

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efectos de Enmiendas Minerales y Bacterias en el Enraizamiento y Crecimiento de Estacas de Coleus (*Solenostemon blumei*).

Por:

LUIS ARMANDO MORENO IBARRA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Octubre de 2020.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efectos de Enmiendas Minerales y Bacterias para el Enraizamiento y Crecimiento de Estacas de Coleus (*Solenostemon blumei*).

Por:

LUIS ARMANDO MORENO IBARRA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor Principal

Dra. Rosalinda Mendoza Vilareal
Coasesor

M.C. José Rafael Paredes Jácome
Coasesor

Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Octubre de 2020

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por darme la vida y ponerme los medios para desarrollarme como un buen estudiante, profesionista y persona.

A mi Alma Terra Mater por su gran aportación en mi formación y preparación ante los retos de mi vida profesional.

Al Dr. Armando Hernández Pérez por su gran apoyo, disposición y su valiosa asesoría para la realización de este trabajo de investigación, así mismo por su gran amistad que me brindo.

Al Dr. Leobardo Bañuelos Herrera por su gran apoyo que me mostro durante mi Desarrollo profesional.

A la Dra. María Magdalena Barrera Puentes por su gran apoyo y Amistad que me brindo durante mi estancia en la Universidad.

A todos los maestros que contribuyeron en mi formación, especialmente a todos los Ingenieros del Departamento de Horticultura.

A todos mis compañeros y amigos: Iván Cuevas, Rocha Rivera, Joel Gayosso, Juan Pablo Muciño (Mexican) y a la **NARRO** nunca los olvidare porque con ellos viví momentos muy especiales, siempre los recordaré con mucho cariño y afecto.

A todas aquellas personas que de una forma u otra me ayudaron a lograr una de las metas que mayor satisfacción me ha dado la vida... ser un profesionista.

Gracias.

DEDICATORIAS.

A mis padres

Sra. María Lorena Ibarra Pérez

Y

Sr. Luis Alberto Moreno Contreras

Por su gran amor y cariño, y claro porque han sido mi mayor soporte ante los retos que la vida me ha puesto. Si a ustedes quienes, con sus propios consejos, carácter y por su gran confianza me impulsaron a seguir siempre adelante.

Gracias, papás.

A mis hermanos quienes han sido una fuente importante para que este sueño se realizara, gracias carnales y especialmente a ti Byron, nunca olvidare todo el apoyo que me brindaste desinteresadamente.

Para que les sirva como un ejemplo más en la vida y así siempre tengan en mente que cuando se quiere hacer algo, se puede realizar aun y teniendo tantos retos que en la vida suelen presentarse. Espero que cuando estén grandes y comprendas estos renglones los tomen muy en cuenta.

A mí novia; Patricia Nakasima, gracias por tu apoyo incondicional durante toda mi carrera, siempre serás una de las personas más importantes en el camino que he recorrido durante mi vida universitaria y en mi vida personal.

Y a todas a aquellas personas que confiaron en mí y siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas.

Índice de contenido.

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
RESUMEN.....	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general:.....	3
Objetivos específicos:.....	3
Hipótesis:.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Origen del cultivo.....	4
Clasificación botánica.....	4
<i>Taxonomía</i>	4
Descripción botánica.....	4
Importancia del cultivo.....	5
Producción en maceta.....	5
Factores Climatológicos.....	7
Factores Edafológicos.....	7
Enmiendas minerales.....	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
Ubicación del experimento.....	14
Material vegetal.....	14
Tratamientos.....	14
Establecimiento y manejo del cultivo.....	15
Variables evaluadas.....	16
<i>Altura Planta (AP)</i>	16
<i>Longitud de Raíz (LR)</i>	16
<i>Diámetro de Tallo (DT)</i>	16
<i>Número de Hojas (NH)</i>	16
<i>Peso Fresco de la Planta (PFP)</i>	16

<i>Peso Fresco de la Raíz (PFR)</i>	17
<i>Peso Seco de la Planta (PSP)</i>	17
<i>Peso Seco de la Raíz (PSR)</i>	17
<i>Volumen de la Raíz (VR)</i>	17
Diseño experimental.	17
Análisis estadístico.	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
<i>Peso fresco de la planta (PFP)</i>	22
<i>Peso seco de la planta (PSP)</i>	23
<i>Longitud de Raíz (LR)</i>	25
<i>Peso Fresco de la Raíz (PFR)</i>	27
<i>Peso Seco de la Raíz (PSR)</i>	28
V. CONCLUSIONES.....	30
LITERATURA CITADA.....	31

Índice de cuadros

Cuadro 1. Composición química de la roca fosfórica.	8
Cuadro 2. Composición química de la Dolomita.	9
Cuadro 3. Modo de acción de las bacterias <i>Azospirillum</i>	12
Cuadro 4. Tratamientos aplicados en el cultivo de coleus.	15
Cuadro 5. Análisis de varianza y comparación de medias de las variables de crecimiento de la parte aérea de plantas de coleus con enmiendas minerales y bacterias.	19
Cuadro 6. Análisis de varianza y comparación de medias de las variables de crecimiento radicular de las estacas de plantas de coleus con enmiendas minerales y bacterias.	25

Índice de figuras

Figura 1.- Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en la altura de plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.	21
Figura 2 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en el número de hojas de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.	22
Figura 3 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en el peso fresco de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.	23
Figura 4 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en el peso seco de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.	24
Figura 5 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en la longitud de raíz de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.	26
Figura 6 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en el peso fresco de raíz de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.	27
Figura 7 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en el peso seco de raíz de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.	29

RESUMEN

El coleus es una planta ornamental, que puede ser cultivada principalmente en el jardín por su atractiva coloridas o belleza de sus hojas. Se trabajó con estacas de esta planta para mejorar su enraizamiento y crecimiento. En total se evaluaron 14 tratamientos, las enmiendas fueron incorporados al sustrato en contenedores de 5 pulgadas, con y sin bacterias a una concentración de 10^6 UFC. Las variables evaluadas en la planta de coleus fueron: Altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), peso fresco de la planta (PFP), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de la planta (PSP), peso seco de raíz (PSR), y volumen de raíz (VR). Se determinó que las aplicaciones de roca fosfórica a 1 g por maceta y sin bacterias incrementan la AP un (65.8%, PFP (67.3%), PSP (128.6%), NH (21.3%), y PSR (28.3%). Pero con 2 g de roca fosfórica más bacterias solo tuvo efecto sobre la longitud de raíz (52.5%) y número de hojas con y sin bacterias (24.3% y 29.5%). Las plantas tratadas con dolomita sin bacteria tuvieron efecto en la longitud de raíz con 1g (23.4%) y 2g en el peso seco de raíz (30.2%). El yeso agrícola 1g sin bacteria tuvo efecto sobre el peso fresco de raíz (98.4%), al igual que el volumen de raíz (75%), y con bacterias 2g de YA en el peso seco de raíz (47.8%). La inoculación de bacterias más la adición de enmiendas minerales tuvo efecto negativo en la mayoría de las variables evaluadas.

Palabras clave: Coleus, estacas, bacterias, enmiendas minerales.

I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los coleus se cultivan para uso en jardinería, una de las especies más populares utilizadas en la jardinería se encuentra el *Solenostemon blumei*. En México, la producción de flores data de tiempos prehispánicos, con los jardines flotantes en chinampas, los jardines de Netzahualcóyotl y el cultivo de la nochebuena (cuetlaxochitl) por los aztecas (Quintero *et al.*, 2011).

El reproducir vegetativamente especies exóticas conlleva un conjunto de técnicas que permiten obtener plantas bien desarrolladas en un tiempo más corto, desafiando las condiciones ambientales. Las técnicas de ese tipo de reproducción son muchas veces desconocidas por los productores, por la falta de información y estudios en especies ornamentales de interior. La multiplicación vegetativa, por técnicas de estaca herbácea, tiene como principio fundamental conseguir que tallos de una planta madre emitan raíces espontáneamente, existiendo una separación total de la misma, estas técnicas de propagación tienen ventajas para muchos productores, ya que permiten producir plantas durante todo el año generando fuentes permanentes de empleo, se obtiene además plantas en un tiempo relativamente más corto, lo que reduce los gastos de producción (Torrez, 2010).

Al igual se encuentran microorganismos benéficos para la producción agrícola, y entre ellos están las bacterias fijadoras de nitrógeno (diazotróficas) heterótrofas de los géneros *Azotobacter* spp. y *Azospirillum* spp., principalmente asociados a la captura y disponibilidad de N (Johansen *et al.*, 1993) y P (Valadares *et al.*, 2016) para las plantas, respectivamente. Siendo el N capaz de promover el aumento de la productividad, es esencial, especialmente en regiones de clima tropical, estimando que la fertilización nitrogenada genera un costo en el orden del 40% de la producción, además, de su gran potencial contaminante graves consecuencias en la contaminación del medio ambiente (Hungria *et al.*, 2016). Por ello es necesario realizar inoculación, que puede ser considerada una tecnología prometedora para

elevar la competitividad del sector agropecuario, incluso por reducir los impactos ambientales derivados del uso sin control de los fertilizantes (Domingues *et al.*, 2020). Al igual que el incorporar enmiendas minerales de rocas molidas al medio de crecimiento en estos sistemas de producción proporciona minerales adicionales a los que comúnmente se encuentran en una solución nutritiva completa y puede generar condiciones favorables para el crecimiento adecuado de los cultivos. Con la incorporación de minerales secundarios no metálicos (remineralización), como zeolitas, dolomitas y roca fosfórica, se ha reportado un efecto positivo cuando éstas se aplican en suelos deficientes de nutrientes (Noriega *et al.*, 2014).

Por ello con esta investigación se pretende evaluar la producción de coleus con aplicaciones de enmiendas minerales y el uso de bacterias que permitan un buen desarrollo de las plantas, disminuyendo los costos de producción e incrementando la calidad de las plantas.

Objetivo general:

Determinar el efecto de las aplicaciones de las enmiendas minerales y bacterias en el enraizamiento y crecimiento de las estacas de coleus.

Objetivos específicos:

- Determinar el mayor crecimiento de la parte aérea de estacas de coleus con alguna de las combinaciones entre enmiendas y bacterias.
- Determinar cuál combinación entre enmiendas minerales y bacterias incrementa el enraizamiento y crecimiento de las raíces de las estacas de coleus.

Hipótesis:

Al menos una combinación entre las enmiendas minerales y bacterias favorecerá el crecimiento y enraizamiento de las estacas de coleus.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del cultivo.

Coleus es originario de la India, Java y en parte de las zonas tropicales de Asia, aunque se han encontrado en zonas tropicales y subtropicales de América (Herwig, 1989). No obstante, no queda claro si los coleus: *Coleus blumei* y *Coleus verschafeltii* son híbridos, pero se entiende que los dos en cuestión son padres de otras especies híbridas de coleos (Piñeiro, 2003).

Clasificación botánica.

Taxonomía.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Lamiales

Familia: lamiaceae

Género: *Solenostemon*

Especie: *S. blumei*

S. scutellarioides

S. shirensis

Nombre común: coleus

(Ecured, 2019; Naturalista.mx).

Descripción botánica.

Es una planta de naturaleza herbácea o semi arbustiva de hoja caduca, muy adecuada para interiores, pero también adaptable a jardines y exteriores. Su tallo comprende de 25 a 40 cm de altura (Ecured, 2019). Sus hojas son opuestas, simples, pecioladas, cordiformes y generalmente dentadas que destacan por su vistosa coloración que va del amarillo a púrpura, del marrón al verde y en ocasiones,

hasta escarlata. Estos tonos se distribuyen sobre la superficie de las hojas en manchas, franjas y formando zonas concéntricas (Infoagro, 2019).

Importancia del cultivo.

El género coleo comprende unas 150 especies de plantas, anuales o vivaces, existiendo un gran número de variedades obtenidas por hibridación de distintas especies, que se agrupan por el porte, tamaño y forma de las hojas, colorido, entre otras características. Es una planta muy económica y a la vez vistosa y ornamental, y puede ser cultivada tanto dentro de casa como en el jardín (Fernández, 2004).

Producción en maceta.

La producción en macetas tiene efectos positivos sobre algunos cultivos como disminución del ataque de plagas y enfermedades, debido al aumento de la temperatura del suelo, así como de pérdidas por animales domésticos, crecimiento acelerado lo que reduce el ciclo del cultivo, ocupación de una menor área para su producción, reducción de los costos por la disminución de pesticidas utilizados y la facilidad del manejo (ICC, 2013). El éxito de un cultivo en contenedor dependerá del sustrato adecuado para su producción (Mascarini *et al.*, 2012; Urrestarazu, 2015). Las plantas cultivadas en contenedor presentan tasas altas de transpiración, demandan agua abundante, y probabilidad de salinización por la pérdida acelerada de humedad. Por esto es necesaria la caracterización física, química y biológica de sustratos diversos y determinar si son adecuados, solos o mezclados (Valenzuela *et al.*, 2004).

Estacas.

El enraizamiento de las estacas de coleus se produce con facilidad de los 10 a los 15 días (Hartman, 1999). Las estacas elaboradas para su propagación son de dos tipos: el primero es de tipo apical compuesto por el ápice y dos paredes de hojas más o menos desarrolladas, el segundo es de tipo interdona, consiste en un sector

de tallo con sus dos hojas opuestas correspondientes. Los cortes se realizan a unos 2 cm de nivel de las primeras yemas, debe ser limpio. Una vez elaborados los esquejes, estos deben ser plantados por separado tratando de no enterrar las yemas terminales (Cuenca, 2000). También puede realizarse por estacas de 5 a 7 cm de longitud, a partir de febrero. Manteniendo una temperatura de alrededor de 23 °C, durante el otoño e invierno se despuntan y se quitan las flores de las plantas madre para su ramificación. Las plantas producidas a partir de esquejes requieren de 25.000 a 40.000 lux para obtener una planta viable en 5 a 6 semanas (Flores, 2010).

Sustrato.

Turba acida o peat moss

Proveniente del musgo *Sphagnum*, posee una excelente porosidad y es buena receptora de soluciones nutritivas proporcionando gran aireación a las raíces, además está libre de gérmenes y semillas de malas hierbas y es bastante ligera. Después de su humedecimiento y abonado puede ser utilizada inmediatamente. Las turbas negras, más descompuestas, disminuyen su calidad ya que retienen deficientemente el agua y proporcionan menos aireación para las raíces. En ocasiones se añade en proporciones diversas para aumentar la retención de agua de la misma. La turba es buen medio para el enraizado de las estacas de la mayoría de las especies. Procede de Canadá y de Europa, no hay turbas en México, se usan en casi todas las plantas de maceta, en una alta proporción, se vende comercialmente en paquetes de 30 kg (Michel *et al.*, 2004).

Perlita

La perlita es un material silíceo de origen volcánico, que es sometido a un proceso de altas temperaturas lo que nos otorga un material estéril que es capaz de absorber tres o cuatro veces su peso en agua, bastante útil para incrementar la aireación de las mezclas (Resh, 2001).

Factores Climatológicos.

Temperatura y Luz

En general la temperatura para estas plantas no debe de ser inferior a 13 °C. Requiere de una temperatura optima de entre 20 a 25 °C y de 25 000 a 40 000 lux. El colorido de las hojas depende fundamentalmente de los factores luz y temperatura con días cortos y temperaturas bajas, las hojas son pequeñas y el colorido se concentra a lo largo de la vena central y con días largos se colorea toda la hoja; con bajas temperaturas durante el día o elevadas durante la noche el color de la hoja se debilita. Temperaturas de unos 23 °C durante el día y 17°C durante la noche acompañadas de días largos, garantizan plantas con colores intensos en toda la superficie foliar y la ausencia de flores, que son poco atractivas (Infoagro, 2019).

Factores Edafológicos.

Tras el trasplante de las estacas se requiere de un alto grado de humedad, el sustrato debe ser ligero y rico en materia orgánica. Con riegos muy frecuentes, pero poco abundantes (Flores, 2010).

Enmiendas minerales.

Los acondicionadores de suelos, por lo general contienen materias primas orgánicas y minerales que, en conjunto, aportan las características, necesarias para mantener un suelo en sus óptimas condiciones (Trujillo *et al.*, 2015). Estas enmiendas aportan diferentes nutrimentos esenciales para las plantas y que podría acelerar enraizamiento o mejorar la calidad de las raíces de las estacas. Sin embargo, para el enraizamiento o calidad del raíz están aplicados nutrimentos como fósforo y calcio.

Roca fosfórica.

La roca fosfórica (RF) es una fuente natural de fósforo (Yadav *et al.*, 2017), que presenta una adecuada relación por unidad de nutrientes (Trujillo *et al.*, 2015), por lo que la RF representa una importante fuente de fósforo (P) para mejorar la productividad de las plantas y el suministro estable de alimentos para la población (Chen y Graedel, 2015), además de contener fósforo esta contiene 63 elementos más. La presencia de microorganismos como bacterias ácido lácticas funcionan como activadores de la solubilidad del fósforo presente en la roca fosfórica (Paredes *et al.*, 2010).

La RF es un simple fosfatado extraído de yacimientos, donde el P contenido se encuentra como fosfato tricálcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). La principal desventaja es que su composición general y su contenido de P varían con los diferentes yacimientos. La aplicación directa de la RF ha recibido una considerable atención en América Latina durante los últimos 20 años. Sin embargo, estas experiencias se restringe principalmente a suelos ultisoles y oxisoles (Zapata y Roy, 2007).

Este mineral puede elevar los niveles de P en el suelo y complementar las aplicaciones anuales de fertilizantes solubles (Casciani y Gambaudo, 2007). Mismo que, podría incrementar la disponibilidad de P en los medios de crecimiento inertes (sustratos).

Cuadro 1. Composición química de la roca fosfórica.

Elementos	%
Pentóxido de Fósforo	26.33 - 33.20
Fósforo elemental	11.50 - 14.30
Calcio	20.06
Flúor	1.60
Plomo	0.008
Arsénico	0.0001
Azufre	0.01

Dolomita.

Siendo su fórmula química de composición $(MgCa(CO_3)_2)$ (Peña, 2004). Es usada como aditivo del suelo y como materia base para los fertilizantes de magnesio y calcio, principalmente por su capacidad para corregir la acidez del suelo (Vázquez *et al.*, 2012).

Esta molienda es un material natural y económico que es utilizado para mejorar los suelos agrícolas ácidos principalmente (Shaaban, 2014), esto debido a que es un mineral altamente alcalino, y contiene calcio (Ca) y magnesio (Mg) en su estructura, y por lo tanto ayuda a disminuir la acidez y la deficiencia de Ca y Mg en los suelos (Bolland *et al.*, 2004). Siendo la Dolomita un buen agente mejorador de las propiedades del suelo (Shaaban *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Composición química de la Dolomita.

Elementos	%
Óxido de Calcio	32.78
Óxido de Magnesio	13.35 a 19.53
Dióxido de Sílice	2.19
Tróxido de Aluminio	0.42
Óxido de Hierro	0.021
Óxido de Azufre	0.05
Oxido de Sodio	0.01
Óxido de Potasio	0.01
Óxido de Titanio	0.01

Yeso agrícola.

El sulfato de calcio dihidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) o comúnmente llamado yeso agrícola se ha aplicado a lo largo de los años, ya que es de bajo costo, y se ha aplicado como enmienda para el suelo. Y ha demostrado el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo, así como el aumento en la productividad de los cultivos (Rasouli *et al.*, 2013).

El mecanismo de acción del yeso agrícola es el remplazo del elemento calcio por el elemento sodio presente en el suelo, mediante un intercambio catiónico, para formar sulfato de sodio el cuál es lixiviado (Sibbet, 1995). Es por ello que el yeso agrícola ha sido utilizado como enmienda para rehabilitar el suelo mejorando las propiedades químicas del mismo (Trasviña *et al.*, 2017).

Los resultados derivados de la aplicación de yeso a campo son consistentes en los incrementos en Ca^{2+} y SO_4^{-2} . Sin embargo, los efectos del yeso en el rendimiento de los cultivos han demostrado ser más variables dependiendo del año y el tipo de cultivo (Torres *et al.*, 2010).

Las fuentes sulfatadas suelen ser las más efectivas ya que las plantas absorben el azufre en forma de sulfatos, como contraparte pueden perderse por lixiviación. En contraste las fuentes de azufre elemental pueden presentar residualidad a mediano y largo plazo, ya que requieren transformaciones químicas y biológicas mediadas por la temperatura y la humedad del suelo (Gonzalez y Sadeghian, 2006).

Inoculante.

El inoculante es un producto que contiene microorganismos vivos que promueven el crecimiento vegetal a través de diferentes mecanismos, conocido mundialmente como biofertilizante. Su producción a nivel comercial en América Latina comenzó en 1898 (Hungria, 2011).

Algunas características son determinantes para que los inoculantes sean efectivos en la promoción del crecimiento vegetal, como la cepa utilizada y su competitividad, el número de células necesarias o viables para la rápida colonización de la rizósfera y del tejido vegetal (MAPA, 2004). Deaker *et al.*, (2004), mencionan que en la producción es necesario utilizar vehículos no tóxicos, que sean solubles en agua y estén asociados a estirpes competitivos. El éxito de la inoculación depende de la selección de estirpes eficientes y resistentes al estrés, ya que las bacterias diazotróficas se encuentran en diversos tipos de suelo y su persistencia está condicionada a la salinidad, el pH y la humedad del suelo (Fernandes, 2006).

Bacterias.

Las bacterias diazotróficas, se asocian a la producción de sustancias promotoras de crecimiento (Ahemad y Kibret, 2014), estas sustancias además de facilitar la adquisición de nutrientes o modular niveles hormonales en las plantas, actúan como biocontrol inhibiendo el desarrollo de agentes patógenos (Glick, 2012). A pesar de su abundancia en la atmósfera, el N es uno de los nutrientes más limitantes para el crecimiento de las plantas. Las bacterias fijadoras de N (Diazótrofos) del suelo son capaces de mantener e incrementar el suplemento de N en el suelo por medio de la fijación de este elemento (Paul y Clark, 1996), indirectamente como una consecuencia de la estimulación del desarrollo radical y directamente como una consecuencia de la estimulación del desarrollo radical y del sistema transportador del compuesto (Mantelin y Touraine, 2004).

Los diazótrofos han sido aislados del suelo y de la rizosfera de cereales y otros cultivos de regiones tropicales y templados del mundo (Dobereiner *et al.*, 1988). Su ecología actividad y población, es afectada por diversos factores como la fuente carbono, minerales, disponibilidad de agua, temperatura y pH, separación espacial, prácticas de manejo del suelo, interacciones del microorganismo-huésped y microorganismo-microorganismo (Kader, 2002).

Los géneros *Azotobacter spp.* y *Azospirillum spp.* predominan en suelos con pH cercano a la neutralidad, cuando el pH es < 5.0 *Azospirillum spp.* se encuentra en forma esporádica y en suelos con pH < 4.5 no se logra su aislamiento (Caballero, *sf*). Varios estudios han reportado la presencia de *Azotobacter spp.*, *Azospirillum spp.* y HMA asociados a la rizosfera de cebolla y el efecto positivo en el desarrollo de la planta (Pulido y Cabrera, 2003).

Azospirillum spp.

El *Azospirillum spp.* es una bacteria muy versátil y tiene la capacidad de adherirse a las raíces de diversas gramíneas y a otras familias de plantas incluyendo el algodón y el tomate (Caballero, *Sf*; Levanony y Bashan, 1991).

El uso de estos microorganismo es beneficioso para las plantas pues tienen la habilidad para eliminar patógenos del suelo, producir reguladores del crecimiento (Bashan y De-Bashan, 2010). Ayudan a aumentar el crecimiento de plantas

mediante la mejora de la absorción de nutrientes (también incorporar N del aire al suelo), alivio de tensiones como la sequía, salinidad, contaminación de metales pesados, las altas temperaturas para el establecimiento de plántulas, control de enfermedades y a su vez mejorar la estructura de los agregados del suelo y la reducción de la erosión (Mridha y Al-Barakah, 2017).

Esto mejora las condiciones del suelo y la capacidad de la planta para lograr el máximo rendimiento (Khademian *et al.*, 2019), la absorción de agua y de esta forma aumentar el desarrollo y rendimiento de las plantas (Dalla Santa *et al.*, 2004; Mehran *et al.*, 2011). Otro modo de acción ocurre a través de la reducción del nitrato (NO_3^-) en las raíces, promoviendo el crecimiento vegetal debido al menor gasto de energía en la reducción de nitrato a amoníaco, y esta energía es asignada en otros procesos vitales (Domingues *et al.*, 2020).

Fages (1994), verificó que estas bacterias pueden influir en la actividad de la glutamina sintetasa en las raíces de las plantas de maíz. Según algunos investigadores (UNNO, 2006) la glutamina sintetasa es extremadamente importante en el proceso de incorporación del nitrógeno, y es esencial para que las plantas expresen todo su potencial productivo. Pueden actuar indirectamente en las plantas, protegiendo y reduciendo la aparición de hongos o patógenos del suelo, a través de varios mecanismos, tales como la producción de sideróforos, quitinasas, glucanasas y antibiosis.

Sin embargo, el conocimiento del papel de las condiciones edáficas y climáticas en su establecimiento y efectividad aún es limitado (Serralde & Ramírez, 2004; Montaña, 2007).

Cuadro 3. Modo de acción de las bacterias *Azospirillum*.

Modo de acción
Producción de reguladores vegetales (auxinas, citocininas y giberelinas)
Reducción asimilatoria de nitrato
Fijación biológica del N_2
Resistencia al estrés hídrico
Aumento del sistema radical

***Azotobacter* spp.**

Por su parte *Azotobacter* spp. es un género altamente sensible a la acidez y aunque es capaz de sobrevivir a pH entre 4.5 a 9.0 (Gul, 2003), su óptimo desarrollo lo consigue a pH entre 6.5 - 7.5. En suelos con pH < 6.0 generalmente es ausente o posee muy pocos miembros (Balandreu, 1986; Cardona y Sánchez, 1998; Eil-Lattief, 2016). A pesar de ser de vida libre, se desarrolla mejor alrededor de la rizosfera. Dóbereiner (1966) indica que la especificidad de este género con la rizosfera de una planta es más íntima que en otras bacterias diazotróficas, por lo tanto, su abundancia está relacionada con la especie de planta asociada (Sariv y Ragoviv, 1963). El *A. vinelandii*, es una de las bacterias que actúa como fijador de nitrógeno atmosférico (Rojas *et al.*, 2016).

Las bacterias del género *Azotobacter* son diazótrofos conocidos por su elevada tasa respiratoria, aún así pueden llegar a fijar de 10 a 20 Kg N ha⁻¹ simbióticamente (Kader, 2002). Contienen polisacáridos extracelulares (EPS) como el alginato y el polihidroxitirato (Espín, 2002), que tiene excelentes propiedades viscosificantes y actividad fisiológica, altamente susceptibles a la biodegradación en la naturaleza y menos dañinos que los polímeros sintéticos, lo que los hace más atractivos para su uso en la industria.

Además de ser fijadores de nitrógeno, actúan como rizobacteria promotora del crecimiento de plantas por la síntesis y secreción de sustancias tales como el complejo de vitamina B, fitohormonas (hetero auxinas, ácido indolacético- IIA, giberelinas y citoquininas) (Remus *et al.*, 2000), compuestos fungistáticos (Lakshminarayana, 1993), así como por su capacidad de solubilizar el fosfato (Narula *et al.*, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento.

El presente experimento se realizó durante el año 2019, en un invernadero de tipo capilla ubicado en las instalaciones del Departamento de Horticultura en el interior de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, ubicada entre los 25° 21' 5" de latitud N y 101° 1' 47" de longitud O, a una altitud de 1,742 msnm.



Imagen 1 Ubicación del sitio experimental. Fuente: Google maps.

Material vegetal.

Para el trabajo experimental se utilizaron estacas de coleus del género *Plectranthus* spp., con el mismo grosor de tallo y el mismo número de hojas, a una longitud de entre 12 y 15 cm.

Tratamientos.

Los tratamientos aplicados en el experimento fueron dolomita, roca fosfórica y yeso agrícola a una cantidad de 1 g y 2 g por maceta respectivamente se mezclaron junto con el sustrato para obtener una mezcla homogénea y permitir que cuando creciera la planta de coleus las raíces pudieran absorber los nutrientes que

contiene las enmiendas minerales con facilidad. La inoculación se realizó con la finalidad de que esta cepa fijara nitrógeno (*Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp.) a una concentración de 10^6 UFC, como un consorcio de bacterias, aplicando 3 mL por planta a los 5 días después de haber realizado el trasplante.

Cuadro 4. Tratamientos aplicados en las estacas de coleus.

Bacterias	Enmiendas minerales	Símbolo
Sin Bacterias	Testigo	T
	Roca Fosfórica 1 g	RF1
	Roca Fosfórica 2 g	RF2
	Yeso Agrícola 1 g	YA1
	Yeso Agrícola 2 g	YA2
	Dolomita 1 g	DO1
	Dolomita 2 g	DO2
Con Bacterias (<i>Azotobacter</i> spp. y <i>Azospirillum</i> spp. 10^6 UFC).	Testigo	T
	Roca Fosfórica 1 g	RF1
	Roca Fosfórica 2 g	RF2
	Yeso Agrícola 1 g	YA1
	Yeso Agrícola 2 g	YA2
	Dolomita 1 g	DO1
	Dolomita 2 g	DO2

Establecimiento y manejo del cultivo.

Como sustrato se utilizó turba de sphagnum (Pro Mix®) y perlita (Hortiperl®) en una proporción 2:1 (v/v), el cual fue previamente esterilizado en una autoclave a 121°C durante 15 minutos, en tres ocasiones, se utilizaron macetas de 5" con capacidad de 682 mL.

Variables evaluadas.

Altura Planta (AP).

Para la variable altura de planta se utilizó un flexómetro de la marca Truper® de 3 m, con el cuál se midió la planta de coleus desde la base de esta hasta el punto de crecimiento apical.

Longitud de Raíz (LR).

Para esta variable se utilizó una regla plástica graduada de 1 m marca Barrilito®, la que fue utilizada para medir desde el crecimiento de la raíz en tallo hasta su ápice radical, para esto fue necesario sacar las plantas de coleus cuidadosamente del sustrato y retirando todo, sumergiendo la raíz en agua para lavar el sustrato y facilitar el manejo para su medición.

Diámetro de Tallo (DT).

Para el Diámetro de Tallo se utilizó un vernier digital de la marca (HER-411, Digital Caliper®, China), con el cuál se tomó la medida en la base de la planta de coleus, cercana al sustrato.

Número de Hojas (NH).

Para la obtención de esta variable se cuantificaron visualmente cada una de las hojas que presentaron en cada tallo de las estacas de coleus.

Peso Fresco de la Planta (PFP).

Esta variable se registró con una báscula electrónica (BABOL-100G, Rhino®, China) con capacidad máxima de 100 g y resolución mínima de 0.01 g.

Peso Fresco de la Raíz (PFR).

Para esta variable fue necesario cortar la raíz de la planta y se utilizó una báscula electrónica (BABOL-100G, Rhino®, China) con capacidad máxima de 100 g y resolución mínima de 0.01 g.

Peso Seco de la Planta (PSP).

Para la obtención de esta variable fue necesario secar los tallos y hojas en un horno de secado a una temperatura de 65°C por 72 hrs, una vez seca se midió con una báscula electrónica (BABOL-100G, Rhino®, China) con capacidad máxima de 100 g y resolución mínima de 0.01 g.

Peso Seco de la Raíz (PSR).

Para esta variable fue necesario secar la raíz de las plantas muestreadas, una vez seca se procedió a la obtención con el uso de una báscula electrónica (BABOL-100G, Rhino®, China) con capacidad máxima de 100 g y resolución mínima de 0.01 g.

Volumen de la Raíz (VR).

Para la obtención de esta variable se utilizó una probeta y agua, y fué por el método de desplazamiento de agua en probeta.

Diseño experimental.

El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial de 2 x 7, dando un total de 14 tratamientos con tres repeticiones de cada tratamiento.

Análisis estadístico.

El análisis de varianza se realizó bajo el diseño indicado anteriormente y la comparación de medias con Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., 2004).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT) número de hojas (NH), peso fresco de planta (PFP) y el peso seco de planta fueron afectados significativamente con las diferentes enmiendas y dosis de estas (Cuadro 5). Mientras que la inoculación de bacterias no fue significativo para la variable DT, pero si para el resto de las variables. La interacción entre bacterias y enmiendas minerales fue significativo en la mayoría de las variables antes mencionadas, a excepción del DT (Cuadro 5).

La mayor AP, PFP y PSP se registró en aquellas estacas que fueron desarrolladas con 1 g de roca fosfórica (RF), mientras que el DT fue superior con 2 g de yeso agrícola (YA), asimismo, el NH se incrementó con 1 y 2 g de RF en comparación de las plantas testigo (Cuadro 5). La inoculación de bacterias en general redujo el crecimiento de la parte aérea de la planta, pues, sin la inoculación fueron superiores el crecimiento (Cuadro 5).

Altura planta (AP).

En términos generales la inoculación de bacterias disminuyó la altura de planta, esta disminución se ve más marcada con YA y dolomita (DO) de 1 g (Figura 1). Sin embargo, se registra mayor AP en estacas desarrolladas sin bacterias y 1 g de RF (Figura 1). Nuestros resultados difieren con lo reportado por Jiménez et al., (2018), quienes reportan que el cultivo de frambuesa al aplicar como enmienda mineral RF no encontró diferencia significativa entre los tratamientos, por otra parte, Pérez (2018), menciona también que no encontró diferencia significativa entre sus tratamientos al aplicar RF (15 g).

Cuadro 5. Análisis de varianza y comparación de medias de las variables de crecimiento de la parte aérea de plantas de Coleus con enmiendas minerales y bacterias.

Enmiendas	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas	Peso fresco de planta (g)	Peso seco de planta (g)
Test	16.75b	8.30ab	27.79b	16.01c	1.41b
RF1	21.22a	8.70ab	30.46a	20.98a	2.00a
RF2	16.00bc	7.88b	32.17a	18.52b	1.65b
YA1	14.67cd	8.05ab	26.83b	15.59c	1.40b
YA2	14.17d	9.02a	25.83b	15.97c	1.53b
DO1	14.00d	8.57ab	26.50b	13.52d	1.01c
DO2	15.33bcd	8.13ab	27.00b	13.23d	1.06c
ANOVA P _≤	0.01	0.014	0.01	0.01	0.01
Bacterias					
(10⁶ UFC)					
Con Bacteria	14.67b	8.34a	26.96b	14.09b	1.22b
Sin Bacteria	17.41a	8.42a	29.20a	18.43a	1.65a
ANOVA P _≤	0.01	0.64	0.01	0.01	0.01
Interacción P _≤	0.01	0.19	0.01	0.01	0.01
CV (%)	6.55	7.71	4.89	7.05	12.62

Letras a, b, c y d= son las categorías obtenidas de la comparación de medias; Test= testigo; RF1= Roca Fosfórica 1 g; RF2= Roca Fosfórica 2 g; YA1= Yeso Agrícola 1 g; YA2= Yeso Agrícola 2 g; DO1= Dolomita 1 g; DO2= Dolomita 2 g; ANOVA: análisis de varianza; Interacción= Bacterias x enmiendas; CV= Coeficiente de variación.

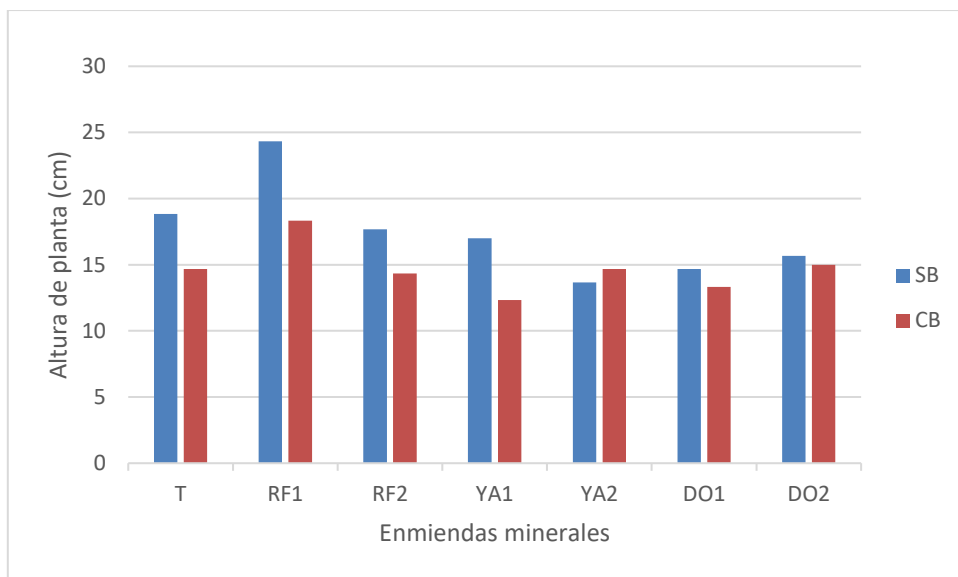


Figura 1.- Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en la altura de plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.

Número de hojas (NH).

Las estacas desarrolladas en un medio de crecimiento que contenía 1 y 2 g de RF sin la inoculación de bacterias presentaron mayor número de hojas, que el resto de las combinaciones entre bacterias y enmiendas minerales, pero con la inoculación de bacterias afecta negativamente el NH independientemente de enmienda mineral aplicado (Figura 2). Esto sugiere que las bacterias inoculadas disminuyen el crecimiento de estas plantas. Pero, Lara *et al.*, (2011) mencionan la importancia de la aplicación de las cepas nativas del género *Azotobacter spp.* en semillas de pasto angleton (*Dichanthium aristatum*), cuyos resultados obtenidos demostraron que el 67.66% de material vegetal inoculado, mostraron una mayor altura del tallo, longitud de hojas y un notable desarrollo vegetativo de la planta. Así mismo, varios autores han encontrado que la aplicación de bacterias como *Azotobacter sp.* y *Azospirillum sp.* a semillas antes de la siembra, mejora la germinación y el desarrollo de plantas (Constantino *et al.*, 2010), debido a que estos

géneros bacterianos son conocidos por sus bondades, aparte de tener la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico.

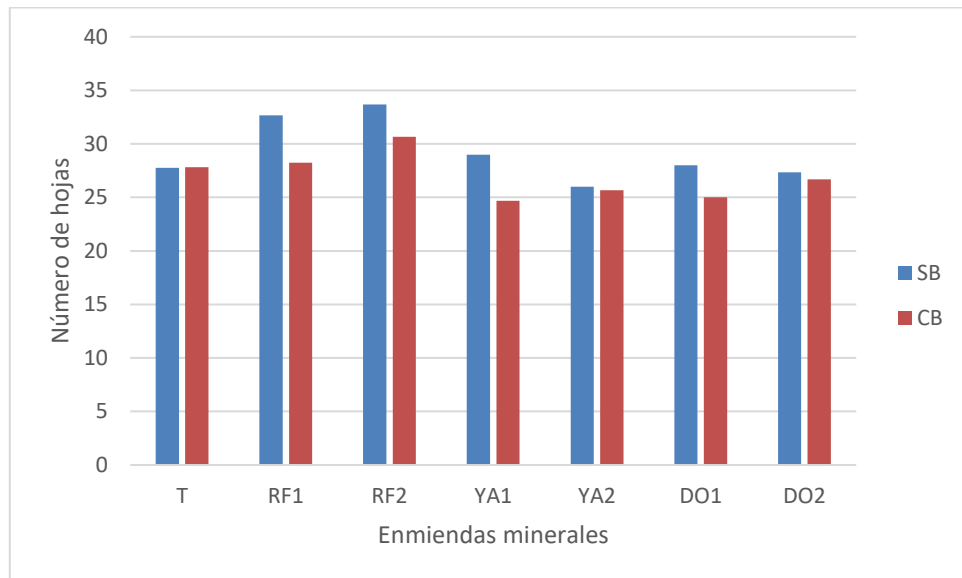


Figura 2 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en el número de hojas de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.

Peso fresco de la planta (PFP).

El mayor PFP se observa en donde se aplicó 1 g de RF y sin la inoculación de bacterias, pero este se disminuye con la aplicación de 1 y 2 g de DO (Figura 3), las plantas testigo inoculadas con bacterias fue menor el PFP comparando con 1 y 2 g de FR y 2 g YA, pero, al inocular bacterias las plantas registraron menor Peso fresco (Figura3). Nuestros resultados concuerdan con lo reportado por Jiménez (2018), quien al aplicar en el sustrato RF como enmienda mineral en un cultivo de frambuesa, encontraron diferencia significativa al incrementar el peso fresco con respecto al tratamiento testigo. Así mismo, Reis *et al.*, (2000) menciona que la inoculación con estirpes de *A. brasilense* benefició la *Brachiaria* spp., con aumentos promedio del 13 % en la producción de masa de forraje, diferenciando con las aplicaciones en coleus ya que no tuvieron efecto positivo, al igual que Das *et al.*, (2007) que mostraron una mayor producción de biomasa en la planta de *Rebaudiana Bert*, con la aplicación de *Azospirillum*.

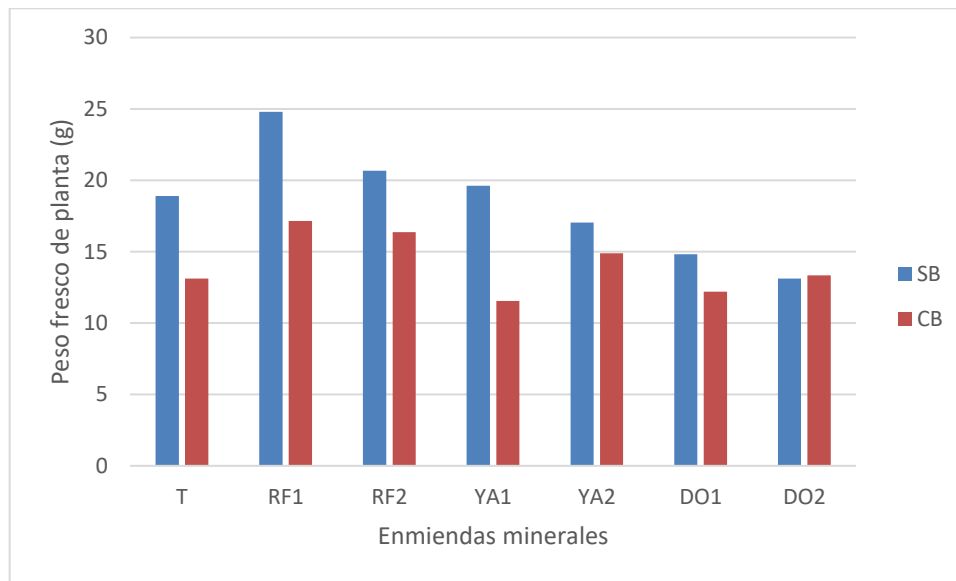


Figura 3 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en el peso fresco de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.

Peso seco de la planta (PSP).

La aplicación de 1 y 2 g RF, 1 g YA promovieron mayor acumulación de biomasa en las plantas sin la inoculación de bacterias, pero con 2 YA y 1 y 2 g de DO fueron las que presentaron menor biomasa. Sin embargo, con 2 g YA junto con la inoculación de bacterias aumento ligeramente la biomasa, aunque el resto de las enmiendas al igual que el testigo registran menor biomasa área (Figura 4). Estos indican que la DO y las bacterias inhiben el crecimiento aéreo de las plantas, a diferencias de lo obtenido por Okon y Vanderleyden (1997), quienes mencionan que en cultivos de maíz con *Azospirillum*, observaron que la inoculación incrementaba en 17% en la longitud media de las espigas y productividad con respecto al testigo. Por otra parte, Fallik y Okon (1996), también observaron un aumento en la materia seca y un mayor crecimiento foliar en las plantas *Setaria italica* cultivadas en vasos y inoculadas con *A. brasilense*. Sin embargo, recientemente en el cultivo de moringa

se encontraron que con la inoculación de *Azospirillum*, no se logró aumentar el peso seco (Hernández *et al.*, 2020), este último coincide con nuestros resultados.

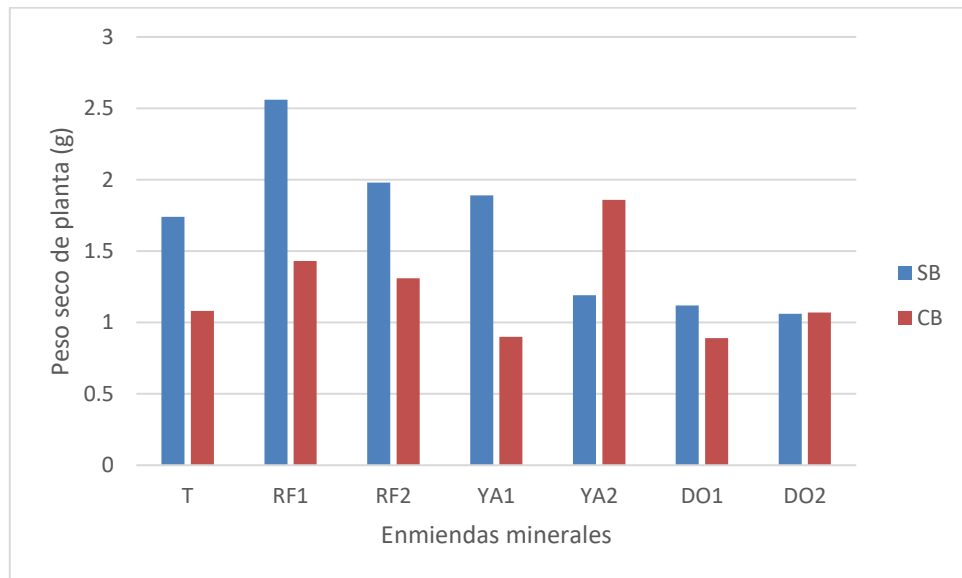


Figura 4 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en el peso seco de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.

Los diferentes tipos y dosis de enmiendas minerales influyeron significativamente en la longitud de raíz (LR), peso fresco y seco de raíz (PFR y PSR), y volumen de raíz (VR), este mismo efecto se observa con las bacterias. La interacción entre bacterias y enmiendas afectó de manera significativo la LR, PFR y PSR, mientras que para el VR no fue significativo (Cuadro 6).

Las estacas testigo y las que se desarrollaron con 2 g de roca fosfórica (RF) tuvieron mayor LR en comparación de aquellas estacas enraizadas con 1 g de RF, 1 g de yeso agrícola (YA) y 2 g de dolomita (DO). El peso fresco de raíz se incrementó con 2 g de RF, pero, este fue menor cuando fueron desarrolladas con 1 y 2 g de DO (Cuadro 6). El mayor registro de PSR se presentó con 2 g de YA, mientras que el testigo tuvo el menor peso de esta variable. Finalmente, las estacas que recibieron 2 g RF y 1 g YA se incrementó el VR, pero, con 1 y 2 g DO este fue menor, lo que sugiere que la DO influye negativamente en el crecimiento y desarrollo de las raíces.

Cuadro 6. Análisis de varianza y comparación de medias de las variables de crecimiento radicular de las estacas de plantas de Coleus con enmiendas minerales y bacterias.

Enmiendas	Longitud de raíz (cm)	Peso fresco de raíz (g)	Peso seco de raíz (g)	Volumen de raíz (ml)
Test	18.21a	5.70c	0.50d	5.67bcd
RF1	15.62c	5.34c	0.54cd	6.17bc
RF2	18.79a	7.82a	0.63ab	8.17a
YA1	16.17c	7.20ab	0.53cd	8.00a
YA2	17.83ab	6.49b	0.66a	6.50b
DO1	16.67bc	4.18d	0.56cd	4.50d
DO2	15.67c	4.27d	0.58bc	5.00cd
ANOVA P _≤	0.01	0.01	0.01	0.01
Bacteria				
(10⁶ UFC)				
Con Bacteria	16.30b	5.13b	0.50b	5.19b
Sin Bacteria	17.69a	6.58a	0.64a	7.38a
ANOVA P _≤	0.01	0.01	0.01	0.01
Interacción P _≤	0.01	0.001	0.01	0.94
CV (%)	5.69	8.53	7.60	13.59

Letras a, b, c y d= son las categorías obtenidas de la comparación de medias; Test= testigo; RF1= Roca Fosfórica 1 g; RF2= Roca Fosfórica 2 g; YA1= Yeso Agrícola 1 g; YA2= Yeso Agrícola 2 g; DO1= Dolomita 1 g; DO2= Dolomita 2 g; ANOVA: análisis de varianza; Interacción= Bacterias x enmiendas; CV= Coeficiente de variación.

Longitud de Raíz (LR).

La LR se incrementó en estacas crecidas sin la inoculación de bacterias y 1 g de DO, pero este aumento fue una mayor en estacas inoculadas con las bacterias, pero con 2 g RF (Figura 5). En general, hubo mayor LR sin la inoculación de bacterias a excepción a las que recibieron RF (Figura 5). Sin embargo, Zuberer (1990), menciona que *Azotobacter* spp tienen la capacidad para suministrar nutrientes y estimular el crecimiento de las plantas, principalmente por su exitoso establecimiento alrededor de las raíces. No obstante, cabe mencionar que ciertas especies de *Azospirillum* spp, tienen mecanismos específicos para interactuar con las raíces y colonizar su interior y hasta ir penetrando el tejido foliar, a través de la actividad enzimática celulolítica y pectinolítica, invadiendo los espacios intercelulares e incluso translocándose a través de los vasos vasculares hacia el tallo y las hojas (Steenhoudt y Vanderleyden, 2000). Bacilio *et al.*, (2003), mencionan que los exudados radicales de la planta consolidan la colonización de las raíces.

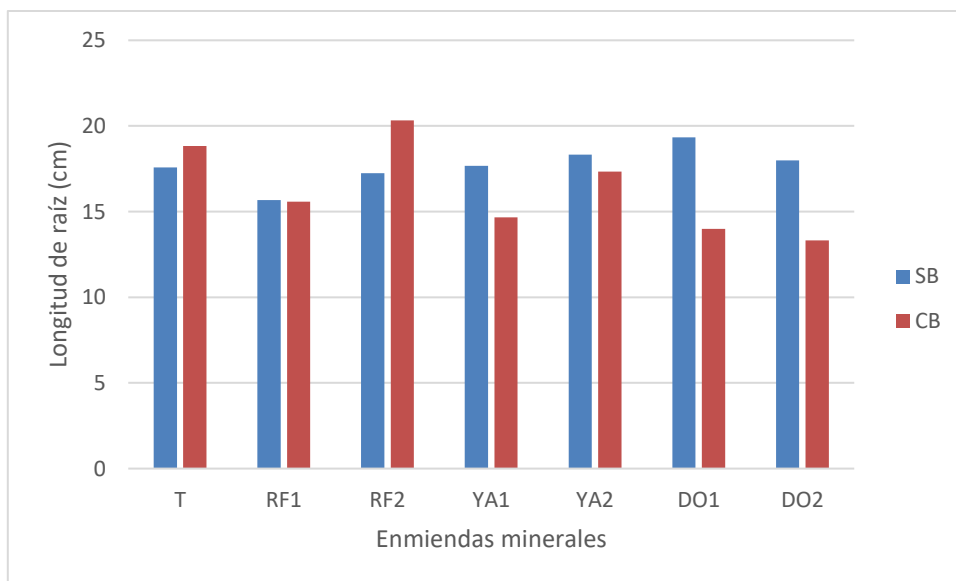


Figura 5 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en la longitud de raíz de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.

Peso Fresco de la Raíz (PFR).

El PFR fue mayor en estacas desarrolladas con 2 g RF y 1 g YA sin la inoculación de bacterias, en menor proporción, pero, similar efecto se observa cuando se inocularon las bacterias (Figura 6). Sin embargo, el PFR es menor en donde se aplicó DO 1 y 2 g independientemente la presencia de bacterias, aunque se observa el mismo efecto con 1 g RF en presencia de bacterias (Figura 6). Estos resultados encontrados en coleus arrojan que la aplicaciones de las bacterias no promueven ni tienen efecto sobre esta variable, por lo tanto difieren con lo reportado por Okon (1997), quienes mencionan que el género *Azospirillum* es el más estudiado y ganó relevancia mundial en la década de los 70 y que algunos resultados demostraron un aumento en la absorción de agua y nutrientes, mayor tolerancia a la sequía y productividad, resultados que se derivan del incremento en la producción de sustancias promotoras de crecimiento que alteran la morfología del sistema radicular, con aumento del número y diámetro de raíces secundarias, laterales y adventicias.

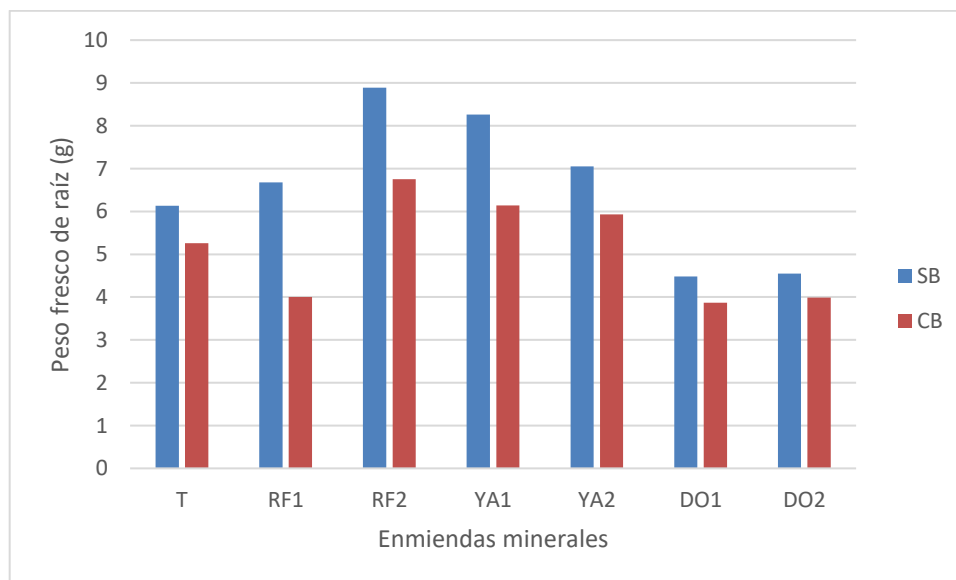


Figura 6 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en el peso fresco de raíz de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.

Peso Seco de la Raíz (PSR).

El mayor PSR de las estacas se registró en aquellas desarrolladas en presencia de 1 y 2 g RF, 1 g YA y 2 g de DO en comparación de las estacas testigo sin la inoculación de las bacterias (Figura 7). Sin embargo, la aplicación de 2 g de YA fue mayor el PSR comprado con 1 g de RF y YA en presencia de bacterias. Los resultados encontrados para esta variable concuerdan con Spaepen *et al.* (2020), quienes obtuvieron que en el sistema radicular de *B. brizantha*, verificaron una mayor producción de masa seca de raíces en plantas que fueron inoculadas con *Azospirillum* spp. Por su parte, Acosta *et al.* (2017) señalan que la aplicación de sulfato de calcio produce un mayor aprovechamiento de otros nutrientes esenciales como el N y el P que son absorbidos más eficientemente cuando se aplican a suelos con niveles apropiados de S y Ca, aumentando de esta forma los rendimientos. El mayor número de unidades formadoras de colonias de bacterias diazotróficas de vida libre implica un incremento en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, por lo tanto, esta propiedad se va a reflejar en otros parámetros como el crecimiento y producción en el caso del algodónero (Vallejo *et al.*, 2007). Autores como Itzigshn *et al.*, (2000), también verificaron que la asociación de *A. brasilense* y *A. lipoferum* proporcionó una mayor producción de materia seca de la parte aérea, raíces y acumulación de N. La inoculación de *A. brasilense* en pasto natural también verificó una mayor producción de materia seca del pasto con relación al control.

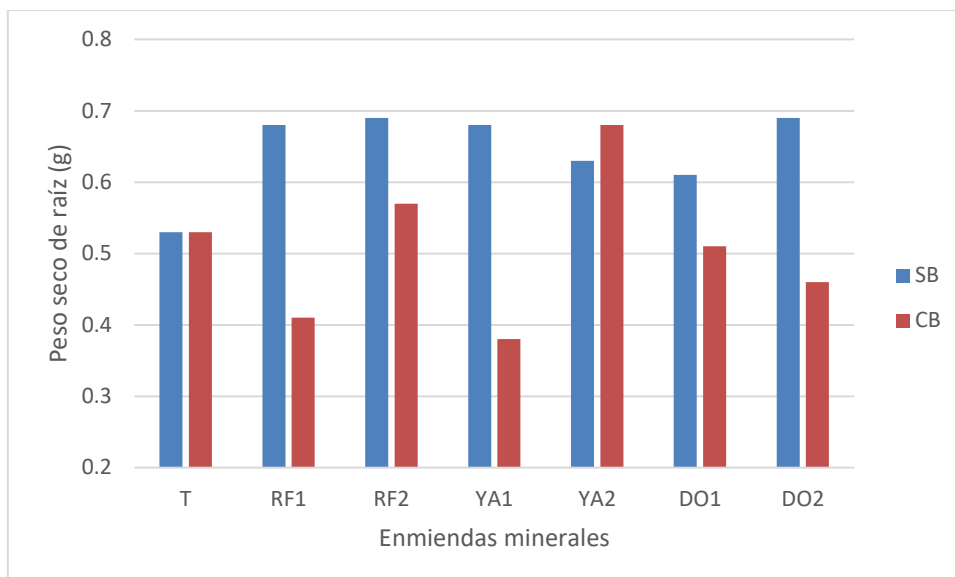


Figura 7 Efecto de la interacción entre enmiendas minerales y bacterias en el peso seco de raíz de las plantas de coleus. T=testigo; RF= roca fosfórica; YA= yeso agrícola; DO= dolomita; SB= sin bacteria, CB= con bacteria.

V. CONCLUSIONES

Las aplicaciones de la enmienda mineral roca fosfórica a una dosis de 1 g por maceta y sin la aplicación de bacterias incrementan la altura de planta, peso fresco de la planta, peso seco de la planta, número de hojas y peso seco de la raíz.

La roca fosfórica a razón de 2 g por maceta tiene efecto sobre la longitud de raíz más bacterias, numero de hojas con y sin bacterias. En el peso seco de la planta y peso fresco de raíz disminuyeron con la aplicación de dolomita con o sin presencia de bacterias.

En términos generales la inoculación de bacterias en estacas para en su crecimiento y enraizamiento influye negativamente en la mayoría de los casos en presencia de enmiendas minerales.

LITERATURA CITADA

- Acosta, L., Rivera J., Marza F. y Claire T. 2017. Uso de yeso agrícola como enmienda en el cultivo de maíz forrajero en el valle central de Tarija. Revista Científica de Investigación INFO-INIAF. Revista de Investigación Agropecuaria y Forestal Boliviana 4(9): 56-62.
- Aguedelo, Becerra, Maritza.Yolima. y Casierra, Posada, Fanor. 2004. Efecto de la micorriza y gallinaza sobre la producción y la calidad de cebolla cabezona (*Allium cepa* L. 'Yellow Granex') En: Revista Facultad Nacional de Agronomía, 57(1): 2189-2202. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914072004>
- Aguilar, Acuña, J.L., López, Morgado, R., Núñez, Escobar, R., y Gardezi, A.K. 2003. Un andosol de la sierra veracruzana. Liming and Phosphate Fertilization on Potato in an Andosol of the Sierra Veracruzana.
- Bacilio, Jiménez M., Aguilar, Flores S., Ventura, Zapata E., Pérez, Campos E., Bouquelet S., Zenteno E. 2003. Chemical characterization of root exudates from rice (*Oryza sativa*) and their effects on the chemotactic response of endophytic bacteria. *Plant and Soil*. 249 (2): 271-277.
- Balandreu, J. 1986. Ecological factors and adaptive processes in N₂-fixing bacterial populations of the plant environment. in: Skinner F.A., Uomala P. (eds) Nitrogen Fixation with Non-Legumes. In: Developments in Plant and Soil Sciences, 21: 73-92.
- Bashan, Y. and L. E. De-Bashan. 2010. How the plant growth-promoting bacterium azospirillum promotes plant growth -a critical assessment. Chapter two. Adv. Agron. 108: 77-136. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8).
- Bolland, M., Gazey, C., Miller, A., Gartner, D., y Roche, J. 2004. Subsurface acidity. Department of Agriculture, Wetern Australian, p 4.
- Caballero, M. J. (sf). El género Azospirillum en: Microbios. Capítulo 10. (sf). ISBN 968-36-8879-9. Disponible en: <http://www.biblioweb.tic.unam.mx/libros/microbios/Cap10/>.
- Cardona, M., Sigifred., Sánchez, Marina. 1998. Bacterias de vida libre fijadoras de N₂ en dos suelos del Valle del Cauca. En: Acta /Agronómica, july. v. 48, n. 3-4, p. 43-54. Disponible en: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/48011.

- Casciani, A. y S. Gambaudo. 2007. Evaluación agronómica de un fertilizante compuesto con y sin el agregado de roca fosfórica en la secuencia trigo-soja. INTA - EEA Rafaela. Información técnica de trigo y otros cultivos de inviernos, campaña 2007. 107, 82-86.
- Chen, M., y Graedel, T. E. 2015. The potential for mining trace elements from phosphate rock. *Journal of Cleaner Production*, 91, 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.042>
- Constantino, M., Gómez, Álvarez, R., Álvarez, Solís, J.D., Pat, Fernández, J., Espín, G. 2010. Efecto de la biofertilización y los biorreguladores en la germinación y el crecimiento de *Carica papaya L.* *Rev. Colomb. Biotecnol.* 12 (2): 103-115.
- Dalla, Santa, O. R., Hernández, R. F., Alvarez, G. L., Ronzelli Junior, P., and Soccol, C. R. 2004. *Azospirillum* sp. Inoculation in wheat, barley and oats seeds greenhouse experiments. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 47: 843-850.
- Daniels, B.A. Ecology of VA mycorrhizal fungi. Jn: VA mycorrhiza, 1984 (Ed). C.L. Powel y D.J. Bagyaraj, CRC Press., pp. 35-55.
- Das, K., R. Dang, T. N. Shivan, and N. Sekeroglu. 2007. Influence of bio-fertilizers on the biomass yield and nutrient content in stevia rebaudiana bert. Grown in indian subtropics. *J. Med. Plants Res.* 1: 005-008.
- Deaker, R., Roughley, R.J., Kennedy, I. R. 2004. Legume seed inoculation technologyda review. *Soil Biol Bioch*;(36):1275-1288.
- Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Okon, Y., y Vanderleyden, J. 2002. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *Biol Fertil Soil*; (36):284-297.
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., Okon, Y. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences.* 22 (2): 107-149. DOI:10.1080/713610853.
- Dobereiner, J., Reis, V. M. y Lazarini, A. C. 1998. New N₂-fixing bacteria in association with cereals and sugarcane. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Dobereiner, J.; Baldani, V.L.; Baldani, J.I. 1995. Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas ñao leguminosas. p. 12-28.

- Domingues, Duarte., Camila, Fernandes., Cecato, Ulysses., Trento, Biserra., Thiago, Mamédio, Divaney, y Galbeiro, Sandra. 2020. Azospirillum spp. en gramíneas y forrajeras. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 223-240. Epub 11 de junio de 2020.<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>
- Ei, Lattief, E.A. 2016. Use of Azospirillum and Azobacter bacteria as bio-fertilizers in cereal crops: A review. In: International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences (IJREAS). V. 61 no 7, p.36~44. Disponible en: <http://euroasiapub.org/journals.php>. [Links]
- Espín, G. 2002. Biología de Azotobacter vinelandii. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fages J. 1995. *Azospirillum* inoculants and field experiments. En: Okon Y, editor. *Azospirillum/plant associations*. Boca Raton: CRC: 87-109.
- Fallik E, Okon Y. 1996. The response of maize (*Zea mays*) to *Azospirillum* inoculation in various types of soils in the field. *World J Microb Biot*; (12):511-515.
- Fernandes Júnior PI. 2006. Composições poliméricas a base de Carboximetilcelulose (CMC) e Amido como veículos de inoculação de Rizóbio em leguminosas [tesis maestría]. Brasil, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- Flores, García, Manuela. 2010. Capacidad germinativa de especies ornamentales (*Petunia* híbrida y *Coleus* spp.) en diferentes sustratos. Saltillo, Coahuila, México.
- Glick, B.R. 2012. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. In: Hindawi Publishing Corporation, Scientifica. Septiembre, Vol. no(1), p. 1-15.
- Gonzalez, Osorio, H y S Sadeghian, Kalahjabdadi. 2006. Efecto de corto plazo de diferentes fuentes de azufre sobre la acidez y disponibilidad de este elemento en la zona radical del café (*Coffea arabica* L.). *Cenicafé*, 57, 132-145.
- Gul, F.S. 2003. Growth and nitrogen fixation dynamics of *Azotobacter chroococcum* in nitrogen-free and OMW containing medium. The middle east technical university, p. 68.
- Hartmann, H. T.; Kester, C. D. 1999. Propagación de plantas, principios y prácticas. Séptima reimpresión. Editorial Continental México, D.F. Pp. 44-45.
- Hernández, Chontal, Mario Alejandro., Vázquez, Luna, Dinora., Linares, Gabriel, Ariadna., Dios, León, Gloria Esperanza De., Guerrero, Peña, Armando, y Rodríguez, Orozco,

- Nereida. 2020. Efecto de la inoculación de *Azospirillum* spp. sobre el contenido nutrimental de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). *Terra Latinoamericana*, 38(1), 29-38. Publicada el 20 de junio de 2020. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.542>
- Herwig, R. 1989. Plantas de interior, Ed Blume. Barcelona, España, pp. 192.
- Hungria, M, Nogueira M. A., Araujo, R. S. 2016. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. *Agr Ecosyst Environ* (221):125-131.
- Hungria M. 2011. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. Embrapa Soja - Documentos 325.
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). 2013. Manual de Producción Agrícola en Macetas Colgantes. Santa Lucía Cotzumalguapa.
- Itzigsohn R, Burdman S, Okon Y, Zaady, E. 2000. Plant-growth promotion in natural pastures by inoculation with *Azospirillum brasilense* under suboptimal growth conditions. *Arid Soil Res*; (13):151-158.
- Jiménez, L. D. 2018. Contenido nutrimental y nutraceutico en frutos de Frambuesa en un sistema de cultivo sin suelo con enmiendas minerales de diferentes minerales. Saltillo, Coahuila.
- Kader, M. A., Mian, M. H., Hoque, M. S. 2002. Effects of *Azotobacter* inoculant on the yield and nitrogen uptake by wheat, *J. Biol. Sci.* 2 (4): 259-261.
- Khademian, R., B. Asghari, B. Sedaghati, and Y. Yaghoubian. 2019. Plant beneficial rhizospheric microorganisms (pbrms) mitigate deleterious effects of salinity in sesame (*Sesamum indicum* L.): Physio-biochemical properties, fatty acids composition and secondary metabolites content. *Industr. Crops Prod.* 136: 129-139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.002>.
- Lakshminarayana, K., Narula, N., Hooda, I. S. y Faroda, A. S. 1993. Nitrogen economy in weath (*Triticum aestivum* L.) through use of *Azotobacter chroococum*. *Indian J. Agric. Sci.* 62: 75-76.
- Lara C., Oviedo L., Betancur C. 2011. Bacterias nativas con potencial en la producción de ácido indolacético para mejorar los pastos. *Zootecnia Trop.* 29 (2): 187-194.

- Levanony, H., Bashan, Y. 1991. Active attachment of *Azospirillum brasilense* to root surface of non-cereal plants and to sand particles. In: Nitrogen Fixation. Springer Netherland, Vol. 137, p. 91-97.
- Maldonado, R. J. y Casadeus, J. J. 1994. Changes of ploidy during the *Azotobacter vinelandii* growth cycle, *J. Bacteriol.* 176: 3911-3919.
- Mantelin, S. y Touraine, B. 2004. Plant growth promoting bacteria and nitrate availability: impacts on root development and nitrate uptake. *J. Exp. Bot.* 55 (394): 27-34.
- Mapa. 2004. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº36 de 3 de agosto de 2004- Anexo I. Diário oficial da União da República Federativa do Brasil, Brasília, nº 153 de 10 de agosto, 2004. Brasilia, DF, BRA: Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- Mascarini, L., G. Lorenzo, H. Svartz, S. Pesenti, y S. Amado. 2012. Tamaño de contenedor y tipo de sustrato afectan la eficiencia en el uso del agua en *Gerbera jamesonii* para flor cortada. *Rev. Bras. Hort. Ornam.* 18: 71-77.
- Mehran, M., M. Reza Ardakani, H. Madani, M. Zahedi, M Amirabadi, and S. Mafakheri. 2011. Response of sunflower yield and phytohormonal changes to azotobacter, azospirillum, pseudomonas and animal manure in a chemical free agroecosystem. *Ann. Biol. Res.* 2: 425-430.
- Mendez, Piedra, O. 2016. *Coleus Blumei* en el Chamanismo. Pensamientos acerca de la Sabiduría Metafísica Ancestral del Planeta Tierra y una Investigación sobre una Planta Sagrada: La Cretona.
- Michel, C., Morel, P., y Rivière, L., 2004, The importance of hidric history on the physical properties and wettability of peat, *Acta Hort.* 644, pp. 275-280.
- Montaño, N. M.; Camargo, S.L; García, R., Monroy, A . 2007. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos (Arbuscular mycorrhizae in arid and semiarid ecosystems). Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi-Prensa SA de CV, UAM- Iztapalapa, FES Zaragoza, UNAM. Distrito Federal, México, 460 pp.
- Mridha, M. A. U. and F. N. Al-Barakah. 2017. Green cultivation of moringa on arid agricultural land in saudi arabia. *ISHS Acta Hortic.* 1158:143-148. doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1158.17>.

- Narula, N., Kumar, V., Behl, R.K., Deubel, A., Gransee, A y Merbach, W. 2000. Effect of P-solubilizing *Azotobacter chroococum* on N, P, K uptake in P-responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163: 393-398.
- Noriega, G., Cárcamo, B., Gómez, Á., Schwentesius, R., Cruz, S., Leyva, J. y Martínez Hernández, A. 2014. Intensificación de la producción en la agricultura orgánica: caso café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 5: 163-169.
- Okon Y, Vanderleyden J. 1997. Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants, *Appl Environ Microbiol*; 63(7):366-370.
- Paul, E. A. y Clark, F. E. 1996. *Soli microbiology and biochemistry*. Segunda edición. Academic Press, San Diego, California.
- Pulido, L. E.; Medina, N.; Cabrera, A. 2003. La biofertilización con rizobacterias y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de posturas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y cebolla (*Allium cepa* L.). 1. Crecimiento vegetativo. *Cultivos Tropicales*, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana, Cuba, vol. 24, no I. p. 15-24. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218221003>.
- Punita, S. J., Reddy, M. A. y Das, H. K. 1989. Multiple chromosomes of *Azotobacter vinelandii*, *J. Bacteriol.* 171: 3133-3138.
- Quintero C., M. F., C. A. González M., y J. M. Guzmán P. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. *In: Flórez R., V. J. (ed). Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo.* Universidad Nacional de Bogotá. Colombia. pp: 79-108.
- Rasouli, F., A. K. Pouya, and N. Karimian. 2013. Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. *Geoderma*193-194: 246-255. doi:10.1016/j.geoderma.2012.10.001
- Reis VM, Baldini JI, Baldini VLD, Dobereiner J. 2000. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm Trees. *Plant Sci*, (19): -247.
- Remus, R., Ruppel, S., Jacob, H. J., Hecht-Buchholz, Ch. Y Merbach, W. 2000. Colonization behaviour of two enterobacterial strains on cereals. *Biol. Fertil. Solils.* 30: 550-557.

- Rojas, J. M.; Romero, D. M.; Cristales, M. D. R. B.; Andrade, O. R.; García, Y. E. M.; Saenz, Y. S. Y Lucio, M. C. 2016. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Rev Biol* 17(2): 24-34.
- Sariv, Z., Ragoviv, B. 1963. The effect of some plants on the dynamics of *Azotobacter* in the soil. In: *Annals of Scientific Work at the Faculty of Agriculture Novi Sad*. Vol 7. p. 1-11.
- Serralde, Ana María.; Ramírez, María Margarita. 2004. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. En: *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, octubre, vol. 5, no I, p. 31-40.
- Shaaban, M., Peng, Q., Lin, S., Wu, Y., Salman, M., Wu, L., ... Hu, R. 2016. Dolomite application enhances CH₄ uptake in an acidic soil. *Catena*, 140, 9– 14. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.014>
- Shaaban, M. 2014. Nitrous oxide emission from two acidic soils as affected by dolomite application. *Soil Res*, 36, 875–879
- Sibbett, G. 1995. Managing high pH, calcareous, saline, and sodic soils of the Western Pecan-growing region. *HortTechnology* 5: 222-225.
- Spaepen, S., Vanderleyden, J., Okon, Y. 2009. Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. *Adv Bot Res*, (51):283-320.
- Steenhoudt, O., Vanderleyden, J. 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS Microbiology Reviews*. 24 (4): 487-506.
- Torres, Duggan, M.; Rodríguez; R. Lavado.; R. Melgar. 2010. Tecnología de la fertilización azufrada en la Región Pampeana estado actual y tendencias. *Información Agronómica* 48: 19-26.
- Torrez, Callizaya, H. B. 2010. Efecto de Longitud de Estaca Herbácea en el Enraizamiento de Tres Variedades de Coleo (*Coleus Blumei*) Bajo Ambiente Atemperado. La Paz, Bolivia.
- Trasviña Barriga, Rafael Bórquez Olgún, José Leal Almanza, Luciano Castro Espinoza, y Marco Gutiérrez. 2018. Rehabilitación de un suelo salino con yeso agrícola en un cultivo de nogal en el Valle del Yaqui Rehabilitation of a saline soil with gypsum in a

- pecan orchard in the Yaqui Valley. Coronado Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 2018 Sur, Col. Centro. 85000 Ciudad Obregón, Sonora, México.
- Trujillo, A. T. 2014. Efecto de la roca fosfórica parcialmente acidulada y calcinada en la producción de maíz. *Revista de Colombia de Investigaciones 34 Agroindustriales*, 1, 55–62.
- Trujillo, A. T., Gómez, V. H. P., Herrera, C. H. B., & Cárdenas, E. M. 2015. Procesos de acidulación parcial y calcinación de la roca fosfórica del Huila para nuevos productos fertilizantes. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, (2), 37–44.
- Unno H. 2006. Atomic structure of plant glutamine synthetase. *J Biol Chem*; 281(39): 29287-29296.
- Urrestarazu, M. 2015. *Manual Práctico del Cultivo sin Suelo e Hidroponía*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 278 p.
- Valadares, Rafael., Mescolotti, Denise., Cardoso, Elke. 2016. Micorrizas. In: Cardoso, E.J.B.N., Andreote, F.D., (eds). *Microbiologia do solo* , 2da ed. Piracicaba, Brasil. 225p.
- Valenzuela, O. R., Gallardo, C. S., Carponi, M. S., Aranguren, M. A., Tabares, H. R., y Barrera, M. C. 2014. Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. *Cien. Docen. Tec.* 4: 1-19.
- Vallejo M.M., Bonilla C.R. 2007. Evaluación de la asociación bacterias fijadoras de nitrógeno - líneas interespecíficas de arroz-nitrógeno, en Typic haplustalf. *Acta Agron.*, 57 (1): 43-49.
- Vázquez, M.; Terminiello, A.; Casciani, A.; Millán, G.; Cánova, D.; Gelati, P.; Guilino, F.; Dorronzoro A.; Nicora, Z.; Lamarche, L.; Gracia, M. 2012. Respuesta de la soja (*Glycine max* L. Merr) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. *Ciencia del suelo*. 30: 43-55.
- Yadav, H., Fatima, R., Sharma, A., & Mathur, S. 2017. 2017. Enhancement of applicability of rock phosphate in alkaline soils by organic compost. *Applied Soil Ecology*, 113, 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.004>
- Zapata, F. y Roy, R. 2007. Utilización de rocas fosfóricas para agricultura sostenible. *Boletín FAO No 13*, Roma. 156.

Zayed, M. S. 2012. Improvement of growth and nutritional quality of moringa oleifera using different biofertilizers. Ann. Agric. Sci. 57: 53-62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2012.03.004>.

Zuberer, D.A. 1990. Soil and rhizosphere aspects of N₂-fixing plant-microbe associations. En: Lynch JM (ed) The Rhizosphere. John Wiley & Sons, Ltd, New York, p. 317-353.

Páginas WEB Consultadas.

Consultado el 16 de septiembre de 2020: infoagro. 2019. El cultivo del coleo.

Disponible en: https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_coleo.asp

Consultado el 25 de septiembre de 2020: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-38032017000200250&lang=es

Consultado el 26 de Septiembre de 2020: <https://www.ecured.cu/C%C3%B3leo>

Consultado el 27 de Septiembre de 2020: Infoagro2019. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_coleo.asp

Consultado el 28 de Septiembre de 2020: Especie o grupo inactivo. <https://www.naturalista.mx/taxa/278907-Coleus-blumei>

Consultado el 28 de septiembre de 2020: www.mayaflora.com.mx Descripción de Coleus