

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Azospirillum Aumenta el Rendimiento del Cultivo Cebolla de Rabo

Por:

ERIK SERRANO BADILLO

TESIS

Presentada como requisito parcial para poder obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México
Abril 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Azospirillum Aumenta el Rendimiento del Cultivo Cebolla de Rabo

Por:

ERIK SERRANO BADILLO

TESIS

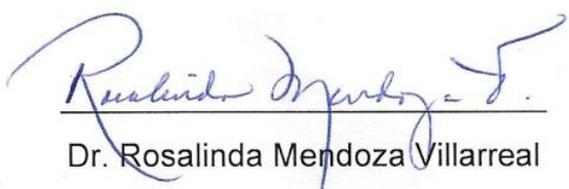
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor Principal



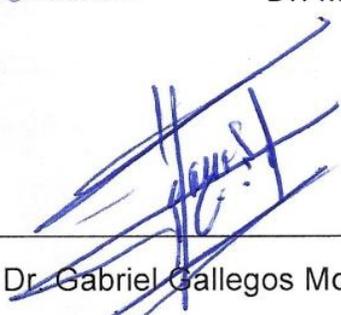
Dr. Rosalinda Mendoza Villarreal

Coasesor



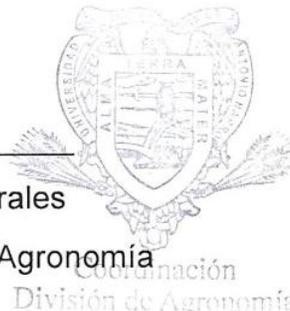
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México,
Abril 2017

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer con cariño y respeto a mis queridos padres; **Juana Badillo Islas** y **José Serrano Alvarado**, ya que con su apoyo dedicación y esfuerzo logre cumplir una de mis más grandes metas.

Gracias a ustedes por ser los principales promotores de mis sueños, creer en mí y en mis expectativas, siendo para mí el mejor regalo que pudieron haberme dado, dedicaron una vida entera trabajando para darme un mejor futuro. Este nuevo logro es para ustedes, ahora me toca a mí abrirme paso y forjar nuevas metas.

También quiero agradecer a mi hermano **Brayan Serrano Badillo**, por el cariño y apoyo que siempre me ha brindado.

Así como a mis amigos por los momentos vividos de felicidad y por la ayuda dada en aquellos momentos difíciles, gracias por ser parte de mi familia.

A mi **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por haberme recibido y permitido formarme profesionalmente, dándome innumerables e incomparables oportunidades dentro y fuera de las aulas, así como también a mis diferentes maestros que me brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir a delante.

Agradezco a mi asesor de tesis **Dr. Alberto Sandoval Rangel** por dejarme recurrir a sus conocimientos, tener la confianza y paciencia ya que sin su apoyo no sería posible el término de esta tesis.

DEDICATORIA

A Mi Mayor Motivación

Aunque la mayoría de las veces parece que estuviéramos en una batalla, hay momentos en que la guerra cesa y nos unimos.

Eres el reflejo de cariño y amor, una gran bendición de dios que muestra las cosas buenas de la vida, por eso quiero dedicarte a ti mi amada hermana no solamente esta tesis, también todos mis logros, porque yo quiero un día llegar a ser como tú, quiero tener esa alegría y bondad con la que viviste y la que estoy seguro sigues teniendo.

Te quiero agradecer todas las cosas bellas que me brindaste en el tiempo que estuviste con nosotros, porque a pesar de tu corta edad nos enseñaste a vivir con amor, gracias por todas esas ocasiones en las que me dijiste te quiero, porque con ello me dan ganas de seguir adelante y cada día son más fuertes, no hay mayor motivación que esa.

Te admiro por la perfecta vida que llevaste por la inocencia de tus palabras y la nobleza de tu corazón por ello mi querida hermana todo el esfuerzo y dedicación de mi vida te la dedico a ti, porque siempre serás la luz de mi existencia y porque a pesar de todo, sé que siempre estarás conmigo.

Para ti *Cristal Serrano Badillo*

RESUMEN

Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la adición exógena de *Azospirillum sp* en el cultivo de cebolla de rabo. Tomando como base la solución Steiner, se evaluaron 5 tratamientos 1) Solución nutritiva completa, 2) Solución nutritiva completa más *Azospirillum*, 3) Solución nutritiva reducida en nitrógeno, 4) Solución nutritiva reducida en nitrógeno más *Azospirillum*, 5) Testigo absoluto. Se evaluó pH, CE, contenido de NO₃, K y Ca en la solución del suelo, peso fresco de raíz, bulbo, hojas y total, longitud y diámetro del bulbo y hojas. Los resultados mostraron que la adición exógena de *Azospirillum sp*, aumento el rendimiento y la calidad del bulbo, pero no se observó efecto sobre la solución del suelo.

Palabras clave: Biofertilizantes, sustentabilidad, nitrógeno, hortalizas.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ÍNDICE GENERAL	ii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE SE FIGURAS	vi
INTRODUCCIÓN	7
Objetivo.....	9
Hipótesis	9
REVISIÓN DE LITERATURA	10
Generalidades del Cultivo de Cebolla de Rabo o Cebollin (<i>Allium cepa</i> L.).	10
Origen	11
Etapas de Crecimiento Vegetativo	11
Etapas de Crecimiento de Bulbo.....	11
Situación Nacional	12
Requerimientos Climáticos	12
Factores de la Formación de Bulbos	12
Suelo y pH	13

Respuesta a la Salinidad	14
Requerimientos Nutricionales	14
Impacto Económico y Ambiental del Empleo de Fertilizantes Químicos.....	14
Fertilizantes Nitrogenados	16
Fijación Atmosférica de Nitrógeno	17
Fijación Biológica de Nitrógeno.....	17
Uso de Microorganismos en la Agricultura.....	18
La Rizósfera y las Relaciones entre las Plantas y los Microorganismos.....	19
Microorganismos que Actúan Benéficamente en el Suelo	20
El Género <i>Azospirillum</i>	21
Uso e Inoculación con <i>Azospirillum sp</i>	22
Fertilizantes Microbiológicos a Base de <i>Azospirillum sp</i>	24
MATERIALES Y MÉTODOS	26
Ubicación del Área de estudio	26
Descripción de los Tratamientos.....	26
Descripción del Experimento	26
Variables Evaluadas	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29

CONCLUSIÓN	37
REFERENCIAS	38
ANEXOS	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fotoperiodo para la formación de bulbos.	13
Cuadro 2. Media y desviación estándar del efecto de la adición exógena de Azospirillum en el pH y CE de la solución del suelo.	29
Cuadro 3. Media y desviación estándar del efecto de la adición exógena de Azospirillum en el contenido de NO ₃ , K y Ca en la solución del suelo.	30
Cuadro 4. Media y desviación estándar del efecto de la adición exógena de Azospirillum en el peso fresco de Cebolla de Rabo.....	31
Cuadro 5. Media y desviación estándar del efecto de la adición exógena de Azospirillum en la longitud y diámetro de Cebolla de Rabo.....	32
Cuadro 6. Efecto de la adición exógena de <i>Azospirillum</i> en el rendimiento de la cebolla de rabo.	33
Cuadro 7. Coeficiente de Correlación Simple de Sperman de Variables de Solución del Suelo vs Variables Agronómicas.....	35

ÍNDICE SE FIGURAS

Figura 1. Cebolla de rabo.....	10
Figura 2. Morfología de <i>Azospirillum sp.</i>	22
Figura 3. Colonización de la raíz por la bacteria <i>Azospirillum sp.</i>	23

INTRODUCCIÓN

La cebolla de rabo o cebollín, es una de las variantes de la producción de cebolla, en México se siembran 7 mil has, que equivale al 20%, mientras que el valor del mercado es de 1009.7 millones de pesos y representa el 33 % del valor del mercado del cultivo de la cebolla (FND, 2014). En los últimos años la superficie sembrada de cebolla en general ha disminuido, pero el rendimiento muestra un crecimiento considerable, debido a la mejora de los sistemas de producción. Esta mejora, en muchos casos, conlleva un uso irracional de los recursos naturales e insumos agrícolas como los agroquímicos y de manera muy particular los fertilizantes.

La fertilización en muchos casos, se realiza basada en la experiencia del productor, dosis de referencia o estimaciones, pocas veces se considera el aporte iónico del agua, el intercambio del suelo y rara vez o casi nunca el aporte de microorganismos o en el mejor de los casos se tiene conciencia de su importancia.

Los fertilizantes constituyen el 15 % de los costos de producción, este costo se puede incrementar, dada la disminución de las fuentes de suministro y nuestra dependencia del mercado exterior. Por esta razón es imperante la necesidad de buscar estrategias que permitan hacer un uso más eficiente de este insumo, sin afectar la productividad y calidad de los cultivos. Este trabajo en particular aborda el intercambio de iones de los organismos con la solución del suelo y de manera específica por los organismos relacionados con el aporte de nitrógeno. Estos organismos son también conocidos como inoculantes microbianos elaborados a partir de rizobacterias. Dentro de las bacterias asociativas más estudiadas se encuentran las pertenecientes al género *Azospirillum*, el cual se

ha convertido en el grupo más promisorio de diazótrofos asociados con gramíneas y otras plantas (Parra y Cuevas, 2001).

El *Azospirillum*, se ha investigado por su capacidad de fijar nitrógeno al suelo (Dobbeleare et al., 2001), facilidad para aislar y reproducir cepas y principalmente por su capacidad de adaptación a diferentes ambientes agrícolas (Kadouri et al., 2003; Yanez et al., 2004; Mendoza et al., 2014). Además que al reproducirse en el suelo, contribuyen en la degradación de la materia orgánica (Bare et al., 2005, Rivera et al., 2010), actúan por competencia, limitando el espacio para el desarrollo de hongos y bacterias fitófagas (Russo et al., 2008; Cassan et al., 2009, Bashan y Bashan, 2002). Disuelven y mineralizan los fosfatos, producen sideroforos y antibióticos (Vessey, 2003). Producen reguladores de crecimiento como auxinas, ácido Indolacético (AIA), citocininas, y proteínas como poli amina, los cuales estimulan el desarrollo radicular (Villegas et al., 2010). Participan en la formación de los micro agregados rizosféricos del tipo aminoácidos y polisacáridos (Caesar et al., 2007), promueven en las plantas tolerancia a la sequía mediante la formación de alginatos en las raíces (Bashan y Bashan, 2005; Arzanesh et al., 2010). Su multiplicación en el suelo depende de la disponibilidad de fósforo y potasio (López et al., 2008). Actualmente son reconocidas siete especies aunque las más comunes son *Azospirillum lipoferum* y *A. brasilense*. (Tarrand et al., 1978, Ecker et al, 2001).

Existe una amplia investigación en *Azopirillum*, respecto a los mecanismos de fijación, efectos en los cultivos, pero no se encontró información cuantitativa de su contribución de N-NO₃ a la solución del suelo, que sumada a los aportes del suelo y el agua, permita realizar una fertilización más precisa que se refleje en la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados o que posibilite un uso más eficiente, sin deterioro de la producción y calidad de los cultivos.

Objetivo

Evaluar el efecto de la adición exógena de *Azopirillum sp*, sobre la solución del suelo y en el cultivo de cebolla de rabo.

Hipótesis

La adición de *Azopirillum sp* afectará la solución del suelo, el crecimiento y rendimiento de la cebolla de rabo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Cultivo de Cebolla de Rabo o Cebollín (*Allium cepa* L.)



Figura 1. Cebolla de rabo

La cebolla de rabo también conocida como Cebollín, es una de las variantes de la cebolla común o de bola (*Allium cepa*). Es decir la cebolla común cosechada al inicio del desarrollo del bulbo es una de las formas más comunes para producir este tipo de cebolla, aunque existen variedades taxonómicas específicas como (*Allium fistulosum*) para cebolla de rabo o cebollín (Agrotech de Colombia SAS, 2015).

Comúnmente llamada cebolleta, cebolla de verdeo (en Argentina y Uruguay), cebollita de verdeo (en Paraguay), cebolla larga, junca o cebolla blanca (en Colombia y Ecuador), cebollín o cebolla cambray (en El Salvador, México, Bolivia, Chile, Colombia y Venezuela), cebollina (en Panamá y Costa Rica), o cebolla china (en Perú), es una especie del género de las cebollas (*Allium*) (Es.wikipedia.org, 2013).

El consumo de la cebolla de rabo, incluye el bulbo y las hojas verdaderas. Se emplea para la preparación de sopas, ensaladas y una amplia variedad de platillos. Además cuenta con propiedades nutricionales y fortalece el sistema nervioso (Infoagro.com, 2001).

Origen

El origen primario de la cebolla se localiza en Asia central, y como centro secundario el Mediterráneo, pues se trata de una de las hortalizas de consumo más antigua. Las primeras referencias se remontan hacia 3.200 a.C. pues fue muy cultivada por los egipcios, griegos y romanos. Durante la Edad Media su cultivo se desarrolló en los países mediterráneos, donde se seleccionaron las variedades de bulbo grande, que dieron origen a las variedades modernas (Infoagro.com, 2001).

Etapas de Crecimiento Vegetativo

1. Emergencia de raíces y tallos (10 a 30 días después de la siembra)
2. Una o dos hojas verdaderas (30 a 50 dds)
3. Tres a cuatro hojas (50 a 70 dds)
4. Cinco a siete hojas (70 a 90 dds)
5. Ocho a 12 hojas, inicio del bulbo (90 a 110 dds)

Etapas de Crecimiento de Bulbo

6. Diámetro de bulbo de 2.5 a 4.0 cm (110 a 130 dds), esta es la etapa para cebolla de rabo, las siguientes etapas son para cebolla seca.
7. Diámetro de bulbo de 4.0 a 7.5 cm (130 a 150 dds)
8. Diámetro de bulbo superior a 7.5 cm (150 a 170 dds)
9. Crecimiento de bulbo completo, más del 50% cortado para secar (más de 170 dds)

Las etapas reproductivas no comienzan técnicamente hasta el segundo ciclo de crecimiento después de la invernación del bulbo adulto; entonces el bulbo produce un brote o tallo de semilla y umbela que produce semilla verdadera después de la fertilización (Nault, *et al*; 2011).

Situación Nacional

En el 2012, la superficie sembrada de cebolla en México alcanzó las 44 mil hectáreas, 7 mil pertenecen a cebolla de rabo, con un volumen obtenido de 93.4 mil toneladas y un rendimiento de 13.6 ton/ha, su rendimiento es bajo pero su precio puede oscilar entre los 11 mil pesos por tonelada, siendo más rentable que cualquier otro tipo de cebolla (FND, 2014).

Requerimientos Climáticos

La cebolla requiere una variación de temperatura fresca durante la etapa de plántula y una temperatura moderadamente alta durante la formación del bulbo. A principios de su ciclo las plantas forman sus hojas y raíces, durante el final desarrollan los bulbos. Por lo tanto, las condiciones ambientales deben permitir un amplio desarrollo de la parte aérea y de la raíz antes de que se inicie la formación de bulbos. La semilla germina a temperaturas de 7 a 30 °C (36 – 47 °F) siendo su óptimo de 18 °C (42 °F). Para el desarrollo y formación de bulbo es de 12 a 24 °C (39 – 45 °F). Se conoce que la longitud crítica del día inicia la formación de bulbos pero la velocidad del crecimiento del bulbo dependerá de la temperatura así tenemos que a temperatura alta el crecimiento del bulbo será más rápido en contraste con baja temperatura que retarda el crecimiento del mismo.

Factores de la Formación de Bulbos

Se considera que la formación de bulbos en cebolla se lleva a cabo cuando el diámetro del bulbo es el doble del cuello. La formación de bulbos depende de 4

factores importantes los cuales son; fotoperíodo, temperatura, tamaño de la planta y aplicaciones de nitrógeno. En el caso del fotoperíodo cada variedad tiene una longitud de día crítico para la formación de bulbos.

Cuadro 1. Fotoperiodo para la formación de bulbos.

Variedades	Long. del Día (hrs.)	Siembra a cosecha (días)	Latitud
De día corto	12-14	200	0-24°
De día Intermedio	14	220-250	28-30°
De día largo	14-16	150-180	36°

Fuente: Voss (1979)

Así, tenemos que los cultivares de días largos (14-16 hrs.) producen mejor a latitudes altas, estos requisitos explican por qué las variedades de latitudes mayores con días largos y temperaturas bajas no desarrollan bien en días cortos. Por otro lado, la siembra de un cultivar bajo condiciones de longitud de día menor que la longitud crítica no formará bulbos y producirá más hojas en forma definida, de tal manera que bajo éstas condiciones se producirá cebolla de manojo o cebollín. En caso de sembrar una variedad de día corto bajo condiciones de día largo obtendremos producción de "cebollitas" para hervir.

Suelo y pH

En cebollas para producción de bulbo y para procesar un suelo medio con textura franco arenosa es lo más recomendado. Las cebollas poseen raíces superficiales y necesitan un suelo permeable el cual retenga bien la humedad, especialmente después de las labores de cultivos. Evitar suelos arcillosos. Las cebollas pueden producirse en suelos arenosos que retengan suficiente humedad. La cebolla es ligeramente tolerante a suelos ácidos (6 a 6.8 de pH).

Respuesta a la Salinidad

El cultivo de la cebolla es sensible a las sales del suelo (1.2 dS/m) en promedio, muy sensible cuando se le establece en suelos arcillosos (0.8 dS/m). En suelos arenosos llega a tolerar hasta 2.3 dS/m y en suelos medios 1.3 dS/m (Zamora, 2016).

Requerimientos Nutricionales

Una producción de 35 t/ha de cebolla extrae aproximadamente: 128 kg/ha de N, 24 kg/ha de P, 99 kg/ha de K, 28 kg/ha de Ca y 6,3 kg/ha de Mg. Un desbalance en cualquiera de los nutrientes repercute en la calidad y no en el rendimiento total. Algunos nutrientes que no deben faltar en un plan de fertilización (Figueroa, 1988).

Nitrógeno (N)

La fertilización nitrogenada se realiza en época temprana del cultivo, preferentemente 15 días después del trasplante o de la siembra, en forma fraccionada en dos o tres veces, a razón de 150 a 200 kg/ha.

Impacto Económico y Ambiental del Empleo de Fertilizantes Químicos

La agricultura juega un papel crucial en la economía de los países en desarrollo y brinda la principal fuente de alimentos, ingresos y empleo a sus poblaciones rurales. La tecnificación de la agricultura y el uso eficiente de las tierras es fundamental para alcanzar la seguridad alimentaria, reducir la pobreza y alcanzar un desarrollo integral sostenible. Desde el comienzo de la historia humana hasta los años cuarenta los cultivos eran crecidos sin la ayuda de químicos. Posteriormente, se introdujo la agricultura química en gran escala que trajo como resultado un aumento en los rendimientos y calidad de los cultivos. Las tecnologías desarrolladas durante la revolución verde en los años 60's, tales como la síntesis de agroquímicos (fertilizantes y pesticidas) y la utilización

de variedades de alto rendimiento y elevada tasa de asimilación de nutrientes, contribuyeron de manera significativa a incrementar la producción mundial de alimentos (Aguado *et al.*, 2012).

En 2005 se extrajeron a nivel mundial aproximadamente 17.5 millones de toneladas de fósforo; el 85% provino de tres países, principalmente Marruecos, y cerca de 14 millones de toneladas fueron utilizados para la elaboración de fertilizantes químicos. Lamentablemente, del total de los fertilizantes fosfatados fabricados, casi 8 millones de toneladas se perdieron por lixiviación y erosión.

En el balance energético de cultivos básicos como las gramíneas el fertilizante representa el mayor monto de energía invertida. Los mayores costos de fertilización química reducen las utilidades del productor, que de por sí ya se ven afectadas por la degradación de la fertilidad natural de los suelos por el excesivo uso de estos insumos. En muchos suelos que han sido cultivados de manera intensiva con aplicaciones altas de fertilizantes químicos se ha observado una disminución constante de la materia orgánica y de la actividad biológica. El gobierno mexicano ha encomendado a la SAGARPA e INIFAP analizar las alternativas más viables y rentables que permitan solventar esta situación de crisis. En este caso particular, las opciones propuestas para enfrentar la problemática relacionada con los altos costos de los fertilizantes se encaminaron a lograr la optimización de las dosis de fertilización química y la promoción de la utilización de abonos orgánicos y biofertilizantes en los cultivos agrícolas de México. Estos productos, que entre otros beneficios mejoran el estatus nutricional de las plantas, son elementos indispensables en la implementación de programas de agricultura de conservación, como más agro para la modernización sustentable de la agricultura tradicional (Aguado *et al.*, 2012).

Estas cifras enfatizan la importancia de adoptar técnicas más eficientes para su dosificación y uso.

Fertilizantes Nitrogenados

Existen varios tipos de fertilizantes nitrogenados, cada uno de ellos es caracterizado por distintas formas de nitrógeno y, en consecuencia, tienen un efecto diferente sobre las plantas (Fertilizer, 2014).

Los fertilizantes nitrogenados simples son aquellos fertilizantes que incorporan al suelo el nitrógeno que es uno de los tres elementos nutrientes considerados como esenciales, se aplican para completar los requerimientos nutricionales de los cultivos en momentos de máxima necesidad. En el caso de los cereales, desde el ahijado hasta la formación de espiga. El nitrógeno se considera factor de crecimiento y desarrollo y debe aplicarse para cubrir los momentos de necesidades intensas y puntuales, ya que interviene en la multiplicación celular y es necesario para la formación de compuestos esenciales, con lo que su deficiencia tiene efectos irreversibles sobre el cultivo. Los abonos nitrogenados simples son, fundamentalmente, abonos de cobertera aunque, debidamente manejados, pueden utilizarse para aportar nitrógeno antes de la siembra. No solo aportan nitrógeno sino que, en muchos casos, contienen azufre, magnesio, calcio e incluso microelementos. La elección del tipo de fertilizante depende de las necesidades de los cultivos, de las formas en las que se encuentre el nitrógeno, de las características edafoclimáticas, de los sistemas de cultivo y de los sistemas de riego (Fertiberia, 2014).

La solución de nitrato amónico-urea 32 es el único fertilizante nitrogenado que contiene nitrógeno en sus tres formas: ureico 50%, amoniacal 25% y nítrico 25%, lo que permite un amplísimo espectro de posibilidades de utilización y asimilación por el cultivo. El nitrógeno ureico que contiene debe sufrir el proceso de nitrificación para ser asimilable por el cultivo y, este proceso, depende enormemente del suelo y las condiciones ambientales. En función de estos factores puede utilizarse tanto en sementera como en cobertera, pero fundamentalmente se utiliza en cobertera, para cualquier tipo de cultivos, usándose, preferentemente, en zonas más cálidas que aseguran un proceso

más rápido de transformación. Si se emplea en sementera, la aplicación deberá llevarse a cabo con la antelación necesaria para que el nitrógeno esté disponible en el momento en que el cultivo lo requiera (Fertiberia, 2014).

Fijación Atmosférica de Nitrógeno

La enorme energía de un rayo rompe las moléculas de nitrógeno y permite a sus átomos de combinar con el oxígeno en los óxidos de nitrógeno que forma de aire. Estos se disuelven en lluvia, la formación de nitratos, que se llevan a la tierra. La fijación de nitrógeno atmosférico probablemente constituye entre el 5 y 8% del total fijado (Biology, 2015).

Tres procesos son responsables de la mayor parte de la fijación de nitrógeno en la biosfera: Fijación atmosférica por un rayo, fijación biológica por ciertos microorganismos, solo o en una relación simbiótica con algunas plantas y animales, y la fijación industrial (Biology, 2015).

Fijación Biológica de Nitrógeno

El nitrógeno es el principal nutriente limitante en ambos sistemas naturales y agrícolas. En gran parte la agricultura actual, se suministra en una forma disponible para las plantas como los fertilizantes, generalmente producidas a través de un proceso químico (por ejemplo, el proceso Haber-Bosch, que convierte el nitrógeno atmosférico en amoníaco utilizando muy altas cantidades de energía) o de la minería de yacimientos minerales. Independientemente de si se trata de abonos producidos químicamente o por la minería, los costes energéticos y ambientales de su producción y uso son prodigiosos (James Hutton Institute, 2010).

El crecimiento de todos los organismos depende de la disponibilidad de nutrientes minerales, y ninguno es más importante que el nitrógeno, que se requiere en grandes cantidades como un componente esencial de proteínas,

ácidos nucleicos y otros constituyentes celulares. Hay un suministro abundante de nitrógeno en la atmósfera de la tierra, casi el 79% en forma de gas N_2 , sin embargo, el N_2 no está disponible para su uso por la mayoría de los organismos porque hay un triple enlace entre los dos átomos de nitrógeno, por lo que la molécula es casi inerte (Deacon, 2000).

En los ecosistemas menos alterados así como algunos agrícolas el nitrógeno soluble (amonio) se hace disponible para las plantas a través de un proceso conocido como fijación biológica de nitrógeno (FBN), en el que las bacterias que contienen el complejo enzimático llamado nitrogenasa (denominados "diazótrofos ") pueden fijar N_2 atmosférico en amoníaco (NH_3) utilizando la energía del ATP y reductores (electrones) suministrado por el metabolismo de los hidratos de carbono, tales como azúcares (James Hutton Institute, 2010).

Muchas plantas, especialmente las legumbres, pero también algunas otras plantas más altas (por ejemplo *Gunnera* y plantas "actinorrísticas", tales como *Alnus*, *Casuarina* y *Myrica*), así como algunas cícadras y el helecho *Azolla*, forman relaciones simbióticas mutualistas con bacterias fijadoras de nitrógeno. En estos sistemas, las bacterias del suelo localizadas en órganos especializados toman nitrógeno de la atmósfera y lo convierten en nitrógeno soluble que está entonces disponible para el crecimiento de la planta (James Hutton Institute, 2010).

Uso de Microorganismos en la Agricultura

Uno de los elementos más valiosos que puede utilizar la agricultura ecológica es el uso de biofertilizantes, lo cual en los sistemas productivos es una alternativa viable y sumamente importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible, ya que permite una producción a bajo costo, no contamina el ambiente y mantiene la conservación del suelo, desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad (Terry *et al.*, 2005).

En el uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura, uno de los principales problemas es el desconocimiento de las especies presentes en los agroecosistemas y en la rizósfera de los cultivos, para su posible utilización eficiente. Desde el punto de vista ecológico, es importante conocer los integrantes de la comunidad bacteriana que favorecen su aplicación como inoculantes y propician un efecto agrobiológico positivo en los cultivos agrícolas (Terry *et al.*, 2005).

Todas las plantas cultivadas y silvestres conviven en la rizosfera con una plétora de microorganismos, que ejercen diversas funciones. La diversidad y el tamaño de las poblaciones microbianas en la rizosfera son muy superiores a los niveles encontrados en suelo no cultivado. Estos microorganismos pueden establecer distintos grados de interacción con las plantas: asociaciones libres, endofíticas o simbióticas. Además sus efectos pueden ser beneficiosos, neutros o deletéreos. Participan activamente en los ciclos biogeoquímicos de nutrientes, sobre todo del nitrógeno (*Rhizobium/Bradyrhizobium* spp.) y del fósforo (hongos micorrícicos y bacterias solubilizadoras de P insoluble), producen hormonas vegetales, sintetizan antibióticos, entre otras características y, como resultado favorecen el establecimiento, nutrición y desarrollo de las plantas.

La elaboración y aplicación de inoculantes (biofertilizantes) basados en diversas especies microbianas es una práctica bien conocida en Agricultura, el ejemplo clásico es la aplicación de inoculantes basados en especies de *Rhizobium*, para el cultivo de leguminosas, práctica agrícola conocida desde hace más de un siglo (Nombre, 2010).

La Rizósfera y las Relaciones entre las Plantas y los Microorganismos

Existe una amplia gama de interrelaciones entre especies de microorganismos en los ecosistemas, tales como sinérgicas, antagónicas, de competencia física y bioquímica, moduladas por múltiples y complejos factores bióticos y abióticos. En la rizósfera, uno de los principales sitios donde se presentan microorganismos, específicamente funcionales, como fijadores de nitrógeno,

solubilizadores de fosfatos, promotores del crecimiento vegetal, biocontroladores y especies patogénicas, normalmente, compiten por espacio y por nutrientes. Estas interrelaciones entre microorganismos inciden en la interacción suelo-planta-microorganismos-ambiente y repercuten, de forma directa, en el crecimiento y en el desarrollo de las especies vegetales. Microorganismos rizosféricos, como los hongos formadores de micorrizas arbusculares (AMF), hongos del género *Trichoderma* y bacterias del género *Pseudomonas*, usualmente, catalogados como agentes de control biológico (BCA) y microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPM), dependen de los factores mencionados para expresar sus potenciales efectos benéficos; sin embargo, en la interacción de estos tres tipos de microorganismos, se pueden presentar efectos sinérgicos, que potencialicen los beneficios o, por el contrario, efectos antagónicos o simplemente que no ocurra ningún efecto en el crecimiento y en el desarrollo de las plantas (Cano, 2011).

Microorganismos que Actúan Benéficamente en el Suelo

Microorganismos beneficiosos incluyen aquellas que crean asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas (rizobios, hongos micorrícicos, actinomicetos, bacterias diazotróficas), promover la mineralización de nutrientes y disponibilidad, producir hormonas de crecimiento vegetal, y son antagonistas de plagas de las plantas, parásitos o enfermedades (agentes de control biológico) (FAO, 2015).

Varias etapas del ciclado de nutrientes en el suelo son exclusivamente microbianas. Así, la degradación de la mayoría de los polímeros carbonados constituyentes de los tejidos vegetales, la producción y el consumo de metano, la fijación de nitrógeno o la oxidación de amonio a nitrito y posteriormente a nitrato, son procesos biológicos llevados a cabo sólo por microorganismos (Pedraza et al., 2010).

El Género *Azospirillum*

Azospirillum es la bacteria asociativa más estudiada. Ejerce un efecto positivo en una gran diversidad de plantas (Bashan, *et al.*, 1996).

Se ha detectado un incremento en el desarrollo del sistema de raíces, tanto en longitud como en volumen de las plantas (Bashan *et al.*, 2007). Además de su aplicación directamente en agricultura, *Azospirillum* se ha convertido en un excelente modelo para los estudios genéticos de bacterias asociadas a plantas en general (Bashan, *et al.*, 2007).

La inoculación de gramíneas con bacterias diazótrofes fijadoras de nitrógeno atmosférico; estos microorganismos del género *Azospirillum*, *Azotobacter*, etc., no forman una asociación simbiótica, sino que su accionar, se produce alrededor del área de las raíces (rizósfera), produciendo sustancias promotoras del desarrollo radicular (fitohormonas) (Ferlini, *et al.*, 2005).

El descubrimiento de las primeras especies de bacterias fijadoras de nitrógeno microaerófilas del género *Azospirillum* era debido a la introducción de medios semisólidos exentos de nitrógeno. Bajo las condiciones de gradiente de oxígeno formados en medios semisólidos, los organismos, atraídos por sus característicos aerotaxis se trasladan a la región dentro de este medio donde su tasa de respiración está en equilibrio con la velocidad de difusión de oxígeno (Reis *et al.*, 2011).

Azospirillum representa el mejor género caracterizado de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Otros diazótrofes de vida libre detectadas en varias ocasiones en asociación con las raíces de las plantas, incluyen *Diazotrophicus*, *Acetobacter*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Azoarcus spp.* Y *Azotobacter*. Se destacan cuatro aspectos de la interacción raíz *Azospirillum* planta, hábitat natural, la interacción de la raíz de la planta, la fijación de nitrógeno y la biosíntesis de hormonas de crecimiento vegetal (Janssens, 2000).

Azospirillum sp. tiene rutas metabólicas de utilización del carbono y nitrógeno muy versátiles, adaptadas para establecerse en ambientes competitivos donde predominan la desecación y limitación de nutrientes (Baca *et al.*, 2010).

La inoculación con cepas de *Azospirillum* seleccionadas permite reducir hasta en 50% el uso de los fertilizantes minerales (N,P,K) sin que disminuya el rendimiento del cultivo, e incluso se obtiene 5-10% de aumento respecto a los cultivos fertilizados con el 100% del fertilizante mineral (Mellado *et al.*, 2009).

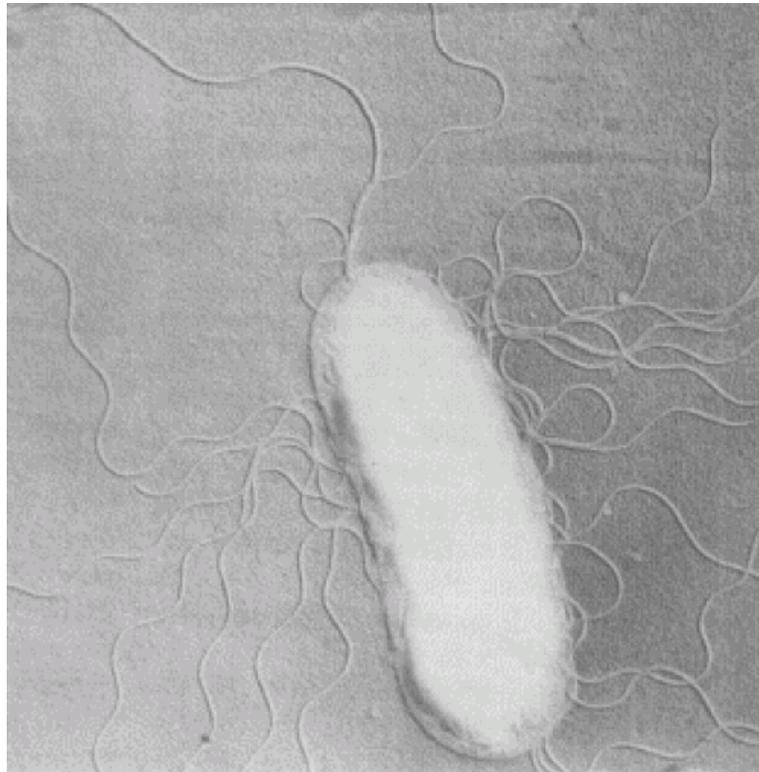


Figura 2. Morfología de *Azospirillum sp.*

Uso e Inoculación con *Azospirillum sp*

La introducción de bacterias específicas en la rizósfera para promover el crecimiento de la planta y de antagonizar con los patógenos del suelo y de las plantas ha sido objeto de una intensa investigación durante las últimas décadas,

y esta práctica se ha convertido en común en la agricultura (Herschkovitz, 2005).

Castillejo (2012), menciona que sus resultados de inoculación en el cultivo de fresa variedad Albión complementaria a una fertilización nitrogenada le produjeron excelentes resultados para muchas características agronómicas deseables.

Las plantas inoculadas absorben más minerales y agua, y en muchos casos, eran más vigorosas y más verdes, y muestran mayor crecimiento (Bashan & Bashan, 2010).

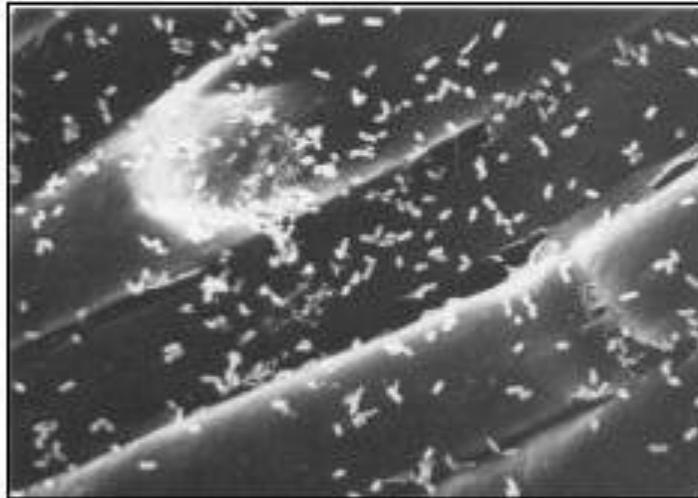


Figura 3. Colonización de la raíz por la bacteria *Azospirillum sp.*

Co-inoculación con microorganismos simbióticos para crear un exitoso sistema de nitrógeno biológico fijación en un cultivo no leguminoso puede llevar a muchos beneficios para la planta (Askary, *et al.*, 2009).

Un incremento hasta de 20% en el rendimiento se considera comercialmente valioso para la agricultura moderna, siempre y cuando estos resultados sean consistentes. Sin embargo, la información disponible puede resultar insuficiente

para pensar en la comercialización de un inóculo bacteriano (Bashan, *et al.*, 2007).

El uso de inoculantes biológicos incorporados como tratamientos de semilla es una práctica que en los últimos tiempos ha demostrado un creciente interés, a punto tal que microorganismos como *Pseudomonas*, *Azospirillum* y otros son incluidos en ensayos de investigación, parcelas demostrativas y utilizados comercialmente por no pocos productores (Ferraris & Couretot., 2007).

Fertilizantes Microbiológicos a Base de *Azospirillum sp*

La fertilización necesaria para cubrir las demandas de la planta, suficientes para un alto rendimiento y para dejar un residuo con adecuada relación C:N para el suelo, representa un muy alto porcentaje del costo del cultivo. Por este motivo, todas las técnicas que permitan disminuir el aporte externo de nutrientes o que beneficien su balance en la cebolla harán más factible su inclusión en la secuencia agrícola.

La fijación biológica de nitrógeno a través de bacterias de vida libre o simbiótica ha demostrado ser el principal mecanismo para su entrada en la génesis de la materia orgánica del suelo.

El desarrollo de inoculantes comerciales basados en bacterias del género *Azospirillum sp.* o de otros semejantes, permite al productor disponer de otra herramienta para complementar la nutrición del sistema Suelo-Planta, y disminuir así los actuales balances negativos de la agricultura (Galarza *et al.*, 2004).

El uso de biofertilizantes en la producción de patrones porta injertos en la germinación de semilla de cítricos: Se inoculó la semilla con biofertilizantes de la empresa biofábrica, los resultados obtenidos fueron que a la semilla que se inoculó con el biofertilizante generó una planta con mayor vigor y desarrollo de

tallo y foliolos de mayor tamaño que a la que no se le aplico biofertilizantes (BIOFÁBRICA, 2015).

Un biofertilizante es un compuesto 100% hecho de microorganismos (Chavarria, 2006).

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del Área de estudio

El presente trabajo se realizó durante el periodo de Octubre del 2014 a mayo del 2015, en el área de campo abierto del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México. A 25° 21' 21.80" latitud Norte y 101° 02' 14.00" longitud oeste, a una altitud de 1755 msnm (Google Earth, 2016).

Descripción de los Tratamientos

Tomando como base la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961), se evaluaron 5 tratamientos:

1. Solución nutritiva.
2. Solución nutritiva más *Azospirillum*.
3. Solución nutritiva reducida en nitrógeno 29.87%
4. Solución nutritiva reducida en nitrógeno más *Azospirillum*.
5. Testigo absoluto.

El 29.87% de reducción del nitrógeno, es resultado de considerar el aporte de nitrógeno de los fertilizantes comerciales requeridos para formular la solución de Steiner (Steiner, 1961), y el aporte de nutrimentos del agua de riego. Apéndice 1.

Descripción del Experimento

Se utilizó semilla de cebolla blanca de la variedad White Grain. La planta se produjo en almácigo, durante el periodo 29 de octubre del 2014 al 20 de enero

del 2015. El trasplante se realizó del día 25 de enero del 2015, a los 81 días después de siembra. Se utilizaron surcos de 30 m de largo y 0.9 m entre surcos. Se plantó a doble hilera a 20 cm entre hileras y 8 cm entre plantas, con una densidad de plantación de 28 plantas por metro cuadrado. Cada repetición consto 2.0 m del surco plantado, divididas por un espacio entre repeticiones de 1.0 m constituido de 26 plantas, para evitar contaminación en los tratamientos. Para el riego y nutrición se utilizó la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961) al 50, 75 y 100% de acuerdo a la etapa de crecimiento del cultivo.

Aplicación del *Azospirillum*. Se utilizó una cepa de *Azospirillum sp*, proporcionada por la Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal. La dosis equivalente a 5 L.ha⁻¹, se diluyó en 2 litros de agua y fue distribuida uniformemente a lo largo de los 2.0 m del surco y al centro de las hileras del cultivo de cebolla.

Variables Evaluadas

Solución del Suelo.

La solución del suelo se obtuvo a los 15 minutos después del riego y a una profundidad de 15 cm, con un lisímetro marca Irrrometer de 12 pulgadas. Y posteriormente se midió:

pH y Conductividad Eléctrica (CE). Se midieron con un potenciómetro y conductivimetro portátil marca Hanna, modelo Combo.

Contenido de NO₃, K y Ca

Los NO₃, K y Ca, se midieron con un ionómetros selectivos portátiles para NO₃, K y Ca marca Horiba modelo LAQUAtwin.

Del Cultivo

A los 90 días después del trasplante, se colectaron 5 plantas al azar de cada repetición y se les evaluó:

Peso Fresco de Total. Se sacaron las plantas con raíz, se lavó la raíz y peso la planta completa.

Peso Fresco de hojas, bulbo y raíz: Una vez medido el peso total, se cortó la raíz y la parte aérea a la altura del “Cuello”, posteriormente, se pesó la raíz, el bulbo y la parte aérea por separado. Para medir el peso total, de raíz, bulbo y hojas se utilizó una balanza electrónica, marca Coda Corp, modelo BCC30.

Numero de hojas verdaderas. Una vez medido el peso, se separaron y contaron las hojas de cada planta.

Longitud y grosor de hoja: De las hojas separadas se tomó la hoja promedio y se midió la longitud con una regla graduada, y el diámetro a la mitad de la hoja con un vernier electrónico marca Auto tec.

Ancho y Largo del Bulbo: De la misma manera se midió el diámetro y la longitud del bulbo con un vernier electrónico marca Auto tec.

Rendimiento: Se obtuvo cosechando las plantas de 1.0 m, en cada repetición. A las plantas se les corto la raíz, se eliminó la cascarilla exterior del bulbo y se despuntaron las hojas, quedando una longitud total de la planta de 30.48 cm (12 pulgadas), que son las medidas comerciales para cebolla de rabo.

Análisis de los Datos

Los datos se analizaron en el modelo de bloques completos al azar (Zar, 1996). Se realizó un análisis de varianza (ANVA) y la prueba de medias de rango múltiple Tukey ($P>0.05$). Se utilizó el paquete estadístico Info Stat, versión 2/8/2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VARIABLES DE LA SOLUCIÓN DEL SUELO

pH y Conductividad Eléctrica CE

La adición exógena de *Azospirillum* no afectó el pH y la CE de la solución, como lo muestran los resultados del cuadro 3.

Se esperaba que el pH de la solución aumentara, como efecto de la oxidación de nitrógeno amoniacal $\text{NH}_4 - \text{NH}_3$ a NO_3 , esta oxidación implica la liberación del H^+ y una reducción del pH (Kno3.org, 2016).

Los pH menores a 4.5 y superior a 8.5 afectan el desarrollo de la *Azospirillum* y por consiguiente se reduce la oxidación del nitrógeno amoniacal y las formas asimilables de nitrógeno (Perdomo *et al.*, 2015).

Respecto a la CE se esperaba que también aumentara como consecuencia de la liberación del H^+ .

Cuadro 2. Media y desviación estándar del efecto de la adición exógena de *Azospirillum* en el pH y CE de la solución del suelo.

Solución Nutritiva	CE	pH
Completa	2.31 \pm 1.53	8.12 \pm 0.19
Completa + <i>Azospirillum</i>	1.53 \pm 0.36	8.21 \pm 0.16
Reducida en N	1.66 \pm 0.61	8.15 \pm 3.08
Reducida en N + <i>Azospirillum</i>	2.25 \pm 1.03	8.14 \pm 0.16
Testigo absoluto (Agua)	1.71 \pm 0.55	8.31 \pm 0.19

NO₃, K y Ca en Solución de Suelo

La concentración de iones NO₃, K y Ca, en la solución del suelo no fue estadísticamente diferente, como se observa en el cuadro 4.

Se esperaba que al aumentar la población de *Azospirillum*, incrementara la oxidación de NH₃ - NH₄ y la concentración de NO₃, Sin embargo, no se observó el efecto esperado. Aún y cuando existen reportes de trabajos anteriores, que indican que la aplicación de *Azospirillum* favorece la disponibilidad de Ca y K (Reyes, 2007).

Cuadro 3. Media y desviación estándar del efecto de la adición exógena de *Azospirillum* en el contenido de NO₃, K y Ca en la solución del suelo.

Solución Nutritiva	NO ₃	K	Ca
Completa	812.86±568.12	59.86±39.36	422.86±362.16
Completa + <i>Azospirillum</i>	532.86±233.36	40.14±19.48	282.86±135.86
Reducida en N	585.71±174.91	56.86±51.04	307.14±218.61
Reducida en N + <i>Azospirillum</i>	831.43±381.86	64.57±34.84	475.71±329.03
Agua (Testigo absoluto)	735.71±343.07	56.00±37.88	391.43±217.75

Aun y cuando en este trabajo no se tuvieron los resultados esperados, es necesario seguir evaluando el aporte de nitrógeno relacionado a la adición de *Azospirillum*. Porque trabajos anteriores, muestran que la adición de *Azospirillum*, compensa la reducción de fertilizantes nitrogenados en rangos de 40 - 50 % sin que exista disminución en el rendimiento de la cosecha (Caballero, 2006). Sin embargo, esta información no nos permite reducir los fertilizantes en cultivos fertirrigados por goteo, donde los ajustes en la fertilización se realizan en rangos de tiempo de un día o máximo una semana (HortiCultivos, 2014).

Variales Agronómicas

Peso Fresco de Raíz, Bulbo, Hojas y Total

El Peso fresco de los diferentes órganos y el peso total de la planta no fue afectado por la adición exógena de *Azospirillum*, como se observa en el cuadro 5.

Esto se puede deber a que las dosis de fertilización cubrieron los requerimientos de la planta tanto en la solución reducida como en la completa. También hay que considerar que el trabajo se realizó a suelo desnudo donde la evapotranspiración es superior a 100 mm por mes (INIFAP, 2016), lo cual aumenta la concentración de nutrimentos entre ellos nitrógeno en la solución del suelo.

Cuadro 4. Media y desviación estándar del efecto de la adición exógena de *Azospirillum* en el peso fresco de Cebolla de Rabo.

Solución Nutritiva	Total	Raíz	Bulbo	Tallo
		Peso fresco (Kg/m)		
Completa	2.16±0.58	0.16±0.15	1.09±0.40	0.91±0.36
Completa + <i>Azospirillum</i>	2.30±0.29	0.10±0.03	1.14±0.20	1.07±0.12
Reducida en N	2.28±0.45	0.29±0.33	1.25±0.28	0.74±0.44
Reducida en N + <i>Azospirillum</i>	2.24±0.50	0.18±0.19	1.16 ±0.34	0.90±0.29
Testigo absoluto (Agua)	2.19 ±0.55	0.17±0.23	0.97±0.51	1.05±0.58

Kg/m=Datos obtenidos en 1.0 m lineal del surco.

Longitud y Diámetro del Bulbo y Hojas

La adición exógena de *Azospirillum* aumento el diámetro del bulbo de la cebolla fertiirrigada con solución reducida en nitrógeno, (ver cuadro 6). Lo anterior puede indicar un desbalance en la relación N/K, porque niveles altos de nitrógeno reducen la absorción de potasio (Lazcano, n.d.). Por lo anterior se puede decir que la adición de *Azospirillum* aumenta la calidad de la cebolla, porque uno de los parámetros de calidad es el diámetro del bulbo.

El crecimiento de las hojas no fue afectado por la adición de *Azospirillum*. Se esperaba un mayor desarrollo de las hojas verdaderas, dado que el nitrógeno favorece el desarrollo vegetativo de las plantas (Alcantar Gonzalez & Trejo-Tellez, 2010). Adicionalmente era deseable un mayor desarrollo por qué el 50% de la cebolla de rabo está representada por las hojas verdaderas, por lo que un buen desarrollo, además de aumentar el rendimiento, favorece también la calidad visual.

Cuadro 5. Media y desviación estándar del efecto de la adición exógena de *Azospirillum* en la longitud y diámetro de Cebolla de Rabo.

Solución Nutritiva	Long. Bulbo	Long. Hoja	Ø Bulbo mm	Ø Hoja mm
	mm	cm		
Completa	81.14 ±11.17 a	69.68 ±7.62	52.72 ±7.55 b	13.20 ±1.77
Completa + Azosp	79.51 ±9.28 ab	68.36 ±5.44	55.50 ±7.52 b	13.53 ±2.19
Reducida en N	83.02 ±11.83 a	69.10 ±8.19	59.40 ±6.66 ab	12.96 ±1.81
Reducida N + Azosp	81.32 ±8.85 a	68.48 ±6.59	61.68 ±6.34 a	13.60 ±1.60
Testigo absoluto	72.88 ±10.80 b	66.67 ±5.69	55.18 ±7.74 b	13.65 ±1.85

Literales diferentes a, b, en la misma columna, indican diferencia estadística entre las medias de los tratamientos. *Azosp* = *Azospirillum*

Rendimiento

El mejor mayor rendimiento se obtuvo cuando se fertirrigó con solución completa y se agregó *Azospirillum*. (Cuadro 7). Al realizar la extrapolación de la densidad de población utilizada en este experimento a una hectárea, se estima que el incremento en el rendimiento puede ser de hasta 2.66 ton/ha. Aún y cuando no se observó un comportamiento lógico o normal de los tratamientos y no se observó una correlación positiva del pH, Ce y NO₃, K y Ca, con las variables de crecimiento, al realizar la estimación de rendimiento se encontró que al adicionar *Azospirillum* y fertirrigar con una solución completa se obtuvieron los mejores rendimientos, también se observó que al comparar solución completa, respecto al testigo no hubo diferencia significativa. Este comportamiento hace suponer que el suelo tenía una reserva importante de nutrientes, lo cual fue suficiente para suplir la demanda del cultivo. Por lo que

en trabajos posteriores se recomienda hacer un análisis previo del suelo. De cualquier forma con un incremento de 2.66 ton/ha, es rentable, para adicionar de manera exógena *Azospirillum*.

Cuadro 6. Efecto de la adición exógena de *Azospirillum* en el rendimiento de la cebolla de rabo.

Solución Nutritiva

Solución Nutritiva	Peso promedio por planta (kg)	Rendimiento Kg/Ha
Completa	0.13	37,074
Completa + <i>Azospirillum</i>	0.15	42,929
Reducida en N	0.14	40,016
Reducida en N + <i>Azospirillum</i>	0.15	40,265
Testigo absoluto	0.14	38,822

Peso promedio de la planta preparada para empaque.

Coefficiente de Correlación Simple de Sperman de Variables de Solución del Suelo vs Variables Agronómicas

Al realizar la correlación de la concentración de NO_3 , Ca, K, pH y CE, de la solución del suelo, con las variables agronómicas de la cebolla de rabo no se encontraron efectos directos asicados entre los iones del suelo con las variables agronómicas conforme a los datos tomados.

Cuadro 7. Coeficientes de Correlación Simple de Sperman de Variables de Solución del Suelo vs Variables Agronómicas.

Solución Completa	Peso Total Kg	Peso Raíz Kg	Peso Bulbo Kg	Peso Tallo Kg	Long. Bulbo mm	Long. Hoja cm	Ø Bulbo mm	Ø Hoja mm
pH	-0.29	0.34	-0.32	-0.46	-0.71	0	-0.11	-0.07
CE	-0.14	0.05	-0.11	-0.07	-0.46	-0.43	-0.11	-0.64
NO3	0.13	-0.32	-0.02	0.31	-0.14	-0.65	0.52	-0.54
K	-0.21	0.09	-0.21	-0.14	-0.54	-0.57	-0.04	-0.71
Ca	-0.41	0.13	-0.38	-0.23	-0.09	-0.81	-0.23	-0.81

Tratamiento 2	Peso Total Kg	Peso Raíz Kg	Peso Bulbo Kg	Peso Tallo Kg	Long. Bulbo mm	Long. Hoja cm	Ø Bulbo mm	Ø Hoja mm
pH	0.45	0.63	0.40	0.09	-0.13	-0.20	-0.58	-0.18
CE	-0.20	-0.74	0.16	-0.45	0.05	0.38	0.54	0.68
NO3	0.47	0.20	0.61	0.23	-0.99	0.67	-0.23	-0.27
K	-0.34	-0.73	-0.20	-0.38	0.31	-0.02	0.81	0.95
Ca	-0.50	-0.92	-0.18	-0.67	0.29	0.11	0.77	0.74

Tratamiento 3	Peso Total Kg	Peso Raíz Kg	Peso Bulbo Kg	Peso Tallo Kg	Long. Bulbo mm	Long. Hoja cm	Ø Bulbo mm	Ø Hoja mm
pH	-0.61	0.20	-0.48	-0.46	-0.63	-0.80	-0.80	-0.46
CE	0.63	-0.21	0.55	0.45	0.56	0.74	0.88	0.42
NO3	0.55	0.06	0.47	0.22	0.73	0.62	0.79	0.52
K	0.51	-0.14	0.39	0.38	0.50	0.84	0.73	0.21

Ca	0.58	0.05	0.42	0.29	0.65	0.84	0.65	0.39
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tratamiento 4	Peso Total Kg	Peso Raíz Kg	Peso Bulbo Kg	Peso Tallo Kg	Long. Bulbo mm	Long. Hoja cm	Ø Bulbo mm	Ø Hoja mm
pH	-0.50	-0.25	-0.64	0.04	0.14	0.32	-0.21	-0.18
CE	0.14	0.21	0.32	-0.25	-0.14	0.04	-0.04	0.39
NO3	0.68	0.18	0.75	0.36	-0.04	-0.36	-0.21	0.61
K	0.16	-0.13	0.25	-0.09	-0.36	0.07	-0.11	0.40
Ca	0.32	0.41	0.52	-0.11	-0.02	-0.16	-0.04	0.47

Tratamiento 5	Peso Total Kg	Peso Raíz Kg	Peso Bulbo Kg	Peso Tallo Kg	Long. Bulbo mm	Long. Hoja cm	Ø Bulbo mm	Ø Hoja mm
pH	-0.14	-0.2	-0.49	0.22	-0.32	-0.83	-0.67	-0.49
CE	0.14	-0.61	0.07	0.36	-0.36	0.39	-0.18	0.32
NO3	0.07	0.77	0.64	-0.61	0.54	0.57	0.96	0.18
K	-0.29	-0.50	-0.14	-0.07	-0.14	0.82	0.14	0.43
Ca	-0.14	-0.02	0.29	-0.32	0.36	0.93	0.50	0.50

CONCLUSIÓN

La adición exógena de *Azospirillum sp* al cultivo de cebolla de rabo, no mostró efecto sobre el pH, CE, contenido de NO₃, K, Ca, así mismo no se observó efecto sobre el crecimiento del cultivo. Sin embargo se observó un aumento en el rendimiento de un 16% comparándolo con el tratamiento de solución completa, al igual aumento la calidad comercial de los bulbos.

REFERENCIAS

- Agrotech de Colombia SAS. (2015). AGROTECH DE COLOMBIA SAS. [online] Available at: <http://www.cebollalarga.com/ficha-tecnica> [Accessed 12 Mar. 2017].
- Aguado S., G.A. Q.R.Cruzy A.L. Bulbarela. 2012. Impacto económico y ambiental del empleo de fertilizantes químicos. Guanajuato, México. Pp. 1 y 13
- AlcantarGonzalez, G. and Trejo-Tellez, L. (2010). Nutricion de cultivos. 1st ed. Mexico: Mundi-Prensa.
- Askary M, A. Mostajeran, R. Amooaghaei, y M. Mostajeran. 2009. Influence of the Co-inoculation *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium meliloti* plus 2,4-D on Grain Yield and N, P, K Content of *Triticum aestivum* (Cv. Baccros and Mahdavi). *Revista Eviron ciencia*. 5 (3): 296-307.
- Baca k, M. Sánchez, C. Carreño y G. Mendóza. 2010. Polyhydroxyalcanoates of strains of *Azospirillum* spp. isolated of roots of *Lycopersicon esculentum* Mill. "Tomato" and *Oryza sativa* L. "rice" in Lambayeque.
- Bashan y L.E. de Bashan. 2010. How the Plant Growth-Promoting Bacterium *Azospirillum* Promotes Plant Growth—A Critical Assessment. pp. 78.
- Bashan Y, G. Holguin, R. F. Cerrato. 1996. Interactions between plants and beneficial microorganisms. *Revista. Azospirillum*. Pp. 2.
- Bashan, L.E., Holguin, G., Glick, B.R. and Bashan, Y. 2007. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. *Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y*

macrofauna, control biológico, planta-microorganismo. Ferrera-Cerrato, R., and Alarcon, A. Chapter 8. Editorial Trillas, México. pp. 162-170

BIOFABRICA. 2015. Resultados de pruebas en cultivos de cítricos en el estado de Veracruz 2015. Responsable: BIOFABRICA. Disponible en: <http://www.biofabrica.com.mx/blog/?tag=azospirillum>

Cano M.A. 2011. A review of interaction of beneficial microorganisms in plants: *mycorrhizae*, *trichodermaspp*, and *pseudomonas spp*. Revista. U.D.C.A. 14 (2): 15-31

Chavarria. 2006. Biofertilizantes y biocontroladores. Responsable: Morena Chavarria vega. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/biofertilizantes_biocontroladores.pdf

Clima.inifap.gob.mx. (2016). INIFAP. [online] Available at: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/historicos.aspx?est=27&edo=5&m=1&an=2016> [Accessed 10 Mar. 2017].

Deacon. 2000. The Microbial World: The Nitrogen cycle and Nitrogen fixation. Responsable: JimDeacon. Disponible en: <http://archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/microbes/nitrogen.htm>

Douglas, J. S. 1976. Guía avanzada para hidroponía. Drake Publishers, Inc. Nueva York, Estados Unidos. 195p

Es.wikipedia.org. (2013). *Allium fistulosum*. [online] Available at: https://es.wikipedia.org/wiki/Allium_fistulosum [Accessed 13 Mar. 2017].

FAO. 2015. AGP - Soil biological management with beneficial microorganisms. Responsable: FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/soil->

biodiversity/case-studies/soil-biological-management-with-beneficial-microorganisms/en/

Fao.org. (2004). Factores ambientales. [online] Available at: <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s08.htm> [Accessed 14 Feb. 2017].

Ferlini H. A., S.C. Díaz, C. O. Traut. 2005. Beneficios del uso de inoculantes sobre la base de *Azospirillum brasilense* en cultivos extensivos de granos y forrajes.

Ferraris G.N. y L.A. Couretot. 2007. Evaluación de Formulaciones con Micronutrientes en Tratamientos Biológicos con *Azospirillum* de Trigo. Proyecto regional agrícola. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/Evaluacion%20Formulaciones%20Micronutrientes%20Azospirillum%20Trigo.asp>

Fertiberia. 2014. Disponible en: http://acm2.fertiberia.es/ACM2_upload/2-Productos/pdfs/Fertilizantes_nitrogenados_simples.pdf

Fertiberia. 2014. Disponible en: <http://www.fertiberia.es/templates/template1Det.aspx?MP=226yM=244yF=97yL=99yTipo=658yOp=31yC=634>

Fertiberia. 2014. Disponible en: <http://www.fertiberia.es/templates/template1Det.aspx?MP=226yM=243yF=97yL=99yTipo=658yOp=30yC=633>

Fertiberia. 2014. Disponible en: <http://www.fertiberia.es/templates/template1.aspx?M=226yF=97yL=99yTipo=658>

- Fertilizer. 2014. Responsable: fertilizer. Disponible en: <http://www.smart-fertilizer.com/articulos/fertilizantes-nitrogenados>
- Figueroa, G. 1988. Guía para productores de cebolla perla ecuatorianos. Guayaquil, Ec. p. 36.
- Financiera, Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero, (2014). Panorama de la Cebolla. México, pp.1-2.
- Forest.ula.ve. (1997). RELACIONES HIDICAS ENTRE LAS PLANTAS - LibroBOTANICAOnline. [online] Available at: <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/relahid/> [Accessed 14 Feb. 2017].
- Galarza C.V. Gudelj, P. Vallone. 2004. Evaluación de fertilizantes microbiológicos a base de *Azospirillum* sp. En el cultivo de maíz en siembra directa. Responsable: portal informativo para el productor agropecuario. pp.1
- Herschkovitz. Y., A. learner., Y. Davidov., M. Rothballer., A. Hartmann., Y. Okon, y E. Jurkevitch. 2005. Inoculation with the Plant-Growth-Promoting Rhizobacterium, *Azospirillum* brasilense Causes Little Disturbance in the Rhizosphere and Rhizoplane of Maize (*Zea mays*). pp. 27.
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California. Agricultural Experiment Station. Circular 347. 32 p.
- HortiCultivos. (2014). Uso óptimo de los fertilizantes en fertirriego - HortiCultivos. [online] Available at: <http://horticultivos.com/uso-optimo-de-los-fertilizantes-en-fertirriego-2/> [Accessed 10 Mar. 2017].
- Infoagro.com. (2001). Agricultura. El cultivo de la cebolla.. [online] Available at: <http://www.infoagro.com/hortalizas/cebolla.htm> [Accessed 12 Mar. 2017].

- James Hutton institute. 2010. Biological nitrogen fixation by legumes. Responsable: James Hutton institute. Disponible en: <http://livingfield.hutton.ac.uk/science/bnf>
- Janssens.F.A. 2000. Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. Revista FEMS Microbiol.24 (4): 487-506.
- Kno3.org. (2016). Nitrato (NO₃⁻) versus amonio (NH₄⁺). [online] Available at: <http://www.kno3.org/es/product-features-a-benefits/nitrate-no3-versus-ammonium-nh4> [Accessed 9 Mar. 2017].
- Lazcano, I. (n.d.). EL POTASIO Y EL CONCEPTO DE LA FERTILIZACION BALANCEADA*. 1st ed. [ebook] INPOFOS. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Ignacio_Lazcano-Ferrat/publication/238736443_EL_POTASIO_Y_EL_CONCEPTO_DE_LA_FERTILIZACION_BALANCEADA/links/56e32cb108ae65dd4cbac2f9.pdf?origin=publication_list [Accessed 10 Mar. 2017].
- Mellado .J.C. Lemus J.O. Villarreal A.W. González R. de los Santos P.E. Salazarl.R. Suárez R. Iturriaga G. y Aguilar L.M. .2009. uso de Azospirillum en México como biofertilizante y potencial de nuevas especies bacterianas como biofertilizantes, agentes de biorremediación y biocontrol de fitopatógenos. SIPAL. pp. 1.
- Nault, B., Cranshaw, W., Ogradnick, J., & Schwartz, h. (2011). Etapas de Desarrollo del Bulbo en Cebolla.
- Nombre.D.R.2010. Aplicación de microorganismos beneficiosos en la agricultura. Folleto. IFAPA. pp. 1.
- Parra Y., F. Cuevas 2001. Potencialidades de Azospirillum como inoculante para la agricultura, Revista cultivos tropicales.23 (3):31-41.

- Pedraza R.O., K. R. S. Teixeira., A.F. Scavino, I. G. de Salmone., B.E. Baca ,R. Azcón., V.L.D. Baldoni., R.Bonilla. 2010. Revista corpoica- ciencia y tecnología agropecuaria. 11 (2): 155-164.
- Perdomo, F., Rusinque, M., Campos, P. and Buitrago, R. (2015). Efecto de la temperatura y el pH en la producción de biomasa de *Azospirillumbrasilense* C16 aislada de pasto guinea. 1st ed. [ebook] Colombia: Laboratorio de Microbiología de Suelos, p.174. Available at: <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v38n3/pyf03315.pdf> [Accessed 9 Feb. 2017].
- Reis V.M., K. R. D. Teixeira., yR.O.Pedraza. 2011. What Is Expected from the Genus *Azospirillum* as a Plant Growth-Promoting Bacterium? Disponible en: <http://translate.google.com.mx/translate?hl=es-419ysl=enyt=esyu=http%3A%2F%2Fwww.bashanfoundation.org%2Fpedraza%2Fpedrazawhatgenus.pdf&anno=2>
- Reyes,I., A. Valery.2007. Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento Del maíz (zeamays l.) Con *azotobacterspp.* Responsable: *BIOAGRO*. 19 (3). Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316
- Ruiz S., R. and Escaff G., M. (n.d.). Nutrición y Fertilización de la Cebolla. 1st ed. [ebook] p.3. Available at: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR15335.pdf> [Accessed 11 Feb. 2017].
- Steiner, A. A. 1961. Un método universal para la preparación de soluciones nutritivas de una cierta composición deseada. El suelo de la planta. 15: 134-15.
- Terry. E.A.,A., Leyva .A. Hernández. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes. Revista Colombiana. 7(2): 47-54.

Villa García, S.; Aguirre, G. (1994). Manual de uso de fertilizantes. Ediciones UPS- UNDAGRO. Quito, Ec. p. 23-25.

Zamora, E. (2016). El cultivo de la cebolla. Universidad de Sonora, [online] pp.1-3. Available at: <http://www.agricultura.uson.mx/Zamora/CEBOLLA-DAG-HORT-015.pdf> [Accessed 15 Jan. 2017].

ANEXOS

Análisis de Agua

Características Generales de Salinidad / Sodicidad			
Determinación	Abrev.	Unidades	Resultados
Cond. Eléctrica	CE	dS/m	1.14
pH	pH	-	7.90
Rel. Ads Sodio	RAS	-	1.56

Cationes			
Determinación	Abrev.	Unidades	
		me/l	ppm
Calcio	Ca	5.64	113
Magnesio	Mg	2.51	30.5
Sodio	Na	3.15	72.5
Potasio	K	.11	4.30
Suma de Cationes	-	11.41	

Aniones			
Determinación	Abrev.	Unidades	
		me/l	ppm
Sulfatos	SO ₄	3.11	149
Bicarbonatos	HCO ₃	6.00	366
Cloruros	Cl	1.94	68.6
Carbonatos	CO ₃	0	0
N-Nitratos	N-NO ₃	0.37	5.2
Suma de Aniones	-	11.41	

Otros Parámetros de Salinidad / Sodicidad			
Determinación	Abrev.	Unidades	Resultados
Salinidad Efectiva	SE	me/l	5.41
% de Sodio Posible	PSP	%	58.2
Carb. Sodio Res	C.S.R.	%	0
Red. Ads Sodio Aj	RASaj	-	2.42

Determinaciones Especiales			
Determinación	Abrev.	Unidades	Resultados
Boro	B	ppm	0.29
Fierro	Fe	ppm	ND
Manganeso	Mn	ppm	ND