cultivo bajo condiciones de invernadero.

OBJETIVOS

General.

Determinar el efecto de la harina de sangre y bacterias nitrificantes en la productividad, tasa fotosintética y estado nutrimental del chile pimiento.

Específicos.

- Establecer la dosis óptima complementaria de harina de sangre y bacterias nitrificantes que favorezca el crecimiento y desarrollo del pimiento.
- Determinar la influencia de la harina en la actividad fotosintética de la planta durante el ciclo del cultivo.
- Evaluar la eficiencia de la harina en el rendimiento y el estado nutrimental de las plantas.
- Evaluar la eficiencia de las bacterias nitrificantes en la disponibilidad de nitrógeno para el crecimiento de las plantas.

Hipótesis

La harina de sangre en conjunto con las bacterias nitrificantes mejorará la calidad y productividad del chile pimiento.

REVISIÓN DE LITERATURA

Uso de fertilizantes nitrogenados.

La disponibilidad de agua y la fertilización nitrogenada son dos de los factores limitantes para la mayoría de cultivos, a su vez, estos acarrearán repercusiones ambientales, económicas y sociales (Soto *et al.*, 2016). El uso excesivo de los fertilizantes químicos provoca grandes daños al medio ambiente y acentúa los costos de producción de los diferentes cultivos. De manera puntual, el nitrógeno ha sido uno de los promotores del incremento en el rendimiento de los cultivos en la actual, pero su desmedido uso provoca desequilibrios al suelo por el ensalitramiento y su lixiviación hacia los mantos freáticos, por lo que las aguas utilizadas para consumo humano, animal y vegetal pueden verse afectadas. Lograr la sustentabilidad no implica necesariamente erradicar el empleo de insumos industriales, sino de usarlos de forma racional e integrada con elementos biológicos o mezclados con productos orgánicos. Derivado de esto, surge la necesidad de implementar alternativas aplicadas a la gestión racional del nitrógeno necesario para la producción agrícola de manera que los cultivos reflejen su óptimo rendimiento (Cárdenas *et al.*, 2004).

El fácil acceso a los fertilizantes dentro del sector agrícola puede deberse a los subsidios en los precios de dichos productos, principalmente para los productores de bajos recursos con la finalidad de acrecentar la relación beneficio/costo de su producción y atenuar los declives en la productividad ocasionada por la falta de abonado (Del amor *et al.*, 2006). Al día de hoy, a pesar de que no se han adoptado globalmente los sistemas de producción ecológicamente sostenibles, se han alcanzado notables avances en la creación de conciencia sobre la necesidad de subsistir y desarrollarse a partir de fuentes naturales que atiendan puntualmente los requerimientos de cada cultivo para cada región, de modo que se logren incrementos en el rendimiento proporcionales a su aplicación.

Uso excesivo de fertilizantes nitrogenados.

El impacto ambiental que desencadena el uso excesivo de productos nitrogenados en el sector agrícola ha estado ligado al incremento exponencial en la utilización de formas no renovables de energía, que se convierte en una limitante para conseguir aumentos en la productividad agrícola, sin mencionar los daños ocasionados a la salud del hombre y los animales. La fabricación de estos productos, genera gases a la atmosfera como CO_2 y NO_2 estos acrecientan los daños a la capa de ozono, su aplicación masiva en el campo produce el lavado de nitratos y la emisión de N_2O y NH_3 (particularmente derivado de la urea), consecuentemente, la elevada presencia de nitratos en los productos alimenticios constituyen una fuente importante de toxicidad para el hombre, obligándolo a ejercer mayor control en la aplicación de dichos productos no solo en los ciclos productivos sino en la comercialización (Martínez *et al.*, 2010).

Por otro lado, la baja eficiencia de los fertilizantes nitrogenados (valores inferiores al 50% y un máximo de 70%) repercute directamente en las variables de rendimiento y calidad de la producción (Gardiazabal, 2007). En otras palabras, entre menor sea la eficiencia del producto, mayor será la aplicación y por ende, mayores serán los costos de producción, lo que podría ocasionar una insostenibilidad económica para las mayorías campesinas.

De manera puntual, el uso de fertilizantes nitrogenados influye grandemente en la disponibilidad de N y el pH del suelo; su efecto acidificante a largo plazo dependerá de factores como el tipo de suelo, el manejo de la fertilización y el clima (Chien *et al.*, 2008).

Forma de absorción.

El nitrógeno (N) es un elemento esencial en las células vegetales desarrollando un papel fundamental en el metabolismo de la planta. Algunas de las funciones principales que desempeña es que acelera la división celular, es indispensable en

el proceso de fotosíntesis y síntesis de clorofila y aumenta la producción de las cosechas. Algunas plantas usan el nitrógeno atmosférico a través de su asociación con microorganismos procariotes o diazotróficos, sin embargo, la mayoría de los cultivos depende del abasto externo de nitrógeno vía mineralización de la materia orgánica y de la adición de fertilizantes, de manera que puedan completar su ciclo de crecimiento.

El N es absorbido por las plantas en forma de iones nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), la cantidad del elemento absorbido dependerá de diversos factores como el estado fenológico de la planta, la disponibilidad de otros nutrientes en el medio de crecimiento, la disponibilidad de agua y diferentes condiciones ambientales. En su mayoría, las plantas absorben el NO_3^- en cantidades mayores que el NH_4^+ y se acumula en los tejidos cuando el nitrógeno disponible es mayor que el requerido para un óptimo crecimiento (Mengel y Kirkby, 2001). Dada su importancia, debe estar presente desde las primeras etapas de desarrollo de la planta. Villota (2014), recomienda realizar la aplicación de este elemento en una concentración no mayor del 20% en forma de NH_4^+ y un 80% como NO_3^- ; si se presenta una escasez puede generarse una ralentización del crecimiento de la planta y del fruto, una menor calidad y mayor susceptibilidad a enfermedades. En las hojas la concentración varía del 2 al 6% en peso seco y esta correlacionada con la capacidad fotosintética y productividad del cultivo.

La fuente fertilizante, la dosis y la época de aplicación dependerán de las necesidades propias del cultivo, de la concentración de los elementos, de las condiciones climáticas y del sistema de producción empleado (Villota, 2014) para lograr el éxito en la producción del cultivo.

Sangre de animales.

A lo largo de cada año, se recogen toneladas de sangre y otros deshechos o efluentes de los mataderos, los cuales se convierten en subproductos problemáticos de la industria cárnica cuando son vertidos directamente y sin control alguno al medio ambiente. Signorini *et al.* (2006) mencionan que el porcentaje en peso vivo

de la sangre de un porcino o de un bovino es del 5 al 7%, y puede recuperarse de un 70 a 80% durante el sangrado; el resto queda depositado en los diferentes órganos y tejidos. Los procesos de separación y recuperación de la sangre son de gran importancia, debido a que es el residuo más contaminante del agua; su aprovechamiento genera un beneficio al ambiente y puede obtenerse otro de tipo económico al ser procesada para obtener subproductos, como en este caso, la harina de sangre. Si la sangre es vertida en el agua, contribuye a incrementar los niveles de nitrógeno en el afluente, lo que imposibilita su remoción con cualquier tratamiento posterior en el cuerpo de agua y esto puede provocar la eutricación, el cual es un proceso natural de envejecimiento de agua estancada con exceso de nutrientes.

Según los datos reportados por Signorini *et al* (2006) solo el 10.6% del total de los rastros y solo el 0.7% de los mataderos destinan la sangre a la producción de harina, mientras que, el 28.3% y 10.4% respectivamente, la destinan a otro tipo de procesos. El aporte de sangre a los efluentes, sin una previa recuperación de dicho residuo, en el caso de bovinos y equinos es de 12 litros, de porcinos 3 litros, ovinos de 1 litro y de 0.05 litros en aves, lo que resulta en 121,294 litros de sangre eliminada diariamente del faenado de animales de abasto.

Harina de sangre.

En los últimos años ha ido en aumento la exploración de alternativas para la reducción de los efectos adversos consecuentes del uso de fertilizantes químicos. La sangre ya procesada (desecada), es usada como una fuente rica en proteínas en la preparación de alimentos para el ganado, para la fabricación de carbón de sangre (usado en la industria farmacéutica) y como fertilizante orgánico.

La harina de sangre es un subproducto de la industria cárnica, caracterizada principalmente por su alto contenido proteico y que se obtiene por la deshidratación de la misma, con rendimientos de hasta 2.8 kg/animal sacrificado. Su calidad dependerá del proceso por el cual se obtenga, particularmente de la temperatura empleada. Además, la harina es rica en lisina; uno de los aminoácidos más

importantes para el desarrollo humano y animal y el cual suele ser un factor limitante en el crecimiento de muchos seres vivos.

Por otra parte, debido a su rápida acción y alto contenido nitroso, se utiliza como fertilizante, ya que enriquece el suelo incrementando su capacidad de intercambio catiónico y actúa como estimulador de crecimiento de la planta. Su eficiencia permite un mejor aprovechamiento del fertilizante químico adicionado (en términos económicos) al reducirse la dosis del elemento.

Nitrificación.

La nitrificación es el proceso que sugiere la conversión del amonio a nitrato, y es llevado a cabo en primera instancia, por bacterias quimio-autotróficas pertenecientes a los géneros *Nitrosomas* y *Nitrobacter*. Las *Nitrosomas* convierten el amonio a nitrito y las *Nitrobacter* convierten el nitrito a nitrato. Este proceso depende de la temperatura, pH, contenido de agua y potencial osmótico del suelo (Cabrera, 2007).

Las bacterias nitrificantes necesitan agua y oxígeno para oxidar el amonio y el nitrato. Sin embargo, son también sensibles al potencial osmótico, por lo que su actividad comienza a decrecer cuando el potencial alcanza alrededor de 1.5 atmósferas. Un elevado potencial puede ser consecuencia de la fertilización excesiva (sobre todo cuando se hace por bandas) produciendo altas concentraciones de amonio que retardan la nitrificación de dicho elemento aplicado en forma de fertilizante. Sin embargo, Frioni (2006) señala que el mencionado proceso se ve favorecido por el aporte de N de la fertilización nitrogenada. En cuanto al pH, la nitrificación se detiene cuando los valores descienden de 4.5 o superan los 9, situación que puede ser causada por concentraciones tóxicas de Aluminio o ácido nitroso y por altos niveles de amonio en la solución del suelo, a valores bajos y altos respectivamente. Por su parte, la temperatura dependerá de la ubicación geográfica, puesto que desencadena la adaptación de las bacterias al ambiente (Dalias *et al.*, 2002). Por último, el contenido de agua óptimo para la oxidación se ha encontrado entre 37 y 60% de espacio poroso ocupado con agua (Grundmann

et al., 1995). Además, la nitrificación genera el sustrato para el proceso de pérdidas de N por lavado de NO_3^- y desnitrificación, ocasionando efectos negativos para el medio ambiente debido a la contaminación de los cuerpos subterráneos de agua o a la generación de gases de efecto invernadero (Kowalchuk, 2001).

Bacterias nitrificantes

Jimeno *et al* (2009), definen a las bacterias nitrificantes como organismos quimiolitotróficos (que oxidan el amoníaco y lo transforman en nitratos asimilables por las plantas, pueden ser quimioautótrofos o quimioheterótrofos) que consiguen su energía por la oxidación de los compuestos inorgánicos del nitrógeno. Dentro de estos, se distinguen dos grandes grupos de organismos nitrificantes; del grupo nitroso se abarcan los generos *Nitrosomona*, *Nitrosolobus* y *Nitrospira*, y del grupo nítrico se encuentran los generos *Nitrobacter*, *Nitrospira* y *Nitrococcus*, siendo su morfología y la estructura celular la diferencia entre dichos géneros. Por tanto, su eficiencia dependerá de la adaptación a las condiciones presentes en los medios de desarrollo. Mesas (2014), señala que la presencia de estas bacterias en los medios de cultivo resulta en una mayor retención del nitrógeno orgánico, lo que reduce el uso de fertilizantes nitrogenados y fosfóricos principalmente. Por tal motivo, el uso y aplicación de agentes de control biológico puede considerarse como un complemento al control químico en la agricultura.

Las rizobacterias benéficas que inducen un incremento en el crecimiento de las plantas, llamadas PGPRs (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), han sido divididas en dos grupos; las participantes en el ciclaje de nutrientes y la fitoestimulación y, las que se atañen al biocontrol de patógenos de las plantas. Además de incrementar el aporte de nitrógeno, influyen directamente en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos (Mesas, 2014).

Bacterias nitrificantes en la agricultura.

Shankar *et al* (2011), señalan que un sistema agrícola ideal debe mantener y, a su vez, beneficiar tanto a la salud humana como al medio ambiente, además de

producir alimentos suficientes en cantidad y calidad para el consumo de la población. Para lograr la sostenibilidad, se debe tener la menor dependencia a los fertilizantes y productos de síntesis química de manera general, por lo que el empleo de microorganismos benéficos para el crecimiento y desarrollo de las plantas, enfoca el manejo integral de cultivos hacia la búsqueda de un equilibrio entre la sustentabilidad y rentabilidad.

Como parte de ello y con la finalidad de optimizar la eficiencia de los fertilizantes aplicados en la nutrición del pimiento y otros cultivos, aparecen nuevas tecnologías, entre las que se encuentra el uso de agentes biológicos, los cuales son seleccionados por sus funciones y/o participación en diversos procesos biológicos. La aplicación de microorganismos como biofertilizantes ha sido empleada en los últimos años como un método para acrecentar la producción de los cultivos, tomando en cuenta el papel fundamental que éstos juegan en los ciclos biogeoquímicos. Destacan así, grupos funcionales de bacterias amonificantes y nitrificantes (Osorio, 2007). Diversos estudios han demostrado que el empleo de organismos de esta índole reducen considerablemente las pérdidas de nitrógeno en forma de nitrato y facilita su aprovechamiento por parte de las plantas (Gardiazabal, 2007).

Cultivo de pimiento

El ciclo del cultivo dura de 8 a 10 meses del trasplante al fin de la cosecha, sumando de 45 a 60 días más en que la plántula se desarrolla en el semillero, obteniendo en este sistema productivo un solo ciclo al año (Heuvelink *et al.*, 2004). Las plantas de pimiento cultivadas en invernadero presentan un crecimiento indeterminado con ramificación de sus tallos en dos o más ramas; cada una desarrolla, a su vez, de una a tres hojas, ramificando de nuevo y repitiendo su crecimiento dando lugar a un fruto en cada ramificación. Con base en este crecimiento, derivan dos sistemas de producción convencional. El primero, consiste en realizar podas para mantener dos tallos por planta (poda en V o sistema holandés) con una densidad de 2 o 3 plantas

por m^{-2} . En el segundo, la planta crece en forma arbustiva (sistema español) con una densidad de 3 plantas por m^{-2} (Jovicich *et al.*, 2004).

En el sistema español se ejerce una competencia mayor en los primeros frutos desarrollados con el crecimiento vegetativo y reproductivo; la consecuencia es un elevado número de frutos abortivos, lo cual disminuye después de cosechar los primeros frutos. En cambio, en el sistema holandés se busca una equilibrada distribución de los azúcares de la fotosíntesis entre el crecimiento vegetativo y reproductivo y, producir un solo fruto en cada bifurcación para evitar drásticamente el aborto de frutos y cosechar de manera continua. Así, para los productores sería deseable disponer de sistemas de producción que les permitan satisfacer no solo las necesidades del cultivo durante todo su ciclo a un costo relativamente bajo o conveniente, sino además, que mitigue en la medida posible los impactos negativos al medio ambiente.

Producción de pimiento e importancia económica.

El pimiento se ha posicionado como una de las hortalizas que más se consume en el mundo. Gracias a su buena adaptabilidad, el cultivo de chile se produce en casi todo el territorio nacional, produciéndose además, la mayor variedad de los mismos. Estos son tradicionales en la gastronomía mexicana y forman parte de los productos con mayor potencial de mercado en el ámbito internacional, posicionando a México como proveedor distinguido en el comercio de este cultivo, ocupando el primer lugar a escala mundial y abarcando el 29.71% de su producción total (lo que se destina al mercado de internacional). Además de que satisface el 100% de las demandas nacionales, presenta un 32.55% de incremento en las exportaciones, principalmente a Estados Unidos y Canadá. El SIAP (2017), señala a Sinaloa, Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas, como los principales estados productores de este cultivo hortícola, sumando a nivel nacional 12 mil productores con diversos niveles de tecnología.

Según reportes de la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA, 2017), la exportación de pimientos en este año

alcanzó un volumen de 150 mil 304 toneladas, generando un ingreso total de 153.7 millones de dólares, correspondientes al 29.71% de la producción total nacional para este mercado.

Tomando en cuenta la importancia que tiene el pimiento en la economía del país, se debe hacer énfasis en la relevancia que implica, por lo menos, mantener la productividad y mejorar la calidad del producto y qué mejor, que desarrollando esquemas de producción sustentables y amigables con el ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se llevó a cabo en 2019 en un invernadero dentro de las instalaciones del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son; Latitud Norte 25° 27', Longitud Oeste 101° 02' y a una altura de 1610 msnm. Durante el experimento se presentó una temperatura promedio diurna de 32 °C, humedad relativa de 45 % y radiación fotosintéticamente activa incidente diurna de 480 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Se utilizaron plántulas de pimiento (*Capsicum annum* L.) cv. Pepper Shir F1 Hybrid Amarillo XL, las cuales fueron trasplantadas el 30 abril en contenedores de polietileno negro con un volumen de 10 L. Los contenedores se llenaron con una mezcla de peat moss y perlita a una proporción 60/40 v/v. Se plantó una plántula en cada contenedor y se cultivaron a dos tallos. La distancia entre contenedores fue de 30 cm.

Los tratamientos consistieron en cinco dosis de harina de sangre bovina (0 [control], 6.5, 13.0, 19.5 y 26.0 g contenedor⁻¹) y dos niveles de bacterias nitrificantes (con y sin), dando un total de 10 tratamientos (Cuadro 1). Las dosis de harina de sangre (13 % N) fueron agregadas al sustrato al momento de llenar los contenedores, dos semanas previos al trasplante. Mientras que la adición de las bacterias nitrificantes (108 UFC) se realizó en intervalos de quince días, diluyendo 2 ml del producto por litro de agua y de esa dilución se tomó 250 ml y se adicionó junto con la solución nutritiva a cada contenedor. Para la nutrición de las plantas se empleó la solución nutritiva propuesta por Steiner (1961), con el N al 50%, empleando esta solución en todos los tratamientos evaluados (meq L⁻¹): 6 NO₃⁻, 1 H₂PO₄, 7 K, 4 Mg, 9 Ca y 7 SO₄. Para la preparación de la solución nutritiva se tomó en cuenta el análisis mineral del agua de riego. El pH de las soluciones se ajustó a 6.0±0.1 con H₃PO₄ al 85 % y H₂SO₄ a 1N. Al tercer día después del trasplante se iniciaron los riegos con la solución nutritiva. Los riegos se realizaron de forma manual, aplicando 2 litros por planta, fraccionado en dos riegos por día (primer riego

alrededor de las 9:00 am y el segundo a la 1:00 pm), variando la frecuencia según las necesidades hídricas de las plantas.

El experimento se finalizó con la cosecha del tercer set de frutos, cosechando los frutos cuando éstos presentaban una pigmentación total característica de la variedad. Se registró el peso promedio del fruto y peso total de frutos por planta. Al concluir el experimento, las plantas fueron sometidas a un lavado del sistema radicular con agua potable y agua destilada para eliminar el exceso de sustrato, separando la planta en raíz, tallo y hojas. Los órganos se introdujeron en un horno de secado a 65°C durante 72 h para posteriormente realizar la determinación mineral. La determinación del contenido de macronutrientes se hizo de la planta total (incluyendo hojas, tallos y raíz). Los tejidos se digitaron en una mezcla de 2:1 de H₂SO₄:HClO₄ y 2 ml de H₂O₂ al 30 % para determinar N con el procedimiento de Micro-Kjeldahl (Bremner, 1996); mientras que para determinar P, K, Ca, Mg y S, las muestras se digitaron con una mezcla de 2:1 de HNO₃:HClO₄ y se analizó con un espectrómetro de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES, model Liberty, VARIAN, Santa Clara, CA) (Soltanpour *et al.*, 1996). Además, se determinó el pH y CE, la concentración de NO₃⁻, Ca y K del sustrato. Para esta determinación se extrajo una muestra representativa de cada contenedor y se colocó en bolsas de polietileno transparente para su posterior exposición a la radiación solar por 5 días; posteriormente, se preparó una mezcla del sustrato con agua destilada (1:2 v/v) la cual se dejó en reposo por 30 min para después registrar las propiedades antes mencionada con la ayuda de un ionómetro portátil (Horiba LAQUA Twin).

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con un arreglo factorial (5 x 2), con cuatro repeticiones por cada tratamiento. Los datos obtenidos se sometieron en un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) utilizado el programa SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados sugieren un efecto significativo para la longitud de raíz y la altura de planta ($P \leq <0.0001$ y 0.0441), pero no para la acumulación de biomasa, según se observa (Cuadro 1), para la longitud de raíz la aplicación de bacterias presenta un efecto positivo, contrario a la altura de planta donde es mejor no agregar bacterias, mientras que el diámetro de tallo no se ve influenciado por este factor. El efecto de las dosis de harina de sangre, presenta efectos significativos para las tres variables mencionadas ($P \leq <0.0001$, 0.0002 y 0.0056) (Cuadro 1). La longitud de raíz fue mayor a dosis de 13.0 y 26 g de harina sin la aplicación de bacterias (Figura 1a), las dosis con valores inferiores a éstas y superiores con la presencia de bacterias el crecimiento cesa, esto probablemente se deba a la competencia entre microorganismos y plantas por los nutrientes disponibles en el medio de crecimiento, puesto que requieren de energía para descomponer la sangre a nitratos o compuestos amoniacales absorbibles por las plantas (Rugen y Bachman, 1990).

Cuadro 1. Respuesta de la aplicación de harina de sangre y bacterias nitrificantes en el crecimiento de *Capsicum annum* L.

Bacterias (Niveles)	Longitud de raíz	Altura de planta	Diámetro de tallo
	----- cm -----		
SB	55.0a	76.64b	22.57a
CB	50.05b	80.57a	22.52a
ANOVA $P \leq$	<0.0001	0.0441	0.9042
Harina de Sangre (g)			
0.00	46.625c	79.738a	22.137ab
6.50	47.625c	79.725a	22.262ab
13.00	58.875a	80.638a	21.250b
19.50	56.625ab	82.963a	23.650a
26.00	52.875b	74.975b	23.425a
ANOVA $P \leq$	<0.0001	0.0002	0.0056
Interacción $P \leq$	<0.0001	0.0001	0.0008
CV (%)	5.3483	3.6216	5.7714

CB=con bacterias, SB=sin bacterias, ANOVA=análisis de varianza, CV=coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

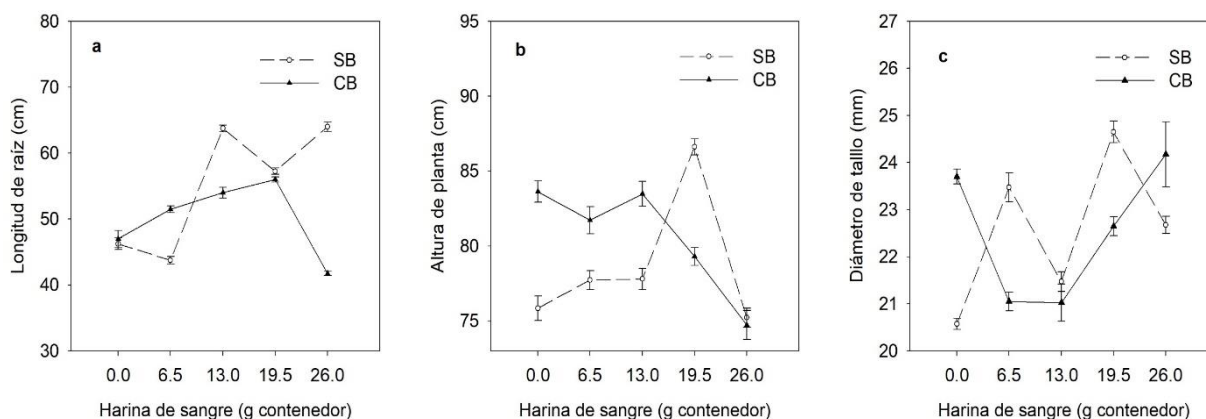


Figura 1. Efecto de la harina de sangre y bacterias nitrificantes en el crecimiento del cultivo de *Capsicum annum* L. SB = sin bacterias, CB = con bacterias.

Los resultados indican que la disponibilidad de NO_3^- y el pH en el medio de crecimiento sobre el que se desarrolló las plantas de pimienta morrón no fue afectado estadísticamente por el nivel de bacteria nitrificante evaluado, pero sí por la dosis de harina de sangre, así como por la interacción de ambos factores (Cuadro 1), demostrando que la disponibilidad de NO_3^- en el medio de crecimiento tendió a incrementar conforme se aumentó la dosis de harina de sangre adicionada al medio de crecimiento (Figura 1a), lo anterior indica que la producción de NO_3^- no estaba limitada por la actividad de las bacterias nitrificantes, sino por la cantidad de N disponible, tal como lo menciona Laanbroek y Gerards (1991). El incremento de la disponibilidad de N en forma de NO_3^- en el medio de crecimiento fue observado por Bergstrand *et al.* (2019) al evaluar la tasa de liberación de N de harina de sangre + Baralith® Enslow (un fertilizante orgánico a base de plantas). Así mismo, Hartz y Johnstone (2006) y Agehara y Warncke (2005), indican que la tasa de liberación de N presente en la harina de sangre es rápida, por lo tanto la disponibilidad de NO_3^- en el medio de crecimiento aumenta. Por otro lado, a pesar de que el pH del medio de crecimiento no presentó diferencia estadística según el nivel de bacteria nitrificante evaluado, se pudo observar que cuando no se adicionó bacterias nitrificantes al medio de crecimiento el pH aumentó al incrementar la dosis de harina de sangre, pero al adicionar bacteria nitrificante el pH del medio fue menor en los tratamientos en los que se adicionó harina de sangre (Figura 1E). La reducción del

pH al adicionar bacterias nitrificantes puede estar relacionada con la rápida liberación de N de la harina de sangre y al rápido proceso de nitrificación llevada a cabo por las bacterias nitrificantes, ya que según Rippey *et al.* (2004) en el proceso microbiano de nitrificación se produce liberación de H^+ en la rizosfera provocando la reducción del pH del medio de crecimiento. Aunado a lo anterior, los fertilizantes orgánicos tienden a contener porcentajes más altos de N en forma de NH_4^+ que los fertilizantes convencionales, y a medida que las plantas absorben NH_4^+ exudan iones de hidrógeno (H^+) para mantener el gradiente eléctrico dentro de las raíces, reduciendo el pH del medio (Rippey *et al.*, 2004). Sin embargo, pese al diferente comportamiento del pH según la dosis de harina de sangre y niveles de bacterias nitrificantes evaluados, el pH del medio no sobrepasó valores que pudieran afectar negativamente en el crecimiento del cultivo de *Capsicum annum* L., manteniéndose en el rango de 6.4 y 7.0. Por su parte Diaz-Perez *et al.* (2017) al evaluar el comportamiento del pH del medio de crecimiento al adicionar diferentes dosis de harina de sangre (0, 2.7, 5.4, 6.8, 13.6, 20.4, 27.2 y 54.4 g kg^{-1} N), observaron que el pH del sustrato fue de 5.9 en ausencia de harina de sangre y aumentó por arriba de pH 7 cuando se adicionó una dosis superior a 2.7 g kg^{-1} N.

Cuadro 2. Concentración de macronutrientos en el medio de crecimiento según la dosis de harina de sangre y nivel de bacterias nitrificantes adicionado a éste en la producción de *Capsicum annum* L.

Bacterias (Niveles)	LIXIVIADOS				
	NO ₃ ⁻	Ca	K	pH	CE
	----- ppm -----				dSm ⁻¹
SB	454.75 ^a	297.00 ^b	189.50 ^b	6.74 ^a	2.02 ^b
CB	470.25 ^a	312.75 ^a	220.75 ^a	6.66 ^a	2.33 ^a
ANOVA $P \leq$	0.230	0.045	0.004	0.086	0.001
Harina de Sangre (g)					
0.00	399.38 ^b	368.75 ^a	271.88 ^a	6.66 ^{ab}	2.63 ^a
6.50	418.75 ^b	310.00 ^b	177.50 ^b	6.61 ^b	2.00 ^c
13.00	485.63 ^a	289.38 ^b	195.00 ^b	6.63 ^{ab}	2.00 ^c
19.50	501.88 ^a	276.88 ^b	186.25 ^b	6.81 ^a	2.04 ^{bc}
26.00	506.88 ^a	279.38 ^b	195.00 ^b	6.79 ^{ab}	2.20 ^b
ANOVA $P \leq$	0.001	0.001	0.001	0.012	0.001
Interacción $P \leq$	0.061	0.001	0.001	0.001	0.001
CV (%)	3.449	3.2712	7.6842	1.8324	5.3988

CB=con bacterias, SB=sin bacterias, ANOVA=análisis de varianza, CV=coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

La concentración de Ca, K y la CE del medio de crecimiento fue influenciado estadísticamente por la dosis de harina de sangre y nivel de bacteria nitrificante adicionadas a éste, así como por la interacción de ambos factores (Cuadro 2), donde la concentración de Ca y K, al adicionar bacteria nitrificante al medio de crecimiento, fue mayor cuando no se suplementó harina de sangre; pero cuando no se adicionó bacteria nitrificante, la concentración de Ca y K se mantuvieron, generalmente, constantes en las diferentes dosis de harina de sangre evaluados (Figura 1b y 1c). Así mismo, la CE del medio de crecimiento presentó el mismo comportamiento que la concentración de Ca y K (Figura 1d), alcanzando una mayor CE (3.35 dSm⁻¹) en el tratamiento en el que se adicionó bacteria nitrificante y 0 g de harina de sangre, sin embargo, ésta CE no pareció ser estresante para el adecuado desarrollo del cultivo de *Capsicum annum* L. El comportamiento de la CE observado en este trabajo no concuerda con lo reportado por Rippey *et al.* (2004), quienes han indicado que la alta CE en el medio de crecimiento es un problema cuando se usan

fertilizantes orgánicos. Relacionado a lo anterior, Diaz-Perez *et al.* (2017), al evaluar el comportamiento de la CE del medio de crecimiento al adicionar diferentes dosis de harina de sangre (0, 2.7, 5.4, 6.8, 13.6, 20.4, 27.2 y 54.4 g kg⁻¹ N), reportaron que la CE aumentó al incrementar la dosis de harina de sangre adicionada al medio.

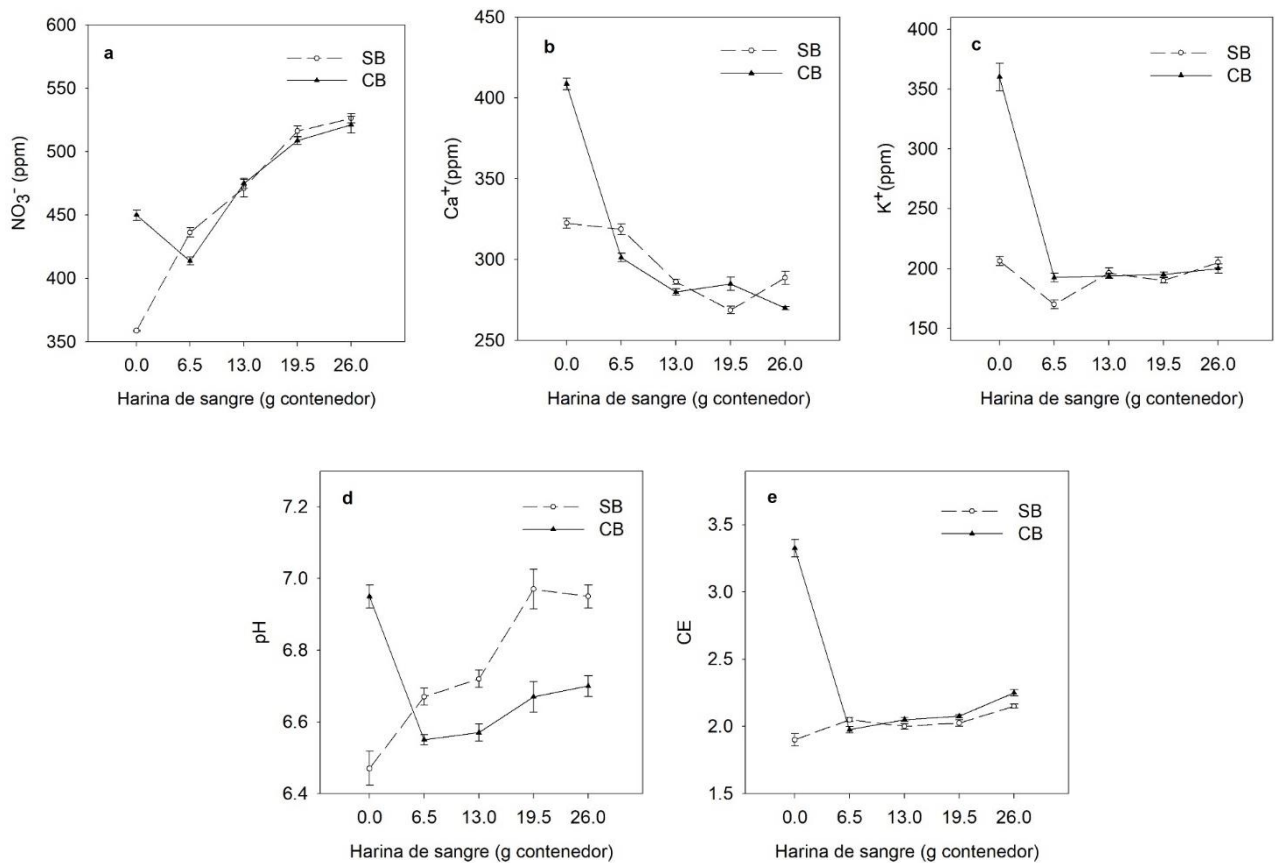


Figura 2. Efecto de la harina de sangre y bacterias nitrificantes en la concentración de macronutrientes, pH y CE del medio de crecimiento sobre el que se desarrolló el cultivo de *Capsicum annum* L. SB = sin bacterias, CB = con bacterias. Las barras en las líneas indican el error estándar.

En la tasa fotosintética, solo la asimilación y la transpiración se vieron influenciadas significativamente con la presencia de bacterias ($P \leq 0.0383$ y 0.0121) (Cuadro 3). El efecto que presentan las dosis de harina para la asimilación, sugiere que la de 19.5 g con la adición de bacterias presenta los mejores resultados, seguida de la misma dosis pero sin bacterias (Figura 3a), a una dosis mayor, ésta decrece de forma considerable; contrario a lo reportado por Lindquist, (2001) y Cechin (2004), quienes señalan que al aumentar el suministro del nitrógeno se aumenta también la asimilación. El valor más alto para la transpiración lo presenta la dosis de 26 g con la presencia de bacterias, seguido de la de 6.5 g, mientras que, cuando no se agregan bacterias a partir de la dosis de 13 g, se muestra una tendencia positiva (Figura 3b). En la (Figura 3c) se observa que conforme se aumentan las dosis y no se agregan bacterias, la conductancia estomática decrece ligera y constantemente, mientras que las dosis de 6.5 y 26 g presentan los valores más altos cuando se añaden bacterias. El suministro de nitrógeno a la planta implicaría un aumento de su tasa fotosintética, sin embargo, otros factores como las altas o bajas temperaturas, la humedad, exceso de luz y otros pudieron reflejarse en una disminución de dicho índice (Peil y Galvez, 2012).

Cuadro 3. Respuesta de la aplicación de harina de sangre y bacterias nitrificantes en la tasa fotosintética de *Capsicum annum* L.

Bacterias (Niveles)	Asimilación	Transpiración	Conductancia estomática
	----- $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -----		
SB	17.45b	13..67b	0.468a
CB	17.74a	14.34a	0.475a
ANOVA $P \leq$	0.0383	0.0121	0.6730
Harina de Sangre (g)			
0.00	17.212b	12.962c	0.441a
6.50	17.562b	14.237ab	0.495a
13.00	17.500b	13.787bc	0.459a
19.50	18.362a	13.850bc	0.479a
26.00	17.350b	15.187a	0.484a
ANOVA $P \leq$	<0.0001	0.0002	0.1531
Interacción $P \leq$	0.0048	0.0005	0.0033
CV (%)	2.3513	5.6243	9.5784

CB=con bacterias, SB=sin bacterias, ANOVA=análisis de varianza, CV=coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

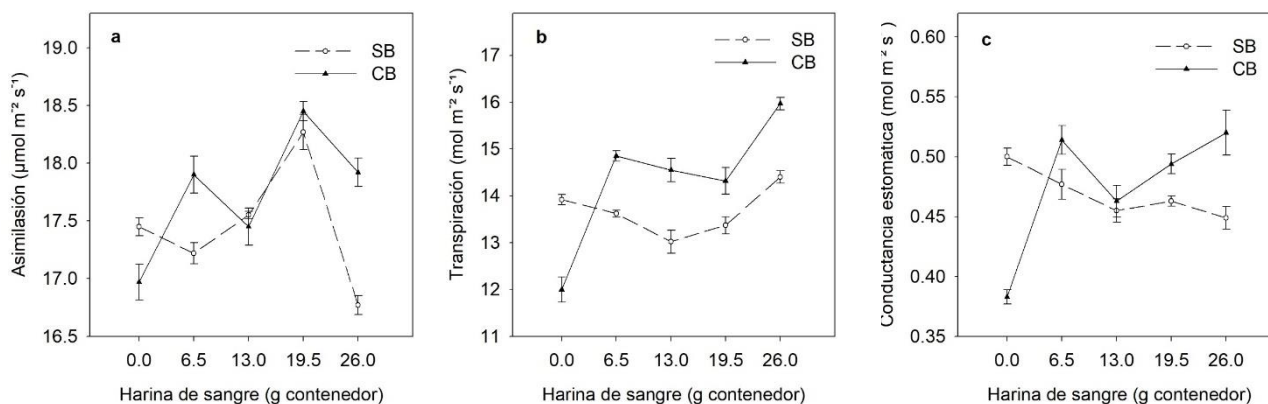


Figura 3. Interacciones entre harina de sangre y bacterias nitrificantes en la tasa fotosintética de *Capsicum annum* L. SB=sin bacterias, CB=con bacterias.

Los parámetros de peso promedio por fruto y rendimiento total fueron afectados únicamente por la dosis de harina de sangre y la interacción de ambos factores evaluados, mas no por el nivel de bacteria nitrificante (Cuadro 4), sin embargo, se pudo apreciar que el peso promedio de fruto, de plantas a las que no se les adicionó bacteria nitrificante al medio de crecimiento, fue mayor al adicionar 6.5, 13 y 19.5 g de harina de sangre por contenedor antes del trasplante, obteniendo 191.22, 191.37 y 191.02 g fruto⁻¹, respectivamente, superando ligeramente al control (0 g de harina de sangre) (187.4 g fruto⁻¹) (Figura 4a); mientras que, en plantas en las que se adicionó bacteria nitrificante al medio, el peso promedio de fruto fue mayor al agregar 6.5 y 19.5 g de harina de sangre por contenedor, alcanzando un peso de 198.32 y 200.40 g fruto⁻¹, respectivamente, superando al control (186.20 g fruto⁻¹) (Figura 4a). De acuerdo a lo anteriormente mencionado, los tratamientos donde se alcanzó el mayor peso promedio de fruto no se relacionaron con el mayor contenido de nutrientes en el tejido vegetal, lo que significa que el bajo contenido de macronutrientes (N, K, Ca y Mg) en estos tratamientos no fue deficiente para el adecuado desarrollo del fruto. Por otro lado, a pesar que el rendimiento de *Capsicum annum* L. no presentó diferencia estadística según el nivel de bacteria nitrificante evaluado, se observó que cuando no se adicionó bacteria nitrificante al medio de crecimiento el rendimiento fue superior en plantas en las que se adicionó

6.5 g de harina de sangre por contenedor, alcanzando 2368.6 g planta⁻¹, superando al control (1990.42 g planta⁻¹); mientras que, en plantas en las que se adicionó bacteria nitrificante al medio de crecimiento el rendimiento fue superior al no agregar harina de sangre, obteniendo 2376.7 g planta⁻¹ (Figura 4b). Al igual que el peso promedio de fruto, el rendimiento no fue influenciado positivamente por el alto contenido de algunos nutrientes en el tejido vegetal (N, K y Mg), pero si por el contenido de Ca, principalmente cuando se adicionó bacteria nitrificante. En algunos estudios se ha reportado que al emplear harina de sangre como fuente de N puede afectar el crecimiento del cultivo, atribuyendo este efecto a la alta mineralización y/o concentración de NH₄⁺ en el medio de crecimiento (Bergstrand *et al.*, 2019; Diaz-Perez *et al.*, 2017), por lo tanto, este efecto pudo haber influenciado negativamente rendimiento de *Capsicum annum* L. al adicionar una dosis alta de harina de sangre. Nuestros resultados coincide con lo reportado por Abraham *et al* (2004), quienes indicaron que un aumento en la dosis de harina de sangre produce un efecto negativo en el rendimiento del cultivo de jícama, pero cuando se combina harina de sangre con fertilizante químico, en las dosis adecuadas, el rendimiento puede mejorar. En contraste, Tosti *et al* (2016) encontraron que la harina de sangre aumenta ligeramente el rendimiento, en comparación de otros tratamientos en el cultivo de trigo.

Cuadro 4. Respuesta de la aplicación de harina de sangre y bacterias nitrificantes en el peso promedio de frutos y rendimiento de *Capsicum annum* L.

Bacterias (Niveles)	Peso Promedio De Frutos	Peso total por planta
	g fruto ⁻¹	g planta ⁻¹
SB	189.45a	2095.15 ^a
CB	186.72a	2138.72 ^a
ANOVA P_{\leq}	0.324	0.213
Harina de Sangre (g)		
0.00	186.80ab	2183.56a
6.50	194.77a	2143.55a
13.00	184.1b	2128.54a
19.50	195.71a	2203.68a
26.00	179.01b	1925.34b
ANOVA P_{\leq}	0.002	0.001
Interacción P_{\leq}	0.019	0.001
CV (%)	4.5691	5.1015

CB=con bacterias, SB=sin bacterias, ANOVA=análisis de varianza, CV=coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P_{\leq}0.05$).

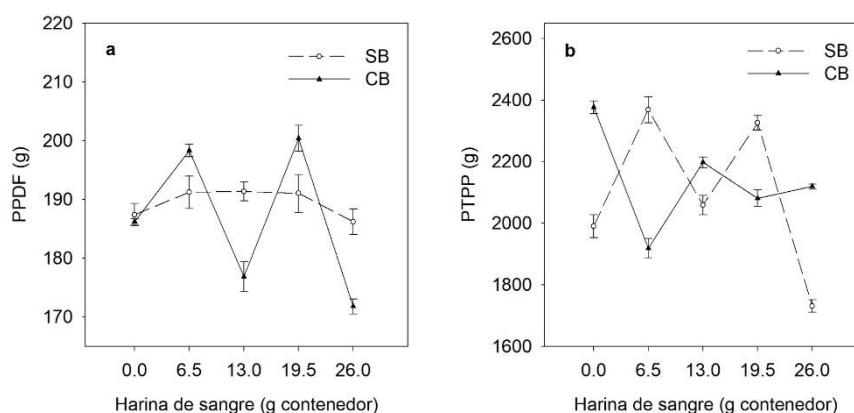


Figura 4. Efecto de la harina de sangre y bacterias nitrificantes en el peso promedio de fruto y rendimiento total de *Capsicum annum* L. SB = sin bacterias, CB = con bacterias. Las barras en las líneas indican el error estándar.

La acumulación de biomasa y el contenido de carotenoides, por su parte, se ven favorecidos con la aplicación de bacterias ($P_{\leq} < 0.0001$ y 0.0024) (Cuadro 5). El uso de harina de sangre, en sus diferentes dosis, sugiere que, cuando no se agrega harina pero se añaden bacterias nitrificantes, la acumulación de biomasa se ve notablemente favorecida (Figura 5a) lo que pudo estar asociado a una mayor

nitrificación y amonificación, lo cual coincide con lo reportado por Gilloway *et al* (2003). Por su parte, el contenido de carotenoides se ve favorecido a una dosis de 26 g de harina con la adición de bacterias, mientras que el resto de las dosis presentan valores más bajos y mayor inestabilidad (Figura 5b).

Cuadro 5. Respuesta de la aplicación de harina de sangre y bacterias nitrificantes en la acumulación de biomasa y contenido de carotenoides en frutos de *Capsicum annum* L.

Bacterias (Niveles)	Peso seco por planta	Carotenoides
	(g)	(mg/100g)
SB	185.59b	1995.65b
CB	200.54a	2180.53a
ANOVA $P \leq$	<0.0001	0.0024
Harina de Sangre (g)		
0.00	201.838a	2025.43bc
6.50	179.950c	1827.78c
13.00	194.425ab	2086.55ab
19.50	198.338ab	2176.57ab
26.00	190.800b	2324.11a
ANOVA $P \leq$	<0.0001	0.0001
Interacción $P \leq$	<0.0001	<0.0001
CV (%)	3.6079	8.3653

CB=con bacterias, SB=sin bacterias, ANOVA=análisis de varianza, CV=coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

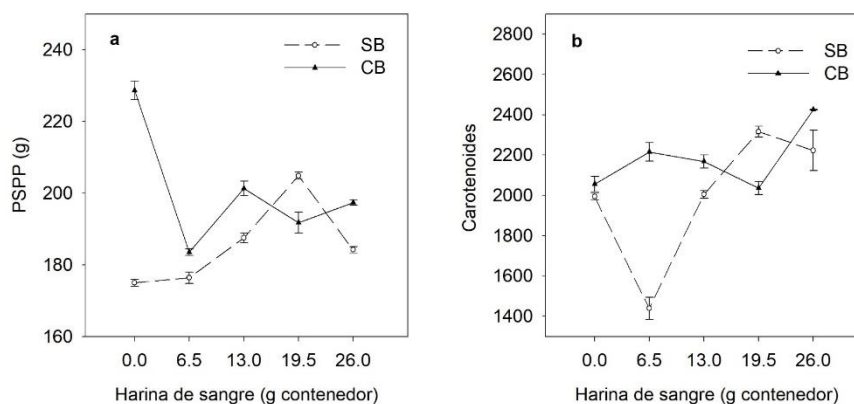


Figura 5. Interacciones entre harina de sangre y bacterias nitrificantes en la acumulación de biomasa y contenido de carotenoides en frutos del cultivo de pimiento morrón. PSPP = peso seco por planta, SB=sin bacterias, CB=con bacterias.

El contenido de N y K en plantas de *Capsicum annum* L. no fueron afectados por el nivel de bacteria nitrificante evaluado, pero si por la dosis de harina de sangre, así como por la interacción de ambos factores (Cuadro 6), observándose, en general, que la mayor disponibilidad de N y K en el tejido vegetal se presentó cuando no se agregó harina de sangre al medio de crecimiento (Figura 6a y 6b), esta respuesta se obtuvo a pesar de que la concentración de NO_3^- en el medio de crecimiento fue mayor al emplear dosis altas de harina de sangre con ambos niveles de bacteria nitrificante. Por otro lado, el contenido de Ca y Mg se vio influenciado por ambos factores evaluados, así como por la interacción de estos (Cuadro 6), observándose que el contenido de Ca, en plantas en las que no se adicionó bacteria nitrificante al medio de crecimiento, fue mayor al adicionar 19.5 g de harina de sangre (Figura 6c); mientras que cuando se agregó bacteria nitrificante al medio el Ca fue mayor en plantas en las que no se adicionó harina de sangre (Figura 6c). Por otro lado, el contenido de Mg, en plantas de pimiento en las que no se adicionó bacteria nitrificante al medio, fue mayor al adicionar 0 y 19.5 g de harina de sangre (Figura 6d); mientras que, las plantas en las que se adicionó bacteria nitrificante al medio de crecimiento presentaron mayor contenido de Mg cuando no se agregó harina de sangre (Figura 6d). El contenido de P en el tejido vegetal fue afectado únicamente por la dosis de haría de sangre, observándose una mayor concentración de este elemento al emplear una dosis de 0 y 13 g (Cuadro 6). Como se mencionó anteriormente, con los fertilizantes orgánicos se tiene una mayor presencia de NH_4^+ en el medio de crecimiento (Rippy *et al.*, 2004), aún más cuando la tasa de mineralización es rápida como en el caso de harina de sangre (Hartz y Johnstone, 2006; Mondini *et al.*, 2008; Tosti *et al.*, 2016), por lo tanto, la presencia de NH_4^+ pudo ser el responsable del bajo contenido de los macronutrientes, especialmente cuando se adicionó bacteria nitrificante. La inhibición de la absorción de iones (Ca, K, Mg, Cl^- , SO_4^- y P) en alta presencia de NH_4^+ en la solución del medio se ha reportado en otros estudios (Borgognone *et al.*, 2013; Marschner, 1995; Na *et al.*, 2014; Roosta y Schjoerring, 2007; Siddiqi *et al.*, 2002). Citak y Sonmez (2010) al evaluar diferentes fertilizantes orgánicos (abono de corral, estiércol de pollo y harina de sangre) en el cultivo de coliflor observó que el mayor contenido de N en el tejido

se obtuvo al adicionar harina de sangre, aunque esto no se relacionó con el crecimiento.

Cuadro 6. Respuesta de la aplicación de harina de sangre y bacterias nitrificantes en el estado nutrimental de *Capsicum annum* L.

Bacterias (Niveles)	N	P	K	Ca	Mg
	-----g planta ⁻¹ -----				
SB	4.58a	0.61a	3.41a	2.15b	0.74b
CB	4.56a	0.60a	3.52a	2.32a	0.79a
ANOVA $P \leq$	0.760	0.377	0.221	0.001	0.010
Harina de Sangre (g)					
0.00	5.07a	0.65a	4.00a	2.30ab	0.89a
6.50	4.29c	0.58b	3.34b	2.12b	0.72b
13.00	4.42bc	0.61ab	3.32b	2.26ab	0.74b
19.50	4.46bc	0.59b	3.35b	2.37a	0.73b
26.00	4.61b	0.59b	3.30b	2.11b	0.75b
ANOVA $P \leq$	0.001	0.010	0.001	0.010	0.001
Interacción $P \leq$	0.001	0.154	0.002	0.001	0.001
CV (%)	4.67	6.258	8.05	6.55	6.38

CB=con bacterias, SB=sin bacterias, ANOVA=análisis de varianza, N=nitrógeno, P=fosforo, K=potasio, Ca=calcio, Mg=magnesio, CV=coeficiente de variación. Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

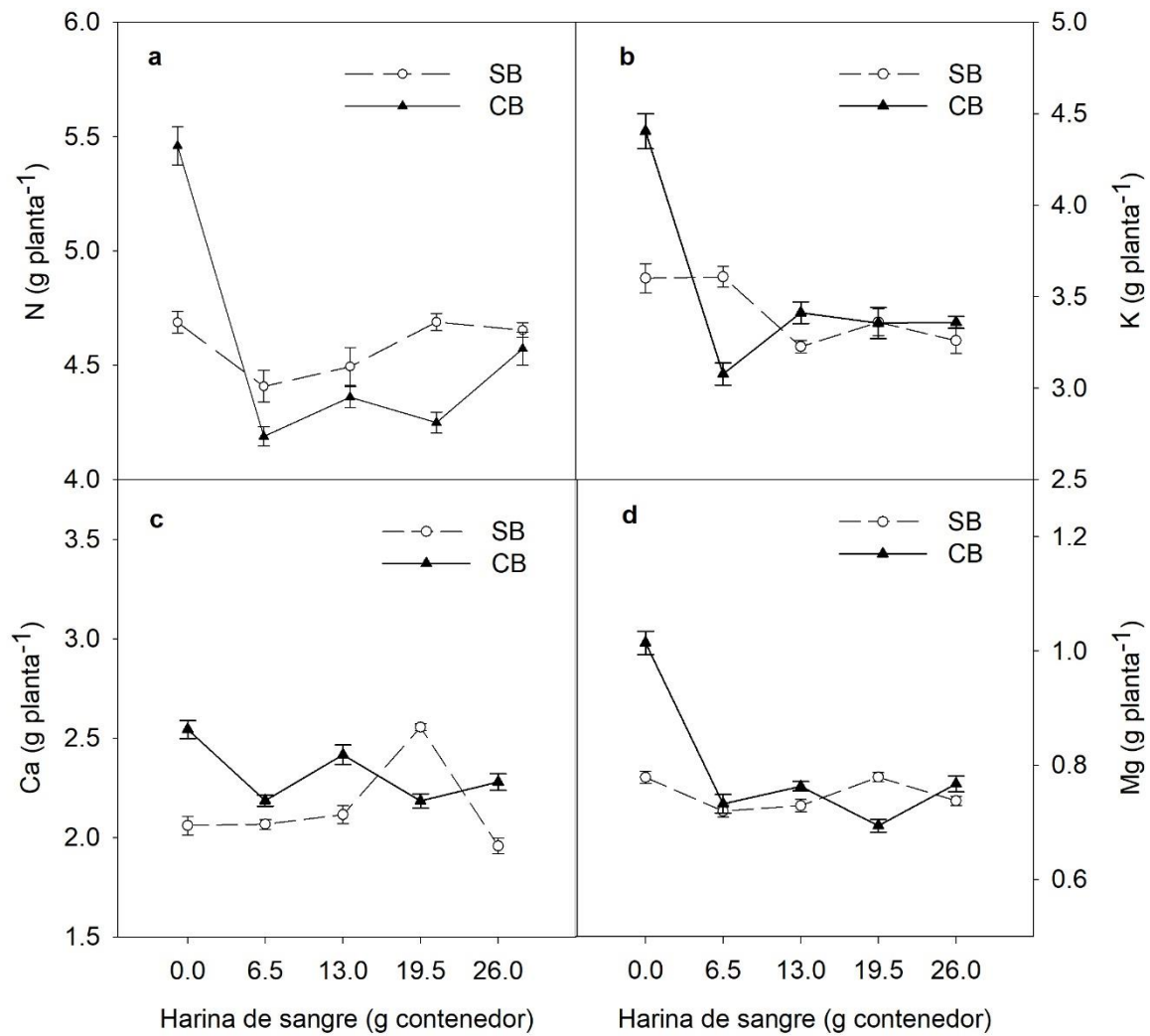


Figura 6. Efecto de la harina de sangre y bacterias nitrificantes en el estado nutricional de *Capsicum annum* L. SB = sin bacterias, CB = con bacterias. Las barras en las líneas indican el error estándar.

CONCLUSIONES

Las bacterias nitrificantes no marcaron tanta diferencia en los parámetros evaluados, observándose únicamente un ligero aumento en la concentración de Ca y K en el medio de crecimiento y un mayor contenido de Ca y Mg en el tejido vegetal al adicionar éstas al medio; sin embargo, el rendimiento de *Capsicum annum* L. no fue afectado por el nivel de bacteria, demostrando que el empleo de la harina de sangre como fuente de N junto con la solución nutritiva Steiner (N al 50%) sin la adición de bacterias nitrificantes presenta la tasa adecuada de mineralización de N para el adecuado suplemento de la demanda del cultivo, principalmente cuando se agrega en una dosis de 6.5 g por contenedor.

REFERENCIAS

- Abraham Gutiérrez J. H., A. Gil Muñoz, E. Sandoval Castro, B. V. Peña Olvera and F. E. Almeida Acosta (2004) Influencia de la harina de sangre y fertilizantes en características físicas y rendimiento de jícama. *Terra Latinoamericana* 22:475-483.
- Agehara S, and D. D. Warncke (2005) Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Science Society of America Journal* 69:1844–1855, <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2004.0361>
- Anwar M., D. D. Patra, S. Chand, K. Alpesh, A. A. Naqvi and S. P. S. Khanuja (2005) Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of *French basil*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36: 1737-1746, <http://dx.doi.org/10.1081/CSS-200062434>
- Bañados M. P., B. C. Strick, D. R. Bryla y T. L. Righetti (2012) Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment, I: accumulation and allocation of fertilizer nitrogen and biomass. *HortScience* 47: 648-655, <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.47.5.648>
- Benton Jones J (1998) Plant Nutrition Manual. CRC Press. Boca Raton FL. 34 p.
- Bergstrand K. J., K. Löfkvist and H. Asp. (2019) Dynamics of nitrogen availability in pot grown crops with organic fertilization. *Biological Agriculture & Horticulture* 35:143-150, <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2018.1498389>
- Borgognone D., G. Colla, Y. Rouphael, M. Cardarelli, E. Rea and D. Schwarz (2013) Effect of N form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Scientia Horticulturae* 149:61–69, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.012>
- Bremner J. M. (1996) Total nitrogen, p.1085-1086. In: D. L. Sparks (ed.). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. *Soil Science Society of America*. Madison, WI.
- Cabrera Miguel L. 2007. Mineralización y nitrificación; procesos claves en el ciclo del nitrógeno. Universidad de Georgia, Athens, Georgia, EE.UU. Pp. 18.
- Cárdenas R., Sánchez J., Farías R. y Peña J. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. México. Revista Chapingo serie horticultura 10 (2): 173-178.
- Cechin. I. de Fátima. T. (2004). Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. *Plant Sci*, 166(5), 1379-1385. doi:10.1016/j.plantsci.2004.01.020.
- Chan W. I., K. V. Lo and P. H. Liao (2007) Solubilization of blood meal to be used as a liquid fertilizer. *Journal of Environmental Science and Health Part B* 42: 417-422, <http://dx.doi.org/10.1080/03601230701316390>

- Chien, SH; MM Gearhart & DJ Collamer. 2008. The Effect of Different Ammonical Nitrogen Sources on Soil Acidification. *Soil Sci.* 173(8): 544-551.
- Citak S., and S. Sonmez (2010) Influence of organic and conventional growing conditions on the nutrient contents of white head cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) during two successive seasons. *Journal of agricultural and food chemistry* 58: 1788-1793, <http://dx.doi.org/10.1021/jf903416>.
- Dalias P., J.M. Anderson, P. Bottner y M-M Coueaux. 2002. Temperature responses of net N mineralization and nitrification in conifer forest soils incubated under standard laboratory conditions. *Soil Biol. Biochem.* 34: 691-701.
- Del Amor F., M. Espinosa, S. Molina, P. Varó, J. Cámara y A. López (2006) Evaluación de métodos para la determinación de N en el cultivo de pimiento. *Revista Horticultura* 196:14-20.
- Diaz Perez J. C., W. K. Jenkins, D. Pitchay and G. Gunawan (2017) Detrimental effects of blood meal and feather meal on tomato (*Solanum lycopersicon* L.) seed germination. *HortScience* 52: 138-141, <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI11192-16>
- Frioni, L. 2006. Microbiología: Básica, ambiental y agrícola. Publicaciones Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay, Montevideo, Uruguay. 464 pp.
- Gardiazabal F., Mena F. y Magdahl C. 2007. Efecto de la fertilización con inhibidores de la nitrificación (Entec ® Solub 21) en paltos (*Persea americana* Mill) cv. Hass. Proceedings VI world avocado congress. Viña del mar, Chile. Pp 14
- Gaskell M. and R. Smith (2007) Nitrogen sources for organic vegetable crops. *HortTechnology*, 17: 431-441, <http://dx.doi.org/10.21273/HORTTECH.17.4.431>
- Grundmann G.L., P. Renault, L. Rosso y R. Bardin. 1995. Differential effects of soil water content and temperature on nitrification and aeration. *Soil Sci. Am. J.* 59: 1342-1349.
- Hartz, T.K. and P.R. Johnstone (2006) Nitrogen availability from high-nitrogen-containing organic fertilizers. *HortTechnology* 16:39-42, <http://dx.doi.org/10.21273/HORTTECH.16.1.0039>
- Heuvelink, E., Marcelis L. F. M., and O. Körner, 2004. How to reduce yield fluctuations in sweet pepper. *Acta Horticulturae* 633: 349-355.
- Huang J., C. Pray and S. Rozelle (2002) Enhancing the crops to feed the poor. *Nature* 418:678-684, <http://dx.doi.org/10.1038/nature01015>

- Jimeno A. y Ballesteros M. 2009. *Biología 2*. Grupo Promotor Santillana. ISBN 974-84-7918-349-3.
- Jovicich, E., Cantliffe, D. J., and P. J. Stoffella. 2004. Fruit yield and quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container and trellis system. *HorTechnology* 14: 507-513.
- Kowalchuk, GA & JR Stephen. 2001. Ammonia-Oxidizing Bacteria: A Model for Molecular Microbial Ecology. *Ann. Rev. Microbiol.* 55: 485-429.
- Laanbroek H. J. and S. Gerards (1991) Effects of organic manure on nitrification in arable soils. *Biology and fertility of soils* 12: 147-153, <http://dx.doi.org/10.1007/BF00341492>
- Lindquist. J. (2001). Light-saturated CO₂ assimilation rates of corn and velvetleaf in response to leaf nitrogen and development stage. *Weed Sci*, 49(6), 706–710. doi: 0043-1745(2001)049[0706:LSCARO]2.0.CO;2.
- Martínez-Viera R., Dibut B. y Ríos Yoania. 2010. Efecto de la integración de aplicaciones agrícolas de biofertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta. *Cultivos tropicales*. (31): 3. Pp 27-31.
- Marschner, H. (1995) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London. 889 p.
- Mengel, K.; Kirkby, A. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 849 p.
- Meyer S., E. Bergimeier, T. Becker, K. Wesche, B. Krause and C. Leuschner (2015) Detecting long-term losses at the plant community level - arable fields in Germany revisited. *Applied Vegetation Science* 18:432–442, <http://dx.doi.org/10.1111/avsc.12168>
- Mondini C., M. L. Cayuela, T. Sinicco, M. A. Sanchez-Monedero, E. Bertolone and L. Bardi (2008) Soil application of meat and bone meal. Short-term effects on mineralization dynamics and soil biochemical and microbiological properties. *Soil Biology and Biochemistry* 40:462–474, <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.09.010>
- Na L., Z. Li, M. Xiangxiang, N. Ara, Y. Jinghua and Z. Mingfang (2014) Effect of nitrate/ammonium ratios on growth, root morphology and nutrient elements uptake of watermelon (*Citrullus lanatus*) seedlings. *Journal of Plant Nutrition* 37: 1859–1872. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2014.911321>
- Peil. R. Galvez. J. (2012). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *R. bras. Agrociência*, 11(1), 5-11
- Quiñones A., J. Bañuls, E. Primo-Millo and F. Legaz (2005) Recovery of the 15N-labelled fertiliser in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. *Plant Soil* 268: 367-376, <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-004-0337-x>

- Ramos C., A. Agut and A. L. LidoÂn (2002) Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environ Pollut* 118:215-223, [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00314-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00314-1)
- Rippy, J. F., M. M. Peet, F. J. Louws, P. V. Nelson, D. B. Orr and K. A. Sorensen (2004) Plant development and harvest yields of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *HortScience*, 39: 223-229.
- Roosta H. R. and J. K. Schjoerring (2007) Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. *Journal of Plant Nutrition* 30: 1933–1951, <http://dx.doi.org/10.1080/01904160701629211>
- Rouphael Y., G. Colla, A. Battistelli, S. Moscatello, S. Proietti and E. Rea (2004) Yield, water requirement, nutrient uptake and fruit quality of *zucchini* squash grown in soil and closed soilless culture. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79:423-430, <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2004.11511784>
- Rugen, C. and Bachman J. 1990. Organic blueberry culture. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas. Fayetteville, AR.
- Shankar S., J., V. Chandra P. and D. P. Singha. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140: 339-353.
- Sistema de Informacion Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2017. Producción de chiles y pimientos. (https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255626/Planeaci_n_Agr cola_Nacional_2017-2030-_parte_tres.pdf). Citado el 17 de noviembre de 2019 a las 5:30 pm.
- Siddiq M. Y., B. Malhotra, X. Min and A. D. M. Glass (2002) Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165: 191–197.
- Soltanpour P. N., G. W. Johnson, S. M. Workman, J. B. Jones and R. O. Miller (1996) Inductively coupled plasma emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry. P. 91–139. *In*: D.L. Sparks (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science 398 Society of North America. Madison WI.*
- Steiner A. A. (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant soil* 15: 134-154. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01347224>
- Świtek S., V. Takacs, Z. Sawinska, T. Kosiada, and P. Tryjanowski (2019) Mineral nitrogen fertilisers remain a crucial factor even in the ecological intensification of agriculture. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science* 69: 311-316, <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2018.1564787>

Tosti G., M. Farneselli, P. Benincasa and M. M. B. Guiducci (2016) Nitrogen Fertilization Strategies for Organic Wheat Production: Crop Yield and Nitrate Leaching. *Agronomy Journal* 108:770-781, <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2015.0464>

Trewavas A. (2001). Urban myths of organic farming. *Nature* 410:409-410, <http://dx.doi.org/10.1038/35068639>

Waqar A., K. Hira, B. Ullah, A. Khan, Z. Shah, F. A. Khan and R. M. M. Naz (2014) Role of nitrogen fertilizer in crop productivity and environmental pollution. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 4: 201-206, 10.5923/j.ijaf.20140403.09.