

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



*Azospirillum* Aumenta la Concentración de Nitratos en la Solución del Suelo y el Crecimiento del Cultivo de Cebolla de Rabo

Por:

**LEONEL VELASCO JIMÉNEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para poder obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

*Azospirillum* Aumenta la Concentración de Nitratos en la Solución del  
Suelo y el Crecimiento del Cultivo de Cebolla de Rabo

Por:

**LEONEL VELASCO JIMÉNEZ**

TESIS

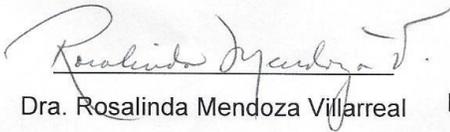
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

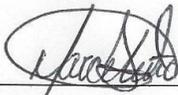
Aprobada

Dr. Alberto Sandoval Rangel

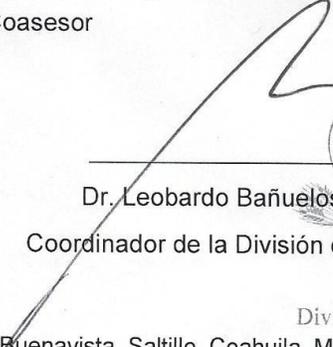
Asesor Principal

  
Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Coasesor

  
Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente

Coasesor

  
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación  
División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Mayo 2015

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **DIOS** por haberme permitido alcanzar un sueño través del esfuerzo y dedicación, gracias Dios por darme esta oportunidad y por haber cuidado de mi durante el tiempo que he estado fuera y lejos de mi familia, gracias por darme fuerza y sabiduría para terminar la carrera profesional. A todo esto y por muchas otras cosas más mil gracias.

Agradezco enormemente a mi asesor principal de tesis **Dr. Alberto Sandoval Rangel**, por tener la confianza en mí para poder comenzar y terminar con éxito el siguiente trabajo experimental, ya que sin su apoyo dicho trabajo de investigación no sería posible, por tenerme la paciencia y el tiempo necesario para que pudiera concluiría con éxito este trabajo y por compartir sus conocimientos que me han formado como el profesionista que ahora soy.

A mis coasesores: **Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal** y **Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente**, por su amable aceptación y disponibilidad de tiempo para participar en esta tesis y por sus enseñanzas que me proporcionaron en la universidad y en este proyecto.

A mis **cuñados (as)**: Salvador, Yolanda, Agavidael, y Araceli; también a mi **novia** Liliana Guadalupe Alfaro Aguilar y mis **amigos**: Riquelmen, Fidel, Leonel, Víctor, Nacho, Juan Carlos y amigos (as) de la generación CXVIII, a cada uno de ellos (as) les doy las gracias por brindarme sus apoyo durante la carrera profesional.

## DEDICATORIA

Con mi más grande respeto y profundo cariño, dedico este trabajo a mis padres: **Roberto Velasco Jiménez Y Odilia Jiménez López**

También a mis hermanos: **Mari, Joel, Delia, José, Ana**; quienes en este documento pueden ver los frutos de una semilla sembrada con esfuerzo e ilusión, ya que hoy ven forjado un anhelo, una ilusión, un deseo y un sueño, porque nunca me dejaron solo y sepan que **la unión de la familia Velasco Jiménez**, fue la fuerza que me impulsó a lograr mis sueños y ahora es el verbo hecho realidad.

Ustedes que fueron testigos del camino andado para llegar hasta aquí y porque sé que mi sueño era el suyo también, ahora el logro alcanzado es también de ustedes, es el resultado de sus esfuerzos, sacrificios y el tiempo invertido en mí.

Por lo que ha sido y será, les doy las gracias con mucho amor y admiración para ustedes queridos **padres y hermanos**, que Dios los Bendiga y los guarde para siempre... ¡lo hemos logrado!

**Ing. Agrónomo Leonel Velasco Jiménez**

## RESUMEN

La solución del suelo se forma con el agua y su aporte iónico, los iones de intercambio del suelo, el aporte de microorganismos y la adición exógena de fertilizantes. Este trabajo se realizó con el objetivo de medir el aporte de  $N-NO_3$ , a la solución del suelo en relación a la adición exógena de *Azospirillum sp* y su efecto en el cultivo de cebolla de rabo. Tomando como base la solución nutritiva Steiner, se evaluaron cuatro tratamientos 1).- Solución nutritiva completa, 2).- Solución nutritiva reducida 39.52% en nitrógeno, 3).- Solución nutritiva reducida 39.52% en nitrógeno + *Azospirillum sp* y 4).- Testigo absoluto. Se midió: Contenido de nitratos y nitritos en la solución del suelo, número de hojas verdaderas, longitud y grosor de hoja, peso fresco de hojas, bulbo y raíz, peso, grosor y largo del bulbo. Los resultados muestran que la adición exógena de *Azospirillum sp* al suelo cultivado con cebolla de rabo, aumentó la concentración de nitratos en la solución del suelo e incremento el peso fresco total y la calidad de la cebolla de rabo y tuvo un efecto negativo en el peso fresco de la raíz.

**Palabras Clave:** Nutrición, microorganismos, fertilizantes

## INDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	2
<b>DEDICATORIA</b> .....	4
<b>RESUMEN</b> .....	5
<b>INDICE GENERAL</b> .....	6
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	9
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	10
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	11
1.1 Objetivo .....	14
1.2 Hipótesis.....	14
1.3 Justificación.....	14
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	15
2.1 Aspectos Generales de <i>Azospirillum</i> .....	15
2.1.1 Identificación.....	15
2.1.2 Antecedentes.....	17
2.1.3 Importancia de la Bacteria <i>Azospirillum</i> .....	18
2.1.4 Efecto de <i>Azospirillum</i> en la Raíz.....	19
2.2 Nitratos en la Solución del Suelo.....	21
2.2.1 Nitratos .....	21
2.2.2 Integración de Nitratos en el Suelo.....	21
2.2.3 El Nitrógeno en el Suelo y en la Planta. ....	21

2.2.4 Nitratos en Especies Hortícolas.....	22
2.2.5 Nitratos en Hortalizas y el Consumidor .....	23
2.3 Generalidades del Cultivo de la Cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.).....	24
2.3.1 Descripción Botánica.....	24
2.3.2 Etapas de Crecimiento Vegetativo .....	25
2.3.3 Importancia Económica y Distribución Geográfica .....	26
2.3.4 Requerimientos Edafoclimáticos .....	29
2.3.5 Cultivares de Cebolla .....	30
2.3.6 Requerimientos Nutricionales.....	31
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
3.1 Ubicación del Área de Estudio.....	32
3.2 Descripción de Tratamientos.....	32
3.3 Descripción del Material Experimental .....	32
3.4 Variables Evaluadas.....	33
3.5 Análisis Estadístico de los Datos.....	34
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Concentración de Nitratos en la Solución del Suelo.....	35
4.2 Crecimiento del Cultivo de la Cebolla de Rabo .....	36
4.2.1 Peso Fresco Total .....	36
4.2.2 Crecimiento de Hojas Verdaderas o Fotosintéticas.....	37
4.2.3. Desarrollo del Bulbo .....	38
4.2.4. Desarrollo de la Raíz.....	38

4.2.5 Datos Agronómicos de la Cebolla Cristal White Cosechada como Cebolla de Rabo.....	39
4.2.6 Correlación simple de Serman de la Variables de Estudio.....	40
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>42</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>43</b>
<b>APENDICE .....</b>	<b>50</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Tabla 1:</b> Contenido de nitratos ( $\text{NO}_3$ mg $\text{kg}^{-1}$ ) en la parte comestible de diferentes especies hortícolas. ....	23
<b>Tabla 2.</b> Superficie y volumen de producción de cebolla. ....	27
<b>Tabla 3.</b> Producción de cebolla en los primeros 10 estados de la República Mexicana (SIAP, 2013) .....	28
<b>Tabla 4.</b> Media y desviación estándar del efecto de la reducción de nitrógeno y la adición de <i>Azospirillum</i> sp en el desarrollo de las hojas de cebolla de rabo a los 98 días después del trasplante. ....	37
<b>Tabla 5.</b> Media y desviación estándar del efecto de la reducción de nitrógeno y la adición de <i>Azospirillum</i> sp en el desarrollo del bulbo de cebolla a los 98 días después del trasplante. ....	38
<b>Tabla 6.</b> Media y desviación estándar del efecto de la reducción de nitrógeno y la adición de <i>Azospirillum</i> sp, en el desarrollo de la raíz de cebolla a los 98 días después del trasplante. ....	39
<b>Tabla 7.</b> Correlación simple de Spearman, de las variables de estudio.....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Colonia rojo escarlata del <i>A. brasilense</i> o rojo Congo. ....	15
<b>Figura 2.</b> Morfología celular de <i>Azospirillum brasilense</i> .....	16
<b>Figura 3.</b> Colonización de las raíces en gramíneas por bacterias del género <i>Azospirillum</i> sp. ....	17
<b>Figura 4.</b> Cebolla de Rabo.....	24
<b>Figura 5.</b> Concentración de nitratos en la solución del suelo en relación a la solución nutritiva y la adición de <i>Azospirillum</i> sp. ....	35
<b>Figura 6.</b> Efecto de la reducción de nitrógeno y la adición de <i>Azospirillum</i> sp, sobre el peso fresco total de la planta de cebolla a los 98 días después del trasplante.....	36

## I. INTRODUCCIÓN

La concentración de N-NO<sub>3</sub> en las soluciones nutritivas para la mayoría de hortalizas oscila entre 600 a 800 mg L<sup>-1</sup> (Hogland y Arnon, 1950; Steiner, 1961, Douglas, 1976). En el suelo la solución nutritiva corresponde a la solución del suelo, la cual se forma con el agua y su aporte iónico, el intercambio de iones del suelo, el aporte de microorganismos y finalmente la adición exógena de fertilizantes. Este estudio tiene como objetivo, cuantificar el aporte de nitrógeno a la solución del suelo, relacionada a la adición exógena de *Azospirillum sp.* Existen diversos estudios que muestran la influencia de microorganismos sobre la fertilidad de los suelos y en la nutrición de las plantas. Los mecanismos que utilizan los organismos son muy variados. Un mecanismo está basado en la degradación de la materia orgánica, hasta sus formas elementales, por microorganismos saprófitos que utilizan esta materia orgánica como alimentos (Yanelis *et al.*, 2007). Otro mecanismo, consiste en la habilidad de algunos microorganismos de liberar nutrimentos de la matriz del suelo, por ejemplo *Glomus intraradices*, y algunas rizobacterias, que son capaces de liberar fósforo retenido en fosfatos de calcio. *Bacillus mucilaginosus* y *Pseudomonas fluorescens*, que liberan potasio, mediante la destrucción de estructuras minerales (Villa-Castro *et al.*, 2014). *Aerobacter*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Pseudomonas*, *Nocardia* y *Streptomyces* pueden disolver el Mn<sup>4+</sup> o bien oxidarlo en suelos ácidos evitando altos niveles y riesgo de toxicidad (Ferreira *et al.*, 2013).

Respecto al nitrógeno, la fijación, la realizan diferentes bacterias, unas de vida simbiótica como *Rhizobium*, que forman nódulos en las leguminosas, y otras de vida libre y que pertenecen fundamentalmente a los géneros *Azotobacter* y *Clostridium*, estos géneros tienen la

capacidad de fijar nitrógeno atmosférico o el nitrógeno que es liberado de la descomposición de la materia orgánica del suelo (Steenhoudt y Vanderleyden, 2000).

Como contraparte, existen otras bacterias que usan los nitratos como fuente de oxígeno y los reducen a nitritos o nitrógeno libre.

Aparte de la fijación o liberación de nitrógeno, se producen también cambios de forma, donde los más interesantes son la amonificación por la destrucción anaerobia de la materia orgánica por *Nitrobacter* la nitrificación del amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) y  $\text{NH}_4^+$  por *Nitrosomonas* y *Azospirillum* (Grageda *et al.*, 2000).

**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 (Villarreal *et al.*, 2014). *Azospirillum* al reproducirse en el suelo, contribuyen en la degradación de la materia orgánica (Bare y Rivera 2010). Disuelven y mineralizan los fosfatos y reguladores de crecimiento como auxinas, ácido Indolacético (AIA), citocininas, y proteínas como poli amina, los cuales estimulan el desarrollo radicular (Villegas, 2010). Participan en la formación de los micro agregados rizosféricos del tipo aminoácidos y polisacáridos, promueven en las plantas tolerancia a la sequía mediante la formación de alginatos en las raíces (López *et al.*, 2008). Limitan el espacio para el desarrollo de hongos y bacterias fitófagas, lo que comúnmente se define como competencia por espacio, producen antibióticos y sideróforos que también actúan sobre otros organismos denominado antibiosis.

Actualmente son reconocidas siete especies aunque las más comunes son *Azospirillum; lipoferum* y *A. brasilense*. (Tarrand *et al.*, 1978).

El uso de *Azospirillum* como bioestimulante del crecimiento de las plantas no se ha generalizado a nivel mundial, en México la aplicación

de ésta bacteria en diferentes cultivos ha rebasado con mucho lo hecho en otros países. En el ciclo agrícola primavera-verano (PV) del año 1999, la Secretaría de Agricultura, a través de su Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de la Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal, A.C., en colaboración con el Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno-UNAM, llevó a cabo la inoculación de alrededor de 450,000 hectáreas de maíz y 150,000 hectáreas de sorgo, cebada y trigo, empleando cepas de *Azospirillum*.

Existe una amplia investigación en *Azospirillum*, respecto a la fijación de nitrógeno y al efecto en los cultivos, pero no se encontró información cuantitativa del aumento de  $N-NO_3$  en la solución del suelo, que permita reducir la aplicación de fertilizantes nitrogenados, sin detrimento del rendimiento y calidad de los cultivos.

Para este estudio se eligió el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*), porque es uno de los cultivos de mayor importancia en México, después del tomate, chile y papa (SIAP, 2013)

### **1.1 Objetivo**

Este trabajo se realizó con el objetivo de medir el aporte de N-NO<sub>3</sub>, a la solución del suelo en relación a la adición exógena de *Azospirillum sp* y su efecto en el cultivo de cebolla de rabo.

### **1.2 Hipótesis**

La adición exógena de *Azospirillum sp*, aumentará el contenido de NO<sub>3</sub>, en la solución del suelo y compensará la disminución de nitrógeno en la solución reducida.

### **1.3 Justificación**

La cuantificación del aporte de N-NO<sub>3</sub>, a la solución del suelo en relación a la adición exógena de *Azospirillum sp*, permitirá reducir el uso de fertilizantes nitrógenados, sin detrimento de la productividad y calidad de los cultivos. Lo cual posibilitará un uso más eficiente de dichos fertilizantes.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos Generales de *Azospirillum*

#### 2.1.1 Identificación

El género *Azospirillum* sp., pertenece a la subclase alfa de las proteobacterias de la familia *Rhodospirillaceae*, siendo *A. lipoferum* la especie tipo (Young, 1992).

Una de las características fenotípicas más ampliamente usada como criterio para el reconocimiento tentativo del género *Azospirillum* es el color rojo escarlata que toman las colonias (Fig. 1) al crecer en un medio adicionado del colorante rojo Congo (Rodríguez-Cáceres, E. 1982).



**Figura 1.** Colonia rojo escarlata del *A. brasilense* o rojo Congo.

Otras de las Características útiles en la identificación rutinaria son la forma vibroide, el pleomorfismo y su movilidad en espiral, las células contienen cantidades elevadas de poli- $\beta$ -hidroxibutirato (PHB), hasta 50% del peso seco celular (Okon & Burris, 1976).



**Figura 2.** Morfología celular de *Azospirillum brasilense*.

Las bacterias del género *Azospirillum sp.*, tienen la capacidad de producir auxinas, citoquininas y giberelinas en medios de cultivo. No obstante, el mecanismo analizado con mayor amplitud ha sido la producción de auxinas, que puede modificar el contenido de fitohormonas de las plantas conduciendo a la estimulación del crecimiento de las mismas, como el caso del Ácido Indol Acético (AIA), el cual induce al aumento de pelos radiculares, logrando una mayor captación de nutrimentos (Döbereiner, J. 1992).

Se considera que es una de las rizobacterias que promueven el crecimiento de las plantas, tiene aplicaciones en la agricultura y además

es un organismo modelo en la genética de las bacterias asociados con las plantas en general, es utilizado como abono biológico

### 2.1.2 Antecedentes

*Spirillum lipoferum*, ahora llamado *Azospirillum sp*, fue descrito por primera vez en 1925 por Martinus Willem Beijerinck, luego la bacteria permaneció en el olvido por varias décadas. Las observaciones de Juan José Peña-Cabriales y Johanna Döbereiner en 1973, inician la época moderna de este microorganismo.

Hiltner en 1904, observó por primera vez la acumulación de microorganismos en la zona radical y propuso el término rizósfera. Los exudados radiculares, conformados por sustancias diversas crean alrededor de las raíces, un ambiente nutricional enriquecido que favorece el crecimiento bacteriano. (Smith, *et al*; 1978), reportan la presencia de carbohidratos y aminoácidos, y señalan que la composición y cantidad de exudados varía con la especie presente y las condiciones abióticas, tales como agua y temperatura.



**Figura 3.** Colonización de las raíces en gramíneas por bacterias del género *Azospirillum sp*.

La primera especie del género *Azospirillum* fue aislada por parte de Martinus Beijerinck (1925) en suelos pobres en nitrógeno de los Países Bajos, originariamente recibió el nombre de *Spirillum lipoferum*. Más tarde esta bacteria fue aislada por Schroder (1932) del suelo y de algas marinas secas en Indonesia, y las observaciones de Peña-Cabriales y Döbereiner son las que iniciarían la época moderna de esta bacteria (Döbereiner, J. 1983). Desde entonces *Azospirillum sp* se ha aislado de numerosas gramíneas silvestres y se comenzó a cultivarse en cereales y leguminosas de climas tropicales, subtropicales y templados de todo el mundo.

Actualmente son reconocidas seis especies en el género *Azospirillum*. Las dos primeras en ser descritas fueron *A. lipoferum* y *A. brasilense* (Tarrand, J. J., N. R. Krieg, and J. Döbereiner. 1978), siendo éstas las más ampliamente estudiadas. Posteriormente fueron descritas las especies *A. amazonense*, *A. halopraeferans*, *A. irakense* y *A. largomobile* siendo el nombre de esta especie corregido a *A. largimobile* (Smith, *et al*; 1978).

Pocos años después del redescubrimiento de *Azospirillum sp* y hasta alrededor de 1993, este género fue el más estudiado entre las bacterias asociadas a plantas.

### **2.1.3 Importancia de la Bacteria *Azospirillum***

La bacteria de *Azospirillum* tiene la capacidad para estimular el crecimiento de las plantas y de aumentar el rendimiento de los cereales promoviendo numerosos estudios sobre la ecología, fisiología y genética de esta bacteria. En la actualidad su uso comercial comienza a extenderse en diferentes países, incluido México.

Aspectos de la genética de *Azospirillum* y de los genes que participan en la interacción con las raíces de las plantas, así como los involucrados en la fijación, asimilación y regulación de nitrógeno han sido revisados recientemente por Steenhoudt y Vanderleyden. (Steenhoudt, O., and J. Vanderleyden. 2000).

Las bacterias que ejercen efectos benéficos en el desarrollo y producción de la planta son llamadas rizobacterias promotoras del crecimiento. (Canbolat, et al 2006; Kloepper, 1993). Este tipo de bacterias son capaces de colonizar las raíces, convertir el N atmosférico en amonio, solubilizar el P inorgánico a P soluble y disponerlo para las plantas (Rivera y Trujillo, 2008). Se les llama a las bacterias fijadoras de N diazotroficas y se les clasifica como *Azospirillum*, *Azotobacter* o *Pseudomonas sp.* (Marschner, 1995).

Las bacterias que afectan el crecimiento en plantas, son de diferentes grupos de varias especies que pueden incrementar el crecimiento y productividad vegetal. Entre los organismos más conocidos están las especies pertenecientes a los géneros *Rhizobium*, *Pseudomonas*, y *Azospirillum*. Estas pueden clasificarse en 2 grupos: (I) bacterias promotoras de crecimiento en plantas. (II) bacterias promotoras de crecimiento en plantas con capacidad de control biológico (Bashan y Holguin, 1998)

#### **2.1.4 Efecto de *Azospirillum* en la Raíz**

Una vez que las células se han adaptado a las condiciones del ambiente rizosférico y han logrado llegar a la superficie de las raíces, debido a sus características químicas y aerotácticas, se iniciará el establecimiento de la asociación. Diferentes estudios han mostrado que *Azospirillum* tiene la capacidad para adherirse a las raíces de plantas gramíneas como el mijo (*Pennisetum purpureum*) y *Digitaria decumbens*, trigo, maíz (Gafny, et al; 1986), así como a las raíces de

plantas de otras familias que incluyen al algodón y tomate, e incluso a superficies inertes como poliestireno y arena.

La asociación de *Azospirillum sp* con las raíces de las plantas se desarrolla en dos etapas completamente independientes, la primera consiste en una adsorción rápida, débil y reversible, la cual es dependiente de proteínas de la superficie bacteriana del tipo de las adhesinas en conjunto con la participación del flagelo polar. La segunda fase consiste de un anclaje lento pero firme e irreversible que alcanza su máximo nivel 16 h después de la inoculación, el cual parece ser dependiente de un polisacárido extracelular de *Azospirillum sp* (Michiels, K. W., C. L. Croes, and J. Vanderleyden, 1991).

La inoculación de raíces de trigo con una cepa de *Azospirillum* que expresa constitutivamente el gen reportero *gusA* mostró que en los primeros días de la asociación las células bacterianas colonizan específicamente los sitios de emergencia de las raíces laterales y las regiones de los pelos radicales, tanto de la raíz primaria como de las raíces secundarias y posteriormente la superficie de la raíz (VandeBroek, *et al*; 1993).

En plantas de trigo fue observado que la inoculación de *Azospirillum* induce cambios en la morfología de los pelos radicales, siendo éstos cambios significativamente mayores que los causados por *Rhizobium leguminosarum* o *Azotobacter chroococcum*, los cuales son mínimos (Jain, D. K., and D. G. Patriquin. 1984).

## **2.2 Nitratos en la Solución del Suelo**

### **2.2.1 Nitratos**

Los nitratos son sales o ésteres del ácido nítrico  $\text{HNO}_3$ , el nitrato es un compuesto inorgánico formado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es  $\text{NO}_3$ . El nitrato no es normalmente peligroso para la salud humana a menos que sea reducido a nitrito ( $\text{NO}_2$ )

### **2.2.2 Integración de Nitratos en el Suelo**

Los nitratos son una parte esencial de los abonos. Las plantas los convierten de nuevo en compuestos orgánicos nitrogenados como los aminoácidos. Muchas plantas acumulan los nitratos en sus partes verdes y si se aprovechan como alimentos cocidos existe el peligro de que otros organismos los convierta en nitritos por reducción, que a su vez producen nitrosaminas que son cancerígenas. Por eso se recomienda, por ejemplo, no recalentar las espinacas que suelen tener un cierto contenido en nitrato (Pimpini *et al.*, 2000).

### **2.2.3 El Nitrógeno en el Suelo y en la Planta.**

El nitrógeno como elemento esencial para el crecimiento de las plantas, se encuentra en el aire, disuelto en el agua y en el suelo en forma de compuestos orgánicos (98%) y minerales (2%). En la naturaleza existen dos formas principales de nitrógeno, una (inmediata) constituida por los nitratos del suelo y otra (mediata), que corresponde al nitrógeno atmosférico; esta última forma elemental es fijada por microorganismos del suelo, de vida libre (aeróbicos o anaeróbicos), o por aquéllos que viven en simbiosis en las raíces de las distintas especies (Albornoz, 2000).

La alta disponibilidad hídrica del suelo favorece la absorción del ion nítrico en la planta, mientras que una elevada humedad de la atmósfera, al reducir el proceso de pérdida de agua a través de la transpiración, disminuye la velocidad de absorción de los nitratos. Es el caso de los cultivos protegidos, donde aumenta la temperatura, la humedad relativa, y la concentración de CO<sub>2</sub> sin disminuir la actividad fotosintética, disminuye la absorción de nitratos (Seitz, 1986).

#### **2.2.4 Nitratos en Especies Hortícolas**

Con la finalidad de atenuar la acumulación de nitratos en los vegetales, es necesario programar correctamente la fertilización nitrogenada teniendo en cuenta lo siguiente:

- El requerimiento de N del cultivo.
- El N mineral presente en el suelo.
- El N derivado de la sustancia orgánica.
- El N nítrico y amoniacal presente en el agua de riego.

Una programación racional debe basarse también en el ritmo de absorción de N en el curso del cultivo (Patrino, 1984)

A continuación se presenta una tabla de clasificación en cuanto al contenido en nitratos en diferentes especies hortícolas. (Tabla 1).

**Tabla 1:** Contenido de nitratos ( $\text{NO}_3$  mg  $\text{kg}^{-1}$ ) en la parte comestible de diferentes especies hortícolas.

<b>Bajo contenido</b>		<b>Contenido medio</b>	<b>Contenido alto</b>
< 500 mg/kg $\text{NO}_3$		500 - 1000 mg/kg $\text{NO}_3$	> 1000 mg/kg $\text{NO}_3$
Tomate	Arveja	Zanahoria	Lechuga
Berenjena	Poroto	Papa	arrepollada
Pimiento	Achicoria	Puerro	Espinaca
Pepino	Hongos	Coliflor	Remolacha
Melón	Camote	Repollo	Hinojo
Pepino	Maíz dulce		Perejil
Espárrago	Repollito de		Endibia
Cebolla	Bruselas		Rabanito
Sandía			Brócoli

(Fuente: Graifenberg *et al.*, 1993)

También se debe tener en cuenta la edad de la planta ya que varían durante el periodo de crecimiento (Patrino, 1984).

### 2.2.5 Nitratos en Hortalizas y el Consumidor

Los nitratos llegan al organismo humano por dos vías principales: los alimentos (en particular los vegetales) y el agua de bebida.

Los nitratos y nitritos son sales que se añaden a los alimentos, como es el caso de carnes y pescados para preservar sus cualidades nutritivas, organolépticas y a la vez proteger al consumidor de una enfermedad de alto riesgo como es el botulismo.

Los vegetales son la fuente principal de incorporación de nitratos a través de los alimentos, aportando más del 80 % en la ingesta diaria, fundamentalmente a través de raíces, hojas y tallos, mientras que la contribución por ingesta de cereales y frutas es muy baja de igual forma se debe sumar al total de la ingesta (Pimpini *et al.*, 2000).

## 2.3 Generalidades del Cultivo de la Cebolla (*Allium cepa* L.)



**Figura 4.** Cebolla de Rabo

### 2.3.1 Descripción Botánica

Cebolla, nombre común de un género de hierbas bianuales de la familia de las Liliáceas, nativo de Asia central pero cultivado en regiones templadas y subtropicales desde hace miles de años. La verdadera cebolla es una planta bulbosa con hojas cilíndricas largas, huecas y engrosadas en la base que constituyen la mayor parte del bulbo. Las flores, blancas o rosadas y dispuestas en umbelas, tienen seis sépalos, seis pétalos, seis estambres y un solo pistilo. Los frutos son pequeñas cápsulas llenas de semillas muy pequeñas. Ciertas variedades forman en lugar de flores unos bulbillos que pueden enterrarse para obtener nuevas plantas.

La planta de la cebolla contiene esencias volátiles sulfurosas que le confieren el sabor picante característico; uno de los componentes de estas esencias se disuelve con rapidez en agua y produce ácido sulfúrico; éste puede formarse en la película lacrimal que recubre el ojo, y por eso se llora al cortar cebolla. Las plantas se dejan madurar en el

campo hasta que la parte aérea empieza a curvarse y se rompe. Entonces se sacan los bulbos y se extienden en el suelo o se cuelgan a secar. Una vez secos, se transportan o almacenan en bolsas de malla para mantenerlos bien aireados y evitar que broten (Carrasco, 2001).

La cebolla pertenece a la familia de las liliáceas, es una planta bienal de días largos, existiendo variedades e híbridos para días cortos que se adaptan a latitudes de Centroamérica. Posee un bulbo tunicado con tallos erguidos subterráneos, hojas redondas y acanaladas, con flores actinomorfas hermafroditas; Las hojas inferiores o catáfilos se encuentran siempre en las partes inferiores subterráneas (Bulbos, rizomas) en formas de escamas y casi nunca tienen coloración verde. Están desprovistas de pecíolo y se unen al tallo por una amplia base; son paralelinervias, y el borde, generalmente es entero. La cebolla está formada por catáfilos. Se cultiva para el aprovechamiento de sus bulbos. El valor nutritivo de la cebolla es muy bajo, siendo sus principales vitaminas la A y la C. Presenta raíz fasciculada o fibrosa, carece de raíz principal. Las raicillas salen del mismo sitio dando el aspecto de una cabellera (Heissen y Rodríguez 1998).

### **2.3.2 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 Bulbificación**

- 6 • Diámetro de bulbo de 2.5 a 4.0 cm (110 a 130 dds)
- 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 internación del bulbo adulto; entonces el bulbo produce un brote o tallo de semilla y umbela que produce semilla verdadera después de la fertilización. (Schwartz y Cramer 2011)

### **2.3.3 Importancia Económica y Distribución Geográfica**

La superficie total plantada de cebolla en el mundo asciende a más de 2 millones de hectáreas, produciéndose 32.5 millones de toneladas. En la Unión Europea se producen anualmente unos 3 millones de toneladas de esta hortaliza, en 95.000 ha de superficie. Europa es el único continente productor que importa (1.600.000 t) bastante más de lo que exporta (1.100.000). Los grandes importadores de cebolla europeos (Francia y Alemania) están incrementando rápidamente su producción. En Alemania la producción de cebolla aumenta a un ritmo del 5%.

Fuera de Europa, países como China están incrementando la producción. En los últimos cinco años, Nueva Zelanda ha triplicado su producción. En América, los principales países productores son: México, Ecuador, Jamaica y Paraguay.

Situación internacional de acuerdo a las estimaciones de la FAO, la cebolla es la segunda hortaliza más cultivada en el mundo (después del tomate), alcanzando en el año 2011 más de 4,3 millones de hectáreas cosechadas y una producción de 86 millones de toneladas (ODEPA, 2013).

**Tabla 2.** Superficie y volumen de producción de cebolla.

Superficie y volumen producido de cebolla 2011		
País	Superficie (miles ha)	Volumen (miles ton)
China	1.015	24.765
India	1.110	15.930
Estados Unidos	60	3.361
Irán	70	2.497
Egipto	64	2.304
Turquía	65	2.141
Rusia	96	2.123
Pakistán	148	1.940
Países bajos	30	1.541
Brasil	63	1.523
Otros países	1.644	28.220
Total	4.364	86.344

Fuente: elaborado por Odepa con información de la FAO 2013.

En esta escala el Chile ocupa el lugar 63° en superficie, con 6.368 hectáreas, y el lugar 40° en producción, con 294.926 toneladas, visualizándose que los rendimientos promedio alcanzados a nivel nacional superan a los de varios países (46 ton/ha, lo que le significa la posición 10°.

**Tabla 3.** Producción de cebolla en los primeros 10 estados de la República Mexicana (SIAP, 2013)

Ubicación	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Chihuahua	4,641.54	4,569.74	237,402.65	51.95	2,163.65	513,656.88
Coahuila	49.00	49.00	2,428.55	49.56	3,250.40	7,893.75
Zacatecas	4,163.50	3,879.50	145,087.00	37.40	1,612.56	233,961.21
Michoacán	3,730.50	3,718.50	128,420.57	34.54	3,459.20	444,232.26
Durango	420.50	412.50	13,388.00	32.46	3,387.18	45,347.60
San Luis Potosí	2,069.50	2,069.50	66,286.35	32.03	2,602.41	172,504.21
Aguascalientes	241.00	241.00	7,587.00	31.48	2,270.37	17,225.31
Tamaulipas	4,128.00	4,128.00	128,200.00	31.06	6,040.61	774,406.08
Querétaro	397.00	392.00	10,872.00	27.73	4,446.21	48,339.16
Morelos	3,292.60	3,292.60	91,242.61	27.71	5,127.43	467,839.7

Producción Agrícola.Ciclo: Cíclicos y Perennes 2013. Modalidad: Riego + Temporal

### **2.3.4 Requerimientos Edafoclimáticos**

Para el desarrollo ideal de esta planta la temperatura se debe ubicar entre los 18 y 28°C y el óptimo para la formación de cogollos está entre los 20 y 26°C. Es muy susceptible al frío y llega a paralizarse por debajo de los 8°C. La subida de la flor por ejemplo, suele ocurrir cuando se ve sometida a temperaturas menores de 12°C, (Heissen y Rodríguez 1998).

La cebolla es una planta tolerante a la acidez, prospera bien en suelos con un pH que varía entre 5.5. Y 6.8, prefiriendo suelos sueltos, profundos, fértiles y ricos en humus, debiendo tener un buen drenaje. (ECUARURAL 2001).

La cebolla se adapta a muy variadas condiciones de suelo, por lo que pueden emplearse diferentes métodos de cultivo según la variedad y la región que se trate. También soporta bien a una amplia variación de temperaturas desde 15°C a 28°C, siendo la mejor temperatura para la germinación y formación de los bulbos entre 20 a 25°C. (CEDEGE 2000).

La cebolla se adapta a diferentes tipos de temperatura; desarrolla bien en climas cálidos, templados y fríos, comprendidos entre los 50 y 300 metros de altura; produciéndose mejor en altitudes arriba de los 900 msnm., con ambiente seco y luminoso; temperatura ambiental entre los 18 y los 25 grados centígrados. Las condiciones ideales para el cultivo de la cebolla son temperaturas frescas se dan durante la etapa inicial del cultivo (11-22°C) y temperaturas cálidas durante la madures (13-24°C) Por lo tanto las temperaturas optimas fluctúan entre las 12-24°C (Suquilandia, 2003).

Abajo de los 18 °C de los bulbos no desarrollan bien obteniéndose únicamente crecimiento de los tallos, es foto periódica, siendo las de días cortos que desarrollan el bulbo con 10 a 12 horas luz. Prefieren suelos sueltos, sanos y profundos, ricos en materias orgánicas de consistencia media y no calcáreos, los aluviones de los valles siendo próximos al mar le van muy bien, es muy sensible al exceso de humedad, los cambios bruscos pueden ocasionar el agrietamiento de los bulbos.

Una vez que la planta ha iniciado el crecimiento disponible en los primeros 40cm la humedad del suelo debe mantenerse por encima del 60 % del agua, se recomienda que el suelo tenga buena retención de agua. La cebolla es medianamente sensible a la acidez oscilando el pH óptimo entre 6- 6.52.

La cebolla requiere una cantidad de agua durante su ciclo agrícola que oscila entre 500 a 750 mm y se reporta un promedio de 8 a 12 riegos durante todo su ciclo, recomendándose disminuir dichos riegos durante el desarrollo de sus bulbos con el objeto de concentrar más sólidos solubles (Agricultura de las Américas 2000).

### **2.3.5 Cultivares de Cebolla**

Existen numerosos cultivares de cebolla de acuerdo a su forma y coloración con un comportamiento que depende del carácter genético, pero varía de acuerdo con su adaptación a los diferentes climas y condiciones del suelo (Figueroa, 1988).

Los cultivares de cebolla con mayor variabilidad genética pueden ser productivos en condiciones ambientales muy diversas, por lo tanto

estos tendrán una amplia adaptación que se reflejará en un rendimiento más estable en los ambientes en que se prueben. (Hartley, 2000)

### **2.3.6 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, (Figuerola, 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.

#### **Fósforo (P)**

En cuanto al fósforo (P) responde positivamente al agregado de fertilizantes en suelos con niveles bajos a moderados, las dosis utilizadas son 30 a 40 kg/ha de P y el momento adecuado es pre siembra o pre-trasplante.

#### **Azufre (S)**

El azufre (S) cumple un papel importante en las cebollas pungentes, ya que constituye los compuestos aromáticos. En suelos deficientes se soluciona usando fertilizantes nitrogenados como el sulfato de amonio (Villa García, S.; Aguirre, G.1994).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del Área de Estudio

El presente trabajo se realizó durante el periodo de octubre 2012 a marzo 2013, en el área de campo abierto del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México. Geográficamente a 101° 1' 33'' de longitud Oeste y 25° 20' 57'' latitud norte del meridiano de Greenwich, con una altitud de 1743 m.s.n.m. (Agrometeorología, 2015).

#### 3.2 Descripción de Tratamientos

Tomando como base la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961), se evaluaron cuatro tratamientos 1). Solución nutritiva completa, 2).- Solución nutritiva reducida 39.52% en nitrógeno, 3) Solución nutritiva reducida 39.52% en nitrógeno + *Azopirillumsp* sp y 4).- Testigo. En cuatro, 8 repeticiones y con tres submuestreos en las variables de crecimiento. Cada repetición constó de 1 surco de 3 metros de longitud y 0.90 cm entre surcos, plantados a doble hilera.

#### 3.3 Descripción del Material Experimental

Se utilizó la semilla de la cebolla blanca de la variedad White Grano. La planta se produjo en almácigo, durante el periodo del 11 de octubre al 20 de noviembre del 2012. Se plantó a doble hilera a 20 cm entre hileras y 10 cm entre plantas y se trasplantó a los 50 días después de siembra (dds). 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 sp*:** Se utilizó una cepa de *Azospirillum sp*, proporcionada por la Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal. La dosis equivalente a 5 L.ha<sup>-1</sup>, se diluyó en 5 litros de agua y se distribuyó uniformemente en el surco al centro de las hileras del cultivo de la cebolla.

### **3.4 Variables Evaluadas**

#### **Contenido de Nitratos en la Solución del Suelo**

Los nitratos se midieron con un ionómetro marca Horiba® modelo Twin. La solución del suelo se obtuvo a los 10 minutos después del riego y a una profundidad de 15 cm, con un lisímetro marca Irrrometer® y el extracto de los peciolo mediante maceración de las hojas verdaderas.

**Numero de hojas verdaderas.** Se tomaron 3 plantas al azar de cada repetición y se contó el número de hojas verdaderas

**Longitud y grosor de hoja:** De 3 plantas del muestreo anterior, se midió la longitud y ancho de la hoja con mayor desarrollo.

**Peso fresco de hojas, bulbo y raíz:** Se cortaron la raíz, el bulbo a la altura del “Cuello” y se pesó la raíz, bulbo y hojas por separado.

#### **Variables de rendimiento y calidad**

**Peso de bulbo.** Se cosecharon las plantas restantes, a las que se les eliminó la raíz y el resto de las hojas (Rebotar), después se contaron los bulbos y se pesaron

**Ancho y largo del bulbo:** Se tomaron 3 bulbos de cada repetición y se midió la longitud y diámetro con un vernier electrónico marca Auto tec.

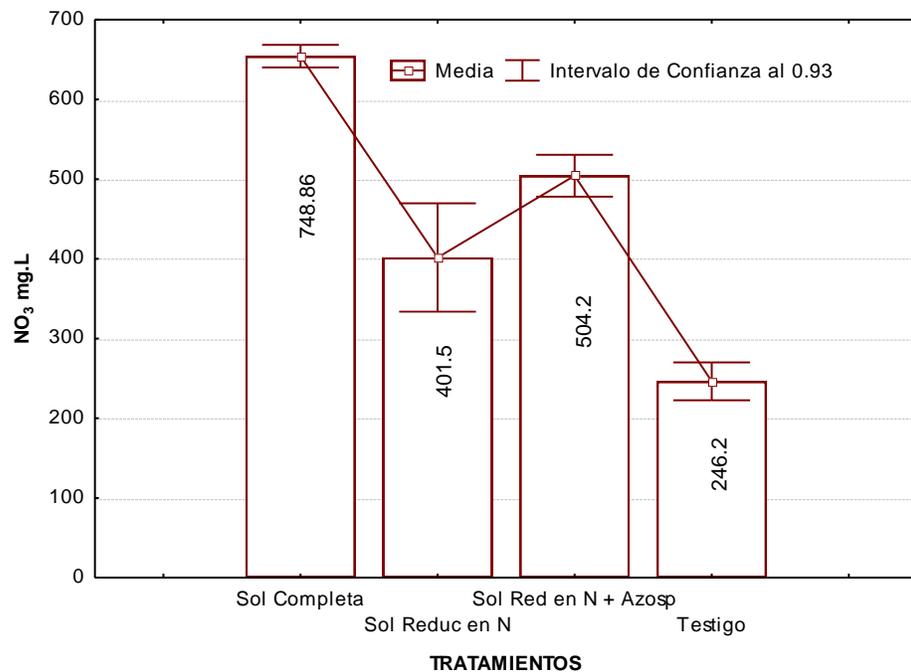
### **3.5 Análisis Estadístico de los Datos**

Los datos se analizaron mediante el modelo de bloques completos al azar, con repeticiones de acuerdo a la variable específica, (Zar, 1996) usando el paquete estadístico STATISTICA versión 7.0 para Windows.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Concentración de Nitratos en la Solución del Suelo

La adición exógena al suelo de *Azospirillum sp*, aumentó la concentración de nitratos en la solución del suelo (figura 1). En este estudio se utilizó la solución nutritiva Steiner (Steiner 1961) y en la fertilización reducida, el N-NO<sub>3</sub> se redujo 39.4 %, como resultado del suministro de P, K, Ca y Mg, con fertilizantes comerciales. Se observó que la adición de *Azospirillum sp* en los tratamientos con solución reducida aumento la concentración de nitratos en un 20.37%, compensando en parte el déficit de nitrógeno, necesario para el desarrollo adecuado del cultivo.



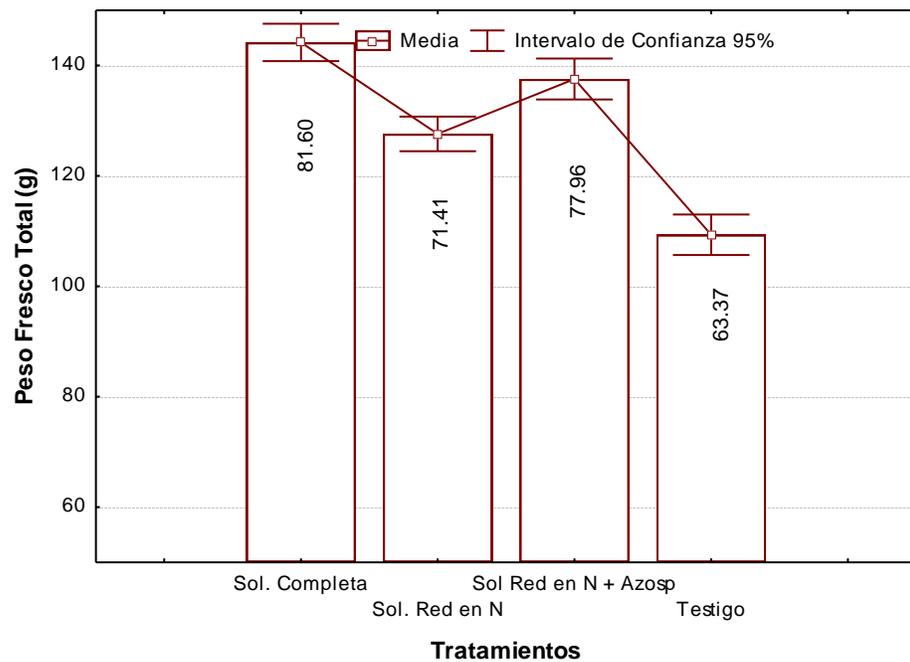
**Figura 5.** Concentración de nitratos en la solución del suelo en relación a la solución nutritiva y la adición de *Azospirillum sp*.

Estos resultados pueden estar relacionados a la capacidad que tiene *Azospirillum sp* de nitrificar el amoníaco proveniente de la descomposición de la materia orgánica o el nitrógeno en forma de amonio de la atmosfera (Grageda *et al*, 2000).

## 4.2 Crecimiento del Cultivo de la Cebolla de Rabo

### 4.2.1 Peso Fresco Total

El peso fresco total de la planta también aumentó, con la adición exógena de *Azospirillum sp*, el incremento fue de un 8.41 % con relación a la solución reducida en nitrógeno. Lo cual indica que al aplicar *Azospirillum sp*, se puede reducir la aplicación de fertilizantes nitrógenados en un 8.41%, sin detrimento de la producción de biomasa o crecimiento de la planta.



**Figura 6.** Efecto de la reducción de nitrógeno y la adición de *Azospirillum sp*, sobre el peso fresco total de la planta de cebolla a los 98 días después del trasplante.

Esta respuesta puede estar relacionada a la capacidad del *Azospirillum sp.*, para fijar nitrógeno a formas oxidadas como los nitratos, que son más asimilables para las plantas (Grageda *et al.*, 2000, Dobbeleare *et al.*, 2001), y a la relación del nitrógeno en forma de nitrato con el crecimiento vegetativo de las plantas (Bugarin, *et al.*, 1998).

#### 4.2.2 Crecimiento de Hojas Verdaderas o Fotosintéticas

El crecimiento de las hojas verdaderas de la cebolla, también fue afectado positivamente por la adición exógena del *Azospirillum sp.* Se observó que la aplicación de *Azospirillum*, compensó parcialmente el desarrollo de las hojas, cuando se aplicó solución reducida, respecto a la solución completa. Se observó también que el desarrollo de las hojas verdaderas estuvo relacionado a la concentración de nitratos en la solución del suelo. Dado que el nitrógeno está asociado al aumento en la biomasa de los cultivos (Villa-Castro *et al.* 2014), se esperaría que el desarrollo fuera proporcional a la concentración de nitratos, sin embargo, también es conocido que el nitrógeno de la solución del suelo es usado por otros organismos para su metabolismo.

**Tabla 4.** Media y desviación estándar del efecto de la reducción de nitrógeno y la adición de *Azospirillum sp.* en el desarrollo de las hojas de cebolla de rabo a los 98 días después del trasplante.

TRATAMIENTO	Hojas Verdaderas		
	Peso (g)	Grosor (mm)	Longitud (cm)
Sol. Completa	81.60±5.28	16.11±1.79	57.69±4.29
Sol. Red en N	71.41±5.87	12.33±2.63	50.67±4.83
Sol. Red en N + <i>Azosp</i>	77.96±7.84	15.03±1.41	50.66±3.57
Testigo	63.37±6.18	11.21±1.41	46.79±3.30
	37.95-0.00*	35.17-0.00*	30.24-.00*

Red = Reducida, \* = Significancia al  $\geq 0.95$ , NS = No Significativo

### 4.2.3. Desarrollo del Bulbo

La calidad del bulbo evaluada como peso, longitud y grosor, también aumento con la adición de *Azospirillum* y tuvo un comportamiento similar al desarrollo de las hojas verdaderas. El bulbo de las cebollas se constituye por la modificación de la parte basal de las hojas verdaderas, la modificación consiste en la transformación de esta parte de las hojas a estructuras de reserva, y su crecimiento está sujeto al desarrollo de las hojas verdaderas. Es decir bajo condiciones normales, el desarrollo del bulbo depende del desarrollo de las hojas verdaderas y estas a su vez por el contenido de nitrógeno (INIFAP, 2006).

**Tabla 5.** Media y desviación estándar del efecto de la reducción de nitrógeno y la adición de *Azospirillum sp* en el desarrollo del bulbo de cebolla a los 98 días después del trasplante.

TRATAMIENTO	Bulbo		
	Peso (g)	Grosor (mm)	Longitud (cm)
Sol. Completa	51.04±3.95	48.47±3.98	7.78±0.54
Sol. Red en N	43.19±4.24	39.39±3.84	7.32±0.74
Sol. Red en N + <i>Azosp</i>	47.00±4.00	41.61±3.70	7.43±0.48
Testigo	32.14±6.81	36.63±3.15	6.29±0.55
	65.88-00 *	45.17-0.00 *	28.05-0.00 *

Red = Reducida, \* = Significancia al  $\geq 0.95$ , NS = No Significativo

### 4.2.4. Desarrollo de la Raíz

En el desarrollo de la raíz, fue afectado negativamente por la adición exógena de *azospirillum*. Se observó que el peso fresco de la raíz se redujo mientras que la longitud no fue diferente. Este resultado es diferente a lo reportado en la literatura, donde se menciona que *Azospirillum* promueve en desarrollo de raíces, por su acción disolvente de fosfatos y producción de reguladores de crecimiento como auxinas,

ácido Indolacético (AIA), citocininas, y proteínas como poli amina, los cuales estimulan el desarrollo radicular (Jungk y Albrecht, 2001, Villegas, 2010).

**Tabla 6.** Media y desviación estándar del efecto de la reducción de nitrógeno y la adición de *Azospirillum sp*, en el desarrollo de la raíz de cebolla a los 98 días después del trasplante.

TRATAMIENTO	RAIZ	
	Peso (g)	Longitud (cm)
Sol. Completa	11.53475±2.48	15.27188±3.03
Sol. Red en N	12.99525±2.15	15.66338±3.57
Sol. Red en N + <i>Azosp</i>	12.58492±2.75	15.56213±3.74
Testigo	13.82450±2.32	15.16188±3.61
Significancia (P≥0.05)	3.65-0.015 *	0.94-0.96 NS

Red = Reducida, \* = Significancia al  $\geq 0.95$ , NS = No Significativo

#### 4.2.5 Datos Agronómicos de la Cebolla Cristal White Cosechada como Cebolla de Rabo

Como información adicional, la cebolla variedad. Cristal White, cosechada para rabo a los 98 días después del trasplante, tuvo una altura de 55.0 cm del cuello al ápice de las hojas con mayor desarrollo, un grosor de la parte media de las hojas de 15.50 mm.

La planta completa peso 137.0 g, de los cuales 12.0 g fueron de raíz, 45 gr de bulbo y 80 g de hojas verdaderas “rabo”. La raíz midió 15.4 cm, el bulbo 7.5 cm de largo y 4.13 cm de grosor.

#### **4.2.6 Correlación simple de Spermán de las Variables de Estudio.**

Al realizar la correlación de la concentración de nitratos en la solución del suelo, con las variables de crecimiento y productividad de la cebolla de rabo, se encontró que, existe una relación positiva entre la concentración de nitratos con el peso fresco total, peso de hojas y bulbo y una relación negativa con el peso de raíz.

**Tabla 7.** Correlación simple de Spermán, de las variables de estudio.

		Hojas			Bulbo			Raíz		Peso Fresco Total	Nitratos (NO <sub>3</sub> )
		Peso	Grosor	Longitud	Peso	Longitud	Grosor	Peso	Longitud		
<b>Peso Fresco</b>	Total	0.933	0.831	0.797	0.930	0.610	0.738	-0.621	0.184	1.000	0.863
<b>HOJAS</b>	Peso	1.000	0.839	0.777	0.784	0.564	0.649	0.579	0.272	0.933	0.750
	Grosor	0.839	1.000	0.701	0.750	0.602	0.686	0.571	0.123	0.831	0.807
	Longitud	0.777	0.701	1.000	0.704	0.677	0.701	0.462	0.019	0.797	0.727
<b>BULBO</b>	Peso	0.784	0.750	0.704	1.000	0.544	0.682	-0.749	0.124	0.930	0.843
	Longitud	0.564	0.602	0.677	0.544	1.000	0.717	-0.340	-0.330	0.610	0.714
	Grosor	0.649	0.686	0.701	0.682	0.717	1.000	-0.303	-0.105	0.738	0.782
<b>RAIZ</b>	Peso	-0.579	-0.571	-0.462	-0.749	-0.340	-0.303	1.000	-0.142	-0.621	-0.523
	Longitud	0.272	0.123	0.019	0.124	-0.330	-0.105	-0.142	1.000	0.184	-0.146
<b>NO<sub>3</sub></b>		0.750	0.807	0.727	0.843	0.714	0.782	-0.523	-0.146	0.863	1.000

## V. CONCLUSIONES

La adición exógena de *Azospirillum sp* al suelo cultivado con cebolla de rabo, aumentó la concentración de nitratos en la solución del suelo y aumentó el peso fresco total y la calidad de la cebolla de rabo y tuvo un efecto negativo en el peso fresco de la raíz.

En este estudio se encontró que la fertilización nitrogenada se puede reducir en 8.41%, sin detrimento de la productividad y calidad del cultivo de cebolla de rabo.

## VI. BIBLIOGRAFIA

**Agricultura de las Américas** (2000). Fertilidad, manejo de suelos y nutrición mineral del azufre bajo diversas condiciones de clima, suelo, cultivos y nivel tecnológico de la agricultura andina. Cuadros resumen de los resultados experimentales de campo, invernadero y laboratorio durante la campaña. 152 pp.

**Agrometeorología**. 2015. Base de datos del clima. Departamento de Agrometeorología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Buenavista Saltillo, Coahuila. México.

**Albornoz**, L. 2000. Contenido de nitratos en deshidratado de espinaca Tesis de grado. Licenciatura en Bromatología. Facultad de Ciencias Agrarias, UN de Cuyo, Mendoza 82 pp.

**Arzanesh** A.S, R.R Pires, P.G. Rabelo, R.C. Oliveira, J M.Q. Luz y C.H. Brito. 2010. Implications of *Azospirillum brasilense* inoculation and nutrient addition on tomato in soils of the Brazilian Cerrado under green house and field conditions. *Applied soil ecology* 72: 103-108.

**Askary** 2009. Biofertilizantes con base en *Azospirillum* y Micorriza activan el desarrollo radicular en Trigo. In: Clarin.com, Argentina, 13 de mayo de 2010.

**Bare y rivera** 2010. Biofertilizantes con base en *Azospirillum* y Micorriza activan el desarrollo radicular en Trigo. In: Clarin.com, Argentina, 13 de mayo de 2010.

**Bugarín** M. R., G. A. Baca C., J. Martínez H., J. L. Tirado T. y A. Martínez G. 1998. Amonio/nitrato y concentració níónica total de la solución nutritiva en crisantemo. *Terra* 16 (2): 113-124.

**Carrasco**, O. 2001. Guía completa para el cultivo y cuidado hortalizas. Pag. 71-73.

**CEDEGE** (2000) (Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Rio Guayas y la Península de Santa Elena). Departamento de Suelos y Fertilizantes. Guayaquil, Ec.142 pp. Consultado en febrero del 2015.

**Dobbeleare**, 2001. Ten years *Azospirillum*, p. 9-23. En W. Klingmüller (ed.), *Azospirillum* II: Genetics, physiology, and ecology. Birkhauser, Basel Switzerland.(Experiential supplementum, 48).

**Döbereiner**, J. 1983. Ten years *Azospirillum*, p. 9-23. En W. Klingmüller (ed.), *Azospirillum* II: Genetics, physiology, and ecology. Birkhauser, Basel Switzerland. (Experiential supplementum, 48).

**Döbereiner**, J. 1992. The genera *Azospirillum* and *Herbaspirillum*, p. 2236-2253. En A. Balows, H. G. Trüper, M. Dworkin, W. Harder and K.-H. Schleifer (ed.), the prokaryotes. A handbook on the biology of bacteria: ecophysiology, isolation, identification, applications. Springer-Verlag. New York.

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

**ECUARURAL.** 2001. Diagnóstico Participativo: Validación, transferencia de tecnología y capacitación para el mejoramiento de la producción, productividad y calidad de la cebolla perla en Manabí. Portoviejo. Ec.

**Elein,** F.; Filippini, M.F.; Gennari, A. 2005. La qualità del prodotti frutiorticoli. Curso de posgrado. Maestría de Hoeticultura. FC Agrarias, Mendoza.

**Ferreira** A.S, R.R Pires, P.G. Rabelo, R.C. Olveira, J M.Q. Luz y C.H. Brito. 2013. Implications of *Azospirillum brasilense* inoculation and nutrient addition on maize in soils of the Brazilian Cerrado under greenhouse and field conditions. *Aplied soil ecology* 72: 103-108.

**Figueroa,** G. 1988. Guía para productores de cebolla perla ecuatorianos. Guayaquil, Ec. p. 36.

**Gafny,** R.,Y. Okon, Y. Kapulnik, and M. Fischer. 1986. Adsorption of *Azospirillum brasilense* to corn roots. *Soil Biol. Biochem.* 18:69-75.

**Grageda,** Brindis, R., Sánchez, García, P., Peña, Lomelí, A., Alcántar, González, G., Baca, Castillo, G., López, Romero, R. M. 2000. Niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de N-NO<sub>3</sub> en el extracto celular de pecíolos de tomate de cáscara. *Terra Latinoamericana.* 18 (2):141-145.

**Graifenberg,** A.; Barsanti, L.; Botrini, L.; Temperini, O. 1993. La problemática de nitrato. *Suplemento L Informatore Agrario* 6: 43-48

**Hartley**(2000), Centro del Comercio Internacional. UNCTAD/OMC. Guayaquil, Ec.

**Heissen y Rodríguez** (1998). Factores condicionantes de la calidad de la cebolla perla. Venezuela. Consultado, 20 de nov. 2007. [http://www.odepa.cl/wpcontent/files\\_mf/1388506931mercadoCebolla2013.pdf](http://www.odepa.cl/wpcontent/files_mf/1388506931mercadoCebolla2013.pdf).

**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.

**INFOAGRO** (Sistema de Información del Sector Agropecuario Costarricense). 2000. el cultivo de la cebolla <http://www.infoagro.com/hortalizas/cebolla.htm> consultado en febrero del 2015.

**INIFAP** (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pesqueras) 2006. Manejo de densidades para producir el tamaño y peso de cebolla requerido por el mercado. Fichas tecnológicas en sistema de producción en cebolla. 1-2 pp. Consultado en abril del 2015.

**Jain, D. K., and D. G. Patriquin.** 1984. Root hair deformation, bacterial attachment, and plant growth in wheat-*Azospirillum* associations. *Appl. Environ. Microbiol.* 48:1208-1213.

**Jungk y Albrecht.** (2001) Movimiento de nutrientes a la interfase suelo-raíz. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, jun. 2001, vol.1, no.1, p.1-18. ISSN 0718-2791.

**Kapulnik, Y., Y. Okon, and Y. Henis.** 1985. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation. *Can. J. Microbiol.* 31:881-887.

**López,** (2008) Brindis, R., Sánchez, García, P., Peña, Lomelí, A., Alcántar, González, G., Baca, Castillo, G., López, Romero, R. M. 2008. Niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de N-NO<sub>3</sub> en el extracto celular de pecíolos de tomate de cáscara. Terra Latinoamericana. 18 (2):141-145.

**Mia** M. R., G. A. Baca C., J. Martínez H., J. L. Tirado T. y A. Martínez G. 2010. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en plátano. Terra 16 (2): 113-124.

**Michiels,**K. W., C. L. Croes, and J. Vanderleyden. 1991. Two different modes of attachment of *Azospirillum brasilense* Sp7 to heat roots. J. Gen. Microbiol. 137:2241-2246.

**ODEPA** (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias) 2013 situación del mercado de la cebolla, diciembre 2013.

**Okon,** Y.,S. L. Albrecht, & R. H. Burris. Carbon and ammonia metabolism of *Spirillum lipoferum*, 1976.J. Bacteriol.128: p. 592-597

**Patruno,** A. 1984, Influenza del fattori agronomicis ulcontenuto di nitrati neiprodotti agricoli. Riv. Di Agron. 2:79-91

**Pimpini,** F.; Filippini, M.F.; Gennari, A. 2000. La qualità del prodotti frutiorticoli. Curso de posgrado. Maestría de Hoeticultura. FC Agrarias, Mendoza.

**Quevedo,** F. 2004. (s/a) Fertilidad del Suelo. Los Río, Ec. 224 pp.

**Reyes;** Narovis Rives; Mayra Heydrich; Annia Hern\u00E1ndez. 2008. efecto promotor del crecimiento vegetal de cepas de *Azospirillum* sp. En el cultivo del pimiento, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas 28: 29 - 32

**Rodríguez-Cáceres, E.** 1982. Improved medium for isolation of *Azospirillum spp.* Appl. Environ. Microbiol. 44:990-991.

**Schwartz H.F y C.S. Cramer** 2011. Etapas de Desarrollo del Bulbo en Cebolla. Onion ipmPIPE Diagnostic Pocket. Series (2):1-16.

**Seitz P.** 1986. La problemática de nitrato en horticultura. Colture Protette 10:17-24

**SIAP** (Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Producción Agrícola de Cebolla 2013. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. Consultado en febrero del 2015.

**Smith, R. L., S. C. Schank, J. H. Bouton, and K. H. Quesenberry.** 1978. Yield increase of tropical grasses after inoculation with *Spirillum lipoferum*. Ecol. Bull. (Stockholm) 26:380-385.

**Steenhoudt, O., and J. Vanderleyden.** 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects FEMS Microbiol. Rev. 24:487-506.

**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.

**Suquilandia,** 2003. Fertilización orgánica. Manual técnico. Ediciones UPS- UNDAGRO. Quito, Ec. p. 23-25

**Tamaro** (1968). Guía para el cultivo de hortalizas. Editorial Limiusa. Mx. 34.

**Tarrand**, J. J., N. R. Krieg, and J. Döbereiner. 1978. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. And *Azospirillum brasilenses* p. nov. Can. J. Microbiol. 24:967-980.

**VandeBroek**, A., J. Michiels, A. Van Gool, and J. Vanderleyden. 1993. Spatial-temporal colonization patterns of *Azospirillum brasilense* on the wheat root surface and expression of the bacterial nifH gene during association. Mol. Plant-Microbel interact. 6:592-600.

**Villa-Castro**; N. Mayek; J. García; J. L. Hernández-Mendoza. 2014. Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum sp.* Universidad de Colima Volumen: 18 Páginas: 33 - 38

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

**Villegas** 2010. Biofertilizantes con base en *Azospirillum* y Micorriza activan el desarrollo radicular en Trigo. In: Clarin.com, Argentina, 13 de mayo de 2010.

**Yanelis Acebo**; Narovis Rives; Mayra Heydrich; Annia Hernández. 2007. Efecto promotor del crecimiento vegetal de cepas de *azospirillum sp.* en el cultivo del arroz. Cultivos Tropicales, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas 28: 29 - 32

**Young**, J. P. W. 1992. Phylogenetic classification of nitrogen-fixing organisms, p. 43-86. En G. Stacey, R. H. Burris, and H. J. Evans (ed.), Biological Nitrogen Fixation, Chapman and Hall, New York, N. Y.

## APENDICE

ANALISIS DE VARIANZA PARA PESO DE LA HOJA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	18253.921875	6084.640625	26.7147	0.000
BLOQUES	7	4329.890625	618.555786	2.7158	0.016
ERROR EXP.	21	4783.046875	227.764130	2.4121	0.004
ERROR MUEST.	64	6043.265625	94.426025		
TOTAL	95	33410.125000			
C.V. = 35.799023 %					

ANALISIS DE VARIANZA PARA LONGITUD DE LA HOJA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	158.015625	52.671875	0.3679	0.779
BLOQUES	7	3925.406250	560.772339	3.9164	0.002
ERROR EXP.	21	3006.875000	143.184525	5.8854	0.000
ERROR MUEST.	64	1557.046875	24.328857		
TOTAL	95	8647.343750			
C.V. = 32.412567 %					

ANALISIS DE VARIANZA PARA GROSOR DE LA HOJA					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	1.676880	0.558960	0.2218	0.881
BLOQUES	7	96.723267	13.817610	5.4829	0.000
ERROR EXP.	21	52.923096	2.520147	5.1298	0.000
ERROR MUEST.	64	31.441528	0.491274		
TOTAL	95	182.764771			
C.V. = 36.308552 %					

ANALISIS DE VARIANZA PESO DEL BULBO					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	4752.171875	1584.057251	27.0542	0.000
BLOQUES	7	333.515625	47.645088	0.8137	0.580
ERROR EXP.	21	1229.578125	58.551338	5.7742	0.000
ERROR MUEST.	64	648.968750	10.140137		
TOTAL	95	6964.234375			
C.V. = 17.652405 %					

ANALISIS DE VARIANZA PARA LARGO DE BULBO					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	29.582031	9.860677	26.8308	0.000
BLOQUES	7	14.875488	2.125070	5.7823	0.000
ERROR EXP.	21	7.717773	0.367513	2.4136	0.004
ERROR MUEST.	64	9.745117	0.152267		
TOTAL	95	61.920410			
C.V. = 8.411916 %					

ANALISIS DE VARIANZA GROSOR DE BULBO					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	1841.765625	613.921875	22.9657	0.000
BLOQUES	7	98.140625	14.020089	0.5245	0.814
ERROR EXP.	21	561.375000	26.732143	2.8959	0.001
ERROR MUEST.	64	590.781250	9.230957		
TOTAL	95	3092.062500			
C.V. = 12.450799 %					

ANALISIS DE VARIANZA PARA PESO DE RAIZ					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	65.226563	21.742188	3.6896	0.016
BLOQUES	7	35.691406	5.098773	0.8653	0.540
ERROR EXP.	21	123.748047	5.892764	0.9730	0.507
ERROR MUEST.	64	387.616211	6.056503		
TOTAL	95	612.282227			
C.V. = 19.061872 %					

ANALISIS DE VARIANZA PARA LARGO DE RAIZ					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	4.019531	1.339844	0.1390	0.936
BLOQUES	7	612.027344	87.432480	9.0699	0.000
ERROR EXP.	21	202.437500	9.639881	1.2301	0.258
ERROR MUEST.	64	501.550781	7.836731		
TOTAL	95	1320.035156			
C.V. = 20.141764 %					

ANALISIS DE VARIANZA PARA PESO FRESCO TOTAL					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	16560.000000	5520.000000	90.7486	0.000
BLOQUES	7	910.750000	130.107147	2.1390	0.051
ERROR EXP.	21	1277.375000	60.827381	0.9604	0.521
ERROR MUEST.	64	4053.625000	63.337891		
TOTAL	95	22801.750000			
C.V. = 6.014584 %					

ANALISIS DE VARIANZA PARA NITRATOS EN LA SOLUCION DEL SUELO					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	1602708.000000	534236.000000	109.8347	0.00
BLOQUES	11	90918.000826	5.272461	1.6993	0.117
ERROR	33	160512.000000	4864.000000		
TOTAL	47	1854138.000000			
C.V. = 14.68%					

ANALISIS DE VARIANZA PARA NITRITOS EN LA SOLUCION DEL SUELO					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	3	55.096191	18.365396	9.0114	0.000
BLOQUES	11	17.027954	1.547996	0.7596	0.677
ERROR	33	67.254395	2.038012		
TOTAL	47	139.378540			
C.V. = 22.92%					