



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

**BIOFERTILIZACIÓN CON BACTERIAS
PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL Y
PRESIÓN OSMÓTICA DE LA SOLUCIÓN
NUTRITIVA EN LA PRODUCCIÓN DE COL
(*Brassica oleracea* Var. Royal Vantage)**

IRIS MARGARITA AGUILAR FLORES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2020

La presente tesis titulada: “**BIOFERTILIZACIÓN CON BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL Y PRESIÓN OSMÓTICA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA PRODUCCIÓN DE COL (*Brassica oleracea* var. *Royal Vantage*)**”, realizada por la alumna **IRIS MARGARITA AGUILAR FLORES**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



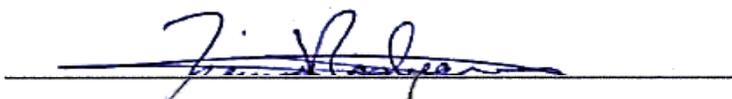
DR. DAVID ESPINOSA VICTORIA

ASESOR (A)



M.C. MOISÉS CARCAÑO MONTIEL

ASESOR (A)



DRA. MARÍA DE LAS NIEVES RODRÍGUEZ MENDOZA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2020

BIOFERTILIZACIÓN CON BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL Y PRESIÓN OSMÓTICA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA PRODUCCIÓN DE COL (*Brassica oleracea* Var. Royal Vantage)

Iris Margarita Aguilar Flores, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el efecto de la biofertilización y la presión osmótica en el desarrollo y producción de *Brassica oleracea* Var. Royal vantage en condiciones de invernadero. Se estableció un diseño factorial 4x3, donde los factores fueron cuatro niveles de presión osmótica (0.18, 0.36, 0.54 atm. y sin solución nutritiva), en combinación con inoculación bacteriana AA (*Azospirillum brasilense*+ *Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*) y un testigo sin inocular. Por cada tratamiento se establecieron 6 repeticiones. Las semillas inoculadas con el consorcio AA presentaron mayor porcentaje de emergencia (100 %) y una tasa de emergencia más alta (20.5), con respecto a la inoculación con el consorcio RC y las plantas no inoculadas. La inoculación con AA y la presión osmótica de 0.54 atm produjeron plantas más altas (60-65 %), y tallos con mayor diámetro (35-46 %). El número de hojas incrementó un 15 y 10 % en las plantas inoculadas con los consorcios AA y RC respectivamente. El peso de la biomasa fresca y la acumulación de la masa seca se duplicaron en las plantas inoculadas con respecto a las no inoculadas. Hubo una mayor concentración de K en plantas inoculadas con AA y RC (20-35 y 25-45 % respectivamente) con respecto a las plantas no inoculadas. La concentración de Nitratos se incrementó entre 200-350 y 60-230 % al inocular con AA y RC respectivamente. La concentración de P se incrementó entre un 200-500 % con el consorcio AA y entre 100-400 % con el consorcio RC. La producción de col incrementó más del 100 % en plantas inoculadas con los consorcios AA y RC, y con una presión osmótica de 0.54 atm en comparación con el control no inoculado.

Palabras clave: Col, bacterias promotoras de crecimiento vegetal, producción de cabeza.

BIOFERTILIZATION WITH PLANT GROWTH PROMOTING BACTERIA AND NUTRIENT SOLUTION OSMOTIC PRESSURE IN THE PRODUCTION OF COL (*Brassica oleracea* var. Royal Vantage)

**Iris Margarita Aguilar Flores, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2020**

ABSTRACT

In the present investigation, the effect of biofertilization and osmotic pressure on the development and production of *Brassica oleracea* var. Royal vantage in greenhouse conditions were evaluated. A 4x3 factorial design was established, the factors were four levels of osmotic pressure (0.18, 0.36, 0.54 atm and without nutrient solution), in combination with bacterial inoculation AA (*Azospirillum brasilense* + *Acinetobacter calcoaceticus*) and RC (*Raoultella terrigena* + *Chromobacterium violaceum*) and non-inoculated control. The rate and percentage of emergence, plant height, stem diameter, number of leaves, head production, production of fresh biomass, accumulation of dry mass and concentration of phosphorus, nitrate and potassium in sap were analyzed. Seeds inoculated with the AA consortium had the highest emergence percentage (100%) and a higher emergence rate (20.5), compared with inoculation with the RC consortium and the non-inoculated plants. Inoculation with AA and the osmotic pressure of 0.54 atm. produced taller plants (60-65%), and a stem with a larger diameter (35-46%). The number of leaves increased by 15 and 10% in the plants inoculated with the AA and RC consortia, respectively. The weight of the fresh biomass and the accumulation of the dry mass were doubled in the inoculated plants compared to the non-inoculated ones. There was a higher concentration of K in plants inoculated with AA and RC (20-35 and 25-45% respectively) compared to non-inoculated plants. The nitrate concentration increased between 200-350 and 60-230% when inoculating with AA and RC, respectively. The concentration of P increased between 200-500% with the AA consortium and between 100-400% with RC Cabbage production increased more than 100% in plants inoculated with the AA and RC consortia, with an osmotic pressure of 0.54 atm compared to the non-inoculated control. Cabbage production increased more than 100% in plants inoculated with the AA and RC consortia, with a osmotic pressure of 0.54 atm. compared to the non-inoculated control.

Key words: Cabbage, plant growth promoting bacteria, head production.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por aceptarme como estudiante de maestría, por todas las facilidades en el uso de instalaciones, material y por el excelente nivel académico que posee.

Al Colegio Nacional de Ciencia y Tecnología (CONAYT), que por medio de la beca otorgada permitió la realización de la presente investigación.

A los profesores que fungieron como mi consejo particular, el Dr. David Espinosa Victoria, el M.C. Moisés Carcaño García y la Dra. María de las Nieves Rodríguez, por su invaluable apoyo académico, técnico y personal. Durante el acontecimiento de la pandemia a nivel Internacional generada por el virus COVID-19, cada uno de estos profesores tuvo la disposición para realizar la presentación del examen de grado de manera presencial y virtual. Gracias por recibirme con los brazos abiertos y por compartir conmigo todo su conocimiento y experiencia.

Al QFB Salvador por su gran ayuda en el establecimiento y seguimiento del experimento, sus habilidades y conocimiento permitieron que el experimento concluyera con éxito.

A la Lic. Irene Osorio Alvarado, por las facilidades otorgadas en gestión de material, por asegurar que el laboratorio utilizado contara con todo lo requerido en la investigación y por estar siempre al pendiente de cada paso dentro de la maestría.

Y un agradecimiento muy especial a mis padres, el C. Juan Raymundo Aguilar Ramírez que en todo momento brindó su apoyo en la investigación, ya fuese en el establecimiento del experimento, transporte de material o compañía en horarios nocturnos. Mi madre, la C. Margarita Flores Moreno por estar siempre al pendiente del progreso de la maestría y la investigación.

¡De todo corazón gracias a todos por estar ahí!

ATENTAMENTE

Iris Margarita Aguilar Flores

DEDICATORIA

A mi esposo:

Cuando se encuentra a esa persona dispuesta a compartir contigo su bondad, experiencia, sus miedos, sueños, todo su conocimiento y principalmente su tiempo y amor, sabes que estás conduciendo tu vida por el camino correcto. Mi camino me llevó a conocer al ser maravilloso que es Marco Antonio González Patricio, presente en cada ilusión, respaldando cada decisión y brindándome esa libertad de vivir y amar que solo el puede dar.

Toma mi mano que no te soltaré y duerme tranquilo que tus sueños siempre velaré, te amo

Marco.

A mi familia:

Ustedes han sido esos pilares que sostienen mi vida cuando tambalea, siempre me alientan a seguir mis sueños y están dispuestos a brindarme su apoyo cuando lo necesito. No terminaría de expresar lo agradecida que estoy con cada uno de ustedes, este trabajo también les pertenece y como siempre dice mi madre ¡Vamos por más!.

Mis padres Margarita Flores Moreno y Juan Raymundo Aguilar Ramírez,

Mi hermano Oscar Raymundo Aguilar Flores

Mis sobrinos Dorian Misraim Aguilar Martínez y Gustavo González

Mi abuelita Margarita Moreno Silva que ya no pudo ver este logro, pero que siempre está conmigo, mi abuelito Ildefonso Flores Ibarra que en todo momento está pendiente de todos. Y a la familia que me ha aceptado con tanto amor en Chiapas, a quienes siempre llevo en el alma.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE CUADROS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Hipótesis general	3
Hipótesis específicas	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
Cultivo de col	3
Descripción y características taxonómicas de la col	4
Variedades	5
Propiedades nutrimentales	6
Estadísticas del cultivo	7
Condiciones climáticas y edáficas	9
Plagas y enfermedades	10
Papel de los nutrimentos en el cultivo de col	11
Nitrógeno	11
Fósforo	11
Potasio	12
Calcio	13
Boro	14
Criterios de calidad	14
Bacterias promotoras del crecimiento vegetal	14
Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas a Brassicas	16

Relación de la presión osmótica de la solución nutritiva en la producción de cultivos	17
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
Ubicación del experimento	18
Material vegetal	19
Cepas bacterianas.....	19
Prueba de emergencia de plántulas	19
Trasplante	20
Diseño experimental y tratamientos	21
Manejo de plagas y malezas	23
Variables evaluadas	24
Porcentaje y tasa de emergencia.....	24
Parámetros de crecimiento vegetal y estado nutrimental en savia.....	24
Evaluación de cabeza	25
V. RESULTADOS.....	25
Tasa y Porcentaje de Emergencia.....	25
Efectos en los parámetros de crecimiento vegetal.....	26
Efectos en la formación de cabeza	37
Efectos en el estado nutrimental en savia	39
VI. DISCUSIÓN.....	43
VII. CONCLUSIONES.....	49
VIII. LITERATURA CITADA	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Figura 1. Forma de cabeza presente en distintas variedades de col.....	5
Figura 2.	Principales países productores de col en el año 2018.	8
Figura 3.	Producción total de col en México en el periodo 2010-2018.....	8
Figura 4.	Producción total del año 2018, en los estados con mayor participación a nivel Nacional. Fuente: SIAP, 2020.	9
Figura 5.	Localización del experimento, Invernadero del área de Nutrición Vegetal, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. Fuente: elaboración propia.	18
Figura 6.	Comportamiento del número de plántulas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage emergidas en el transcurso de 15 días de observación. AA (inoculación con el consorcio <i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>), RC (inoculación con el consorcio <i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>), SB (Sin inoculación bacteriana).....	26
Figura 7.	Tasa y porcentaje de emergencia de plántulas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage después de 15 días de observación, Inoculadas con los consorcios AA (<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>), RC (<i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>) y sin inoculación bacteriana (SB), después de 15 días de observación.	26
Figura 8.	Altura de las plantas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante, inoculadas con los consorcios bacterianos AA (<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>) y RC (<i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>) y sin inoculación bacteriana (SB). Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).	27
Figura 9.	Altura de las plantas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage, bajo cuatro niveles de potencial osmótico, evaluadas a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).	28
Figura 10.	Altura de las plantas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage, debida al efecto combinado de inoculación con consorcios bacterianos AA (<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>) y RC (<i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>), sin inoculación bacteriana (SB) y presión osmótica, evaluadas a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).	29
Figura 11.	Diámetro de tallo de las plantas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage, inoculadas con dos consorcios de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, AA (<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>) y RC (<i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>), sin inoculación bacteriana (SB), evaluadas a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).	30
Figura 12.	Diámetro de tallo de las plantas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage, crecidas bajo cuatro niveles de potencial osmótico, evaluadas a los 25 (A), 39	31

	(B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).	
Figura 13.	Diámetro de tallo de las plantas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage promovido por el efecto combinado de inoculación con consorcios bacterianos AA (<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>) y RC (<i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>), sin inoculación bacteriana (SB) bajo diferentes presiones osmóticas, evaluadas a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).	32
Figura 14.	Número de hojas por planta de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage inoculadas con dos consorcios de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, AA (<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>) y RC (<i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>), sin inoculación bacteriana (SB), evaluado a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).	33
Figura 15.	Número de hojas por planta de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage inoculadas con dos consorcios de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, AA (<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>) y RC (<i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>), sin inoculación bacteriana (SB), evaluado a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).	34
Figura 16.	Número de hojas por planta de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage, mostrando el efecto combinado de inoculación con consorcios bacterianos AA (<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>) y RC (<i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>), sin inoculación bacteriana (SB) bajo diferentes presiones osmóticas, evaluado a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).	35
Figura 17.	Biomasa fresca (A, B, C) y peso seco de vástago (D, E, F) de plantas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage. Desarrolladas bajo cuatro niveles de presión osmótica (0, 0.18, 0.36 y 0.54 atm) y biofertilizadas con los consorcios AA (<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>) y RC (<i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>), SB (sin inoculación bacteriana), evaluado a los 81 días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$). ...	36
Figura 18.	Peso de la cabeza (A, B, C), diámetro de la cabeza (D, E, F) y clasificación de la cabeza (G, H, I), de plantas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage. Desarrolladas bajo cuatro niveles de presión osmótica (0, 0.18, 0.36 y 0.54 atm) y biofertilizadas con los consorcios AA (<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>) y RC (<i>Raoultella terrigena</i> + <i>Chromobacterium violaceum</i>), SB (sin inoculación bacteriana),	40

Figura 19. Contenido de Nitrógeno (A, B, C), Fósforo (D, E, F) y Potasio (G, H, I), en el extracto de savia peciolar de plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage, desarrolladas bajo cuatro niveles de presión osmótica (0, 0.18, 0.36 y 0.54 atm) y biofertilizadas con los consorcios AA (*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*), SB (sin inoculación bacteriana), evaluado a los 81 días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$). .. 42

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Contenido nutrimental de una porción fresca comestible (100 g) de col.	7
Cuadro 2.	Análisis de agua destinada para la preparación de la solución nutritiva en cada tratamiento.	21
Cuadro 3.	Tratamientos generados a partir de los niveles de fertilización, consorcios inoculados y testigos.	22
Cuadro 4.	Formulación de la solución nutritiva.	23
Cuadro 5.	Clasificación de las cabezas de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage, a partir de las mediciones de peso fresco total y diámetro ecuatorial.	37
Cuadro 6.	Clasificación de la cabeza de <i>Brassica oleracea</i> var. Royal vantage resultado de los tratamientos evaluados.	38

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mayor reto al que se enfrenta la humanidad es alcanzar la seguridad y soberanía alimentaria, como una estrategia para la conservación de su propia especie (Gouda *et al.*, 2018). La agricultura sostenible se basa en el uso de técnicas que permiten obtener cultivos con altos rendimientos de buena calidad, utilizando de manera racional el recurso suelo, la energía y los medios de producción química (Gaetano *et al.*, 2016). Durante las últimas décadas, se ha implementado el uso de variedades de cultivos de alto rendimiento, que demandan el uso de fertilizantes para proporcionar la cantidad necesaria de alimento y una adecuada nutrición (Yadav *et al.*, 2017). Estas prácticas agrícolas han provocado el uso excesivo de productos químicos sintéticos, que generan un deterioro en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo cultivable (Paustian *et al.*, 2016). Por lo que es urgente la implementación de prácticas que satisfagan las necesidades de producción y que promuevan un equilibrio en los ecosistemas (Hernández-Reyes *et al.*, 2019). Esto se puede lograr por medio de prácticas amigables con el ambiente, como el uso de biofertilizantes (Kumar *et al.*, 2017).

Obid *et al.* (2016) definen a los biofertilizantes como sustancias compuestas por microorganismos vivos que pueden aplicarse directamente en las semillas, raíces de plantas o suelos. Estos organismos colonizan la rizosfera o el interior de las plantas y promueven el crecimiento y desarrollo de los cultivos al favorecer la obtención de nutrimentos esenciales. La aplicación de un biofertilizante, además de mejorar la calidad y asegurar la sanidad de un cultivo, contribuye a la obtención de una producción agrícola sustentable (Díaz-Franco *et al.*, 2015). El efecto benéfico de la fertilización biológica reduce las necesidades de fertilizantes sintéticos; por lo tanto, es importante conocer los efectos comparativos en los cultivos (Rojas y Ortuño, 2007; Xiang *et al.*, 2012).

El cultivo de hortalizas es una actividad muy importante por el papel que juega en la seguridad alimentaria de la población (Jaramillo y Díaz, 2006). En los últimos años, en México ha crecido el consumo de col o repollo (*Brassica oleracea*), especialmente en zonas rurales, donde este cultivo ha alcanzado el segundo lugar en la producción de hortalizas (SIAP, 2020). Entre los factores que afectan la producción y tamaño de la col están, la densidad de población, la fertilización nitrogenada, el ambiente del cultivo y los cultivares (Cecílio-Filho *et al.*, 2011). Los productores han identificado como los principales problemas para la producción del cultivo de col, las plagas, las enfermedades y la falta de fertilidad en el suelo. Para reducir el impacto en la producción, la mayoría de las veces se utilizan de manera excesiva fertilizantes químicos sintéticos, herbicidas y plaguicidas (Santiago-Lastra y Perales-Rivera 2007).

Por lo tanto, el uso de la fertilización mineral balanceada con la aplicación de biofertilizantes, es una alternativa importante que permitirá conservar las características naturales de los suelos de cultivo, y al mismo tiempo proporcionará los nutrientes necesarios para obtener productos agrícolas con alto valor nutrimental.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

- Evaluar el efecto de la biofertilización y la presión osmótica en el desarrollo y la producción de *Brassica oleracea* Var. Royal vantage en condiciones de invernadero.

Objetivos específicos

- Cuantificar la tasa y el porcentaje de germinación de semillas *Brassica oleracea* Var. Royal vantage inoculadas y sin inocular con las bacterias promotoras del crecimiento vegetal

Azospirillum brasilense, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Raoultella terrigena* y *Chromobacterium violaceum*.

- Determinar la respuesta nutrimental del cultivo de *Brassica oleracea* Var. Royal vantage reinoculado con bacterias promotoras del crecimiento vegetal, en una mezcla de sustratos a cuatro niveles de presión osmótica (Testigo, 0.18, 0.36 y 0.54 atm).

Hipótesis general

- La biofertilización y el manejo de una presión osmótica de 0.54 atm incrementan la producción de *Brassica oleracea* Var. Royal vantage en un 75%.

Hipótesis específicas

- La inoculación con las bacterias promotoras de crecimiento vegetal *Azospirillum brasilense*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Raoultella terrigena* y *Chromobacterium violaceum*, genera la tasa y el porcentaje de germinación más altos en semillas de *Brassica oleracea* Var. Royal vantage.
- El contenido nutrimental de N, P, K en plantas de *Brassica oleracea* Var. Royal vantage incrementa un 80% cuando son inoculadas con bacterias promotoras de crecimiento vegetal a una presión osmótica de 0.54 atm.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Cultivo de col

El cultivo de la col (*Brassica oleracea*) o también conocido como repollo, es una de las hortalizas más longevas que existen a nivel mundial (Cecílio-Filho, 2011). Los registros señalan a poblaciones egipcias, utilizando a la col como alimento y como planta medicinal desde

el año 2500 a. C. El repollo, la col crespa y la col rábano fueron las primeras variedades en ser domesticadas (Dixon, 2007; Ramírez-Rivera, 2009). No se sabe con exactitud su origen, sin embargo, los estudios realizados indican que comenzaron a cultivarse y emplearse en la zona Mediterránea (Carrera *et al.*, 2005).

La col es una hortaliza que puede establecerse tanto en la temporada otoño-invierno, como en primavera-verano. La parte comestible de esta crucífera son las hojas compactadas que forman la cabeza (Cantwell y Suslow, 2013).

Descripción y características taxonómicas de la col

Clase: Dicotiledónea.

Familia: Crucíferas.

Género: *Brassica*.

Especie: *oleracea*.

Dentro de *Brassica oleracea* se consideran algunas variedades botánicas, que permiten distinguir las especies de importancia económica de acuerdo con el producto final cosechado (Girard, 1983). La col es un cultivo de ciclo bianual, los tallos que desarrolla durante el primer año son herbáceos, erguidos, cortos, poco ramificados, con una ligera consistencia leñosa. Su altura no sobrepasa los 30 cm, debido a que su elongación se detiene en una etapa temprana (Jaramillo y Díaz, 2006).

Las hojas que desarrolla la planta son alternas, simples, sin estípulas, lobuladas de color verde o rojizo dependiendo de la variedad, de bordes ligeramente aserrados y una forma oval. Como consecuencia de la hipertrofia de la yema vegetativa germinal y de la disposición envolvente de las hojas superiores, se forma una cabeza compacta (Hurst, 2009). En esta estructura la planta

acumula reservas nutritivas que, en caso de no ser cosechada éstas se movilizarán para el sustento de la planta, necesaria para la emisión del tálamo floral (Kelley y Granberry, 2017a).

Las flores se desarrollan generalmente en racimos, los cuales se forman a partir del tallo principal. Son de color amarillo, compuestas de cuatro sépalos y cuatro pétalos, dando origen a una abertura terminal en forma de cruz (Hurst, 2009).

Variedades

Existen numerosas variedades de col, las cuales se clasifican dependiendo de las características de distintas estructuras. De acuerdo con el follaje pueden ser de hojas lisas o arrugadas, como la col blanca o morada y de hojas crespas, como la col de Milán o repollo Savoy (Pang, 2015). Dependiendo de la variedad que se maneje, la cabeza de la col puede ser cónica, aplanada o redonda (Figura 1). Por la consistencia de la cabeza se clasifican en: floja, compacta o apretada y firme; las cabezas de hojas lisas son más apretadas que los repollos de hojas arrugadas. Por último, considerando el color pueden ser verde oscuro, verde claro, verde grisáceo o morado (estas últimas por la presencia de antocianinas) (Nilsson *et al.*, 2014).

Considerando todas las características anteriores existe un gran número de variedades de col, dentro de las cuales se encuentran: Copenhagen Market, Superette, Emerald Cross, Red Rockie, Sure Vantage, Blue Pak, Tenacity (83 G-11), Charmant, Cheers Head Start, Early Glory, YR25 y Vantage Point, entre otras (Kelley y Boyhan, 2017b).



Figura 1. Forma de cabeza presente en distintas variedades de col.
Fuente: Nilsson *et al.*, 2014.

En México destacan las siguientes variedades:

Green Boy. Es una col de maduración media (102 días después del trasplante). De color verde muy estable, interior muy blanco y cabeza redonda. Presenta pata larga, lo que permite cultivarla en época lluviosa con menores problemas de pudrición en las hojas inferiores. Es un repollo recomendable para el mercado doméstico, con gran tolerancia al manejo rudo, por lo que tiene facultades para transportarse a largas distancias (Kelley y Boyhan, 2017b).

Blue Vantage. Es una col de madurez mediana a precoz (90 a 110 días después del trasplante). Su cabeza es redonda y de color verde-azul a plata. Puede trasplantarse en cualquier momento, pero se desarrolla mejor cuando las temperaturas no son muy bajas. Es resistente a fusarium amarillo, quemaduras de la punta de la hoja y pudrición negra. Su diámetro es de 17 a 20 cm y su peso de 2.27 a 3.18 kg. La mayor ventaja es su capacidad para no sobre madurarse en el campo (Kelley y Boyhan, 2017b).

Royal Vantage. Es una col líder en México debido a que su calidad y tamaño es el ideal para mercado doméstico. Produce cabezas sólidas, redondas e interior muy relleno, sus hojas son apretadas, de color verde azulado. Es muy adaptable a diversos climas y condiciones de suelo, resultando en alto rendimiento. Posee un fuerte sistema radicular y tolerancia a enfermedades del suelo y foliares (Kelley y Granberry, 2017a).

Propiedades nutrimentales

Ferro (2020), indica que la col posee propiedades nutrimentales que benefician a la dieta y salud humana. Su valor nutritivo y medicinal radica principalmente en su elevado contenido de fibras, proteínas, vitaminas, carotenos y su bajo nivel en grasas (Cuadro 1) (Nilsson *et al.*, 2014).

La col es una fuente importante de vitaminas A, B6, C y K, la última es esencial en la formación de ciertas propiedades indispensables en la coagulación de la sangre (Ferro, 2020). El

sabor y olor característico de la col se asocia principalmente a su alto contenido de compuestos azufrados, responsables también del poder antioxidante (Reyes-Munguía, 2017).

Cuadro 1. Contenido nutrimental de una porción fresca comestible (100 g) de col.

Nutriente	Valor
Agua (%)	93
Energía (Kcal)	24
Proteína	1.2
Grasa (g)	0.2
Carbohidrato (g)	5.4
Fibra (g)	0.8
Ca (mg)	47
P (mg)	23
Fe (mg)	0.6
Na (mg)	18
K (mg)	246
Vitamina A (UI)	126
Tiamina (mg)	0.05
Riboflavina (mg)	0.03
Niacina (mg)	0.3
Ácido ascórbico (mg)	47.3
Vitamina B6 (mg)	0.1

Fuente: Modificado de Ferro, 2020

Estadísticas del cultivo

A nivel mundial el principal país productor de col es China, con un total de 33,840,686 t en el año 2018, aportando un 40.90% de la producción global (FAOSTAT, 2020). En México, la producción nacional promedio del año 2010 al 2018 fue 221129.88 t (Figura 3) (SIAP, 2020), con una producción total de 214806 t en el año 2018 (Figura 2), posicionándolo como el séptimo país productor con un 1.7% de participación global, detrás de países como India (11.6%), Estados Unidos (3.4%), Brasil (2.6%), Turquía (2.3%) e Irán (1.8 %) (FAOSTAT, 2020). En el panorama nacional, entre los principales estados productores de col en el país se encuentran Puebla, Nuevo

León, Chiapas, Michoacán y Zacatecas, encabezando la lista el estado de Puebla con un total de 73048.77 t en el 2018 (Figura 4).

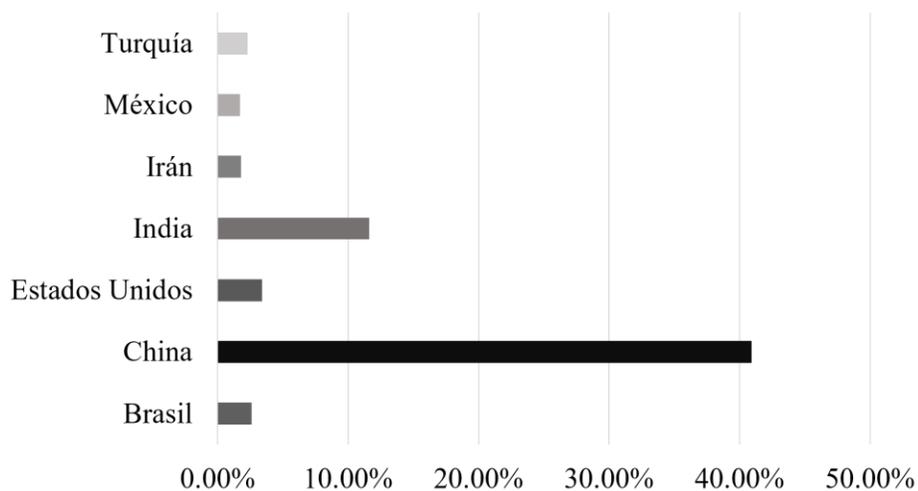


Figura 2. Principales países productores de col en el año 2018. Fuente: FAOSTAT, 2020.

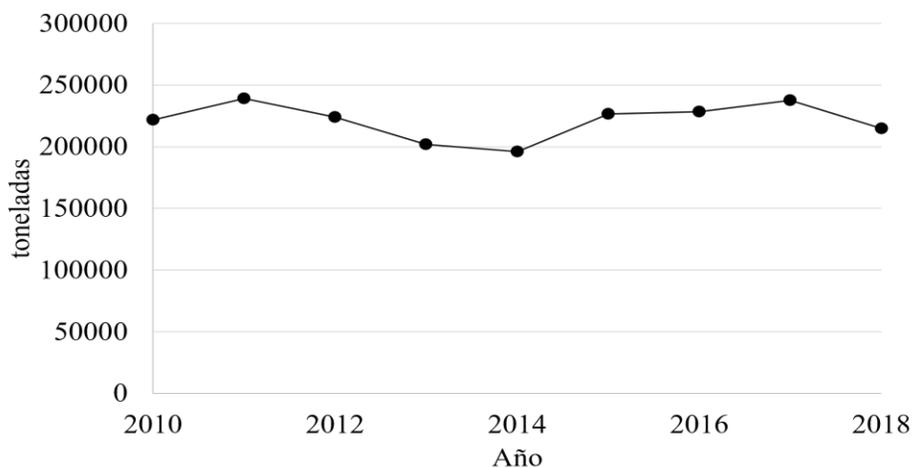


Figura 3. Producción total de col en México en el periodo 2010-2018. Fuente: SIAP, 2020.

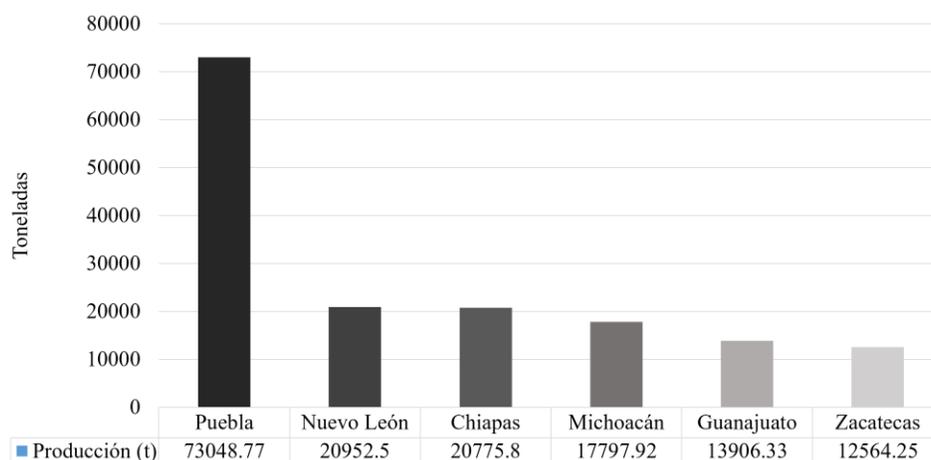


Figura 4. Producción total del año 2018, en los estados con mayor participación a nivel Nacional. Fuente: SIAP, 2020.

Condiciones climáticas y edáficas

El rango óptimo de temperatura para el desarrollo del repollo está entre 15 y 18 °C. Por encima de 25 °C y por debajo de los 0 °C el desarrollo del repollo es lento. La temperatura mínima del suelo para la germinación de la semilla es de 5 y la máxima es de 35 °C (Santiago-Lastra y Perales-Rivera, 2007). Las plantas jóvenes con 6 mm de diámetro pueden tolerar temperaturas frías y cálidas al igual que las plantas adultas.

La col se adapta a suelos de tipo limo-arenosos a limo arcillosos y es ligeramente tolerante a pH ácidos del rango de 6 a 6.5. La col desarrolla bien en suelos moderadamente pesados (Adams *et al.*, 2017a).

El cultivo de col es moderadamente sensible a las sales (1.8 dS/m) en promedio y cuando se le establece en suelos arcillosos puede tolerar hasta 1.2 dS/m. En cambio, en suelos arenosos puede llegar a tolerar 3.5 dS/m mientras que en suelos medios tolera 2 dS/m (Ramírez, 2009).

Plagas y enfermedades

Dentro de los insectos plaga que atacan a los cultivos de las coles se encuentran: el falso medidor de la col *Trichoplusia ni*, el gusano importado de la col *Pieris rapae* (L.), y la *Plutella* o palomilla (*Plutella xylostella*) (Srinivasan *et al.*, 2017). La palomilla es un insecto con cuatro etapas que se especializa en atacar las coles. La larva es una plaga masticadora que daña a la planta, es considerada una de las plagas principales que ataca a la col y si no se controla a tiempo, se puede perder el cultivo (Adams, 2017b). El pulgón harinoso de la col *Brevicoryne brassicae* (L.), el pulgón verde del durazno *Myzus persicae* (Sulzer) y el gusano telarañero *Hellula undalis* (F.) son plagas destructivas de las Crucíferas que causan serios daños en los meses cálidos y veranos húmedos (Fornaris, 2014). Otros insectos-plaga no menos importantes son: grillos, gusanos trozadores, escarabajos voladores, saltamontes y thrips (Jaramillo, 2001).

Las principales enfermedades que afectan al repollo son:

Mancha foliar de *Alternaria*. Es una enfermedad fúngica, causada por especies de *Alternaria*. Afecta tanto a las plántulas como a las plantas más viejas con manchas oscuras en el tallo y manchas marrones en las hojas. Si no se maneja de inmediato, las hojas infectadas se volverán amarillas y caerán (Segura y Lardízabal, 2008).

Pudrición Negra. Es una enfermedad bacteriana, causada por *Xanthomonas campestris*. Infecta principalmente las partes superficiales de la planta (Fornaris, 2014).

Mildiú Lanoso de la col. *Peronospora parasitica* es responsable de esta enfermedad y causa manchas necróticas en las hojas más viejas (Segura y Lardízabal, 2008).

Papel de los nutrimentos en el cultivo de col

Nitrógeno

La asimilación de nitrógeno (N) por las plantas es en forma de nitratos, amonio y urea [CO(NH₂)₂]. El N es requerido por los cultivos para un correcto crecimiento, es muy importante en el proceso de división celular en el ápice del tallo y puntos de crecimiento (Moreira *et al.*, 2011). Es componente de sustancias nitrogenadas transportadas por el agua y almacenadas en distintos tejidos (tallo y raíz). El N es necesario en las primeras etapas de los cultivos para la formación de materia verde en el proceso de crecimiento (Idrovo, 2008).

En el caso particular de la col, el nitrógeno es el componente principal, seguido del potasio (Filgueira, 2000), ambos son muy importantes para la formación y calidad del producto de consumo (Haque *et al.*, 2006; Moreira *et al.*, 2011). Las especies de la familia *Brassicaceae* responden favorablemente a la fertilización nitrogenada y la producción aumenta con 300 kg de N ha⁻¹ (Porrás, 2007). Cuando no se suministra la cantidad suficiente de N se reduce la producción, se atrasa la maduración y disminuye la calidad del sabor. Por otra parte, el exceso de N ocasiona grietas en el tallo, disminuye la compactación de la cabeza y aumenta la concentración de nitrato en las hojas (Moreira *et al.*, 2011).

Fósforo

El P inorgánico actúa como coenzima y mantiene el equilibrio con el fósforo orgánico dentro de la planta. El fósforo orgánico interviene en la constitución de compuestos de almacenamiento y de estructura como la fitina (abundante en las semillas), fosfolípidos (como la lecitina) y nucleoproteínas (constituyentes de los cromosomas) (Cerón-Rincón y Aristizábal-Gutiérrez, 2012). El fósforo orgánico también forma parte de compuestos energéticos de la planta

como el adenosin difosfato y adenosin trifosfato (ADP y ATP), que funcionan como almacenadores y transportadores de energía (Gómez-Merino *et al.*, 2016; Banerjee, 2010). En las plantas, la fotosíntesis y la respiración son activados por el P inorgánico. Los ésteres de fosfato actúan, en general, como portadores energéticos en varias rutas metabólicas y como precursores de los ácidos nucleicos, mientras los fosfolípidos juegan un papel importante en la integridad y función de las membranas celulares (Banerjee, 2010).

La deficiencia de fósforo trae serias consecuencias, tales como el desarrollo inadecuado del sistema radicular, lo que disminuye tanto la absorción de nutrientes, como la elongación de las hojas (las cuales denotan una coloración azul verdosa) y de igual manera se reduce la captación de agua. También se produce un retardo en la formación de semillas y la maduración de frutos (Cerón-Rincón y Aristizábal-Gutiérrez, 2012).

Potasio

El K es el catión absorbido en mayor cantidad por las plantas, lo que lo hace el más abundante en las células vegetales, llegando a representar el 10% del peso seco de la biomasa seca (Gómez-Merino *et al.*, 2016). Las concentraciones más altas se encuentran en hojas nuevas, peciolo y tallos de la planta. Altas concentraciones de K causan la deficiencia de N, Ca y Mg. La forma disponible para la raíz es el catión K^+ . El K está involucrado en el mantenimiento del estado hídrico de la planta, presión de turgencia de las células, apertura y cierre estomático, balance de iones y regulación de pH. Es necesario para la acumulación y translocación de carbohidratos que son productos de la fotosíntesis (Banerjee, 2010). El K interviene en procesos metabólicos y reacciones catalizadoras, un ejemplo de ello es que participa activamente en la formación de los tejidos (Navarro y Navarro, 2003).

La deficiencia de potasio es conocida como punta quemada, puede aparecer en la col en todos los tipos de suelo; los síntomas consisten en amarillamiento entre las venas de las hojas con decoloración confinada a los márgenes externos de las hojas. Las hojas decoloradas se encuentran moribundas, primero los tejidos afectados se vuelven café y empiezan hacerse quebradizos (Gómez-Merino, 2016). Las plantas afectadas durante época temprana de desarrollo producen cabezas blandas, flojas y no comestibles (Znidarcic, 2007).

Calcio

El calcio es absorbido fundamentalmente bajo la forma de Ca^{2+} . Después del potasio, el elemento básico más abundante que existe en las plantas (Gómez-Merino *et al.*, 2016). En las plantas jóvenes, se encuentra preferentemente en el protoplasma y en las membranas celulares, mientras que en las adultas se halla en las vacuolas, principalmente bajo la forma de oxalato (Azcón-Bieto, 2008). Una de las principales funciones del calcio en la planta es la de formar parte de la estructura de la protopectina, como agente cementante para mantener las células unidas. Cuando la protopectina se degrada se originan productos más simples, principalmente pectatos cálcicos solubles. Esta función es importante debido a que, si el calcio fuese reemplazado por otros elementos esenciales como potasio o calcio, los compuestos orgánicos y las sales minerales no se retendrían por las membranas (Navarro y Navarro, 2003). Se le atribuye también al calcio la regulación de la absorción de nitrógeno, participa en la translocación de carbohidratos y proteínas dentro de la planta, activa algunas enzimas como amilasa y fosfolipasas, neutraliza ácidos orgánicos generados en el metabolismo vegetal y contrarresta los efectos perjudiciales de del exceso de elementos como potasio, sodio o magnesio (Chatterjee, 2010).

La falta de calcio suele producir una necrosis de los bordes de las hojas más jóvenes (lo que se conoce como “necrosis apical”). La carencia de magnesio provoca un amarillamiento

internerval en las hojas más viejas. La relación Ca : Mg no debe superar el valor de tres (Brandt, 2003).

Boro

Por ser un cultivo altamente sensible a la deficiencia de boro y molibdeno en el suelo, debe existir un mínimo de 1 ppm. de boro en el suelo; en caso contrario se debe recurrir a la aplicación foliar de este micronutriente. Las deficiencias de boro aparecen en el repollo usualmente en una forma polvorienta como áreas de color café y grietas en la medula del tallo (Jaramillo y Diaz, 2005).

Criterios de calidad

En 1945 el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés; United States Department of Agriculture) definió los criterios de clasificación que consideran a la col como producto de buena calidad. Después de quitar las hojas externas, la cabeza debe presentar el color característico de la variedad (verde, rojo, o de color típico de la variedad); ser sólida (firme), pesada para su tamaño, sin marchitez por pérdida de humedad, no blanda o hendida; que se encuentre libre de pudrición blanda, sin presencia de tallo floral, y sin de daños causados por decoloración, congelamiento, enfermedades, insectos, daños mecánicos o de otro tipo. El tallo no debe sobresalir más de media pulgada del punto donde la hoja más externa está adherida a la cabeza del repollo; un tallo más largo podría causar daño a otras cabezas durante su manejo (USDA, 1945).

Bacterias promotoras del crecimiento vegetal

En 1978, Kloeppler y Schroth realizaron experimentos con rábanos, donde encontraron lo que llamarían rizobacterias (comunidad bacteriana que coloniza competitivamente las raíces de la planta, que estimulan su crecimiento y reducen la incidencia de las enfermedades). Para 1981, los

mismos investigadores denominaron a este grupo específico de bacterias como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR por sus siglas en inglés: Plant Growth Promoting Rhizobacteria) (Abbasi *et al.*, 2015).

Las PGPR colonizan el sistema radicular de las plantas, siendo grandes aliadas en la adquisición de nutrimentos, participando en los mecanismos que inducen la acumulación de biomasa de la raíz; a la par de que en algunos casos intervienen evitando que determinados factores produzcan efectos perjudiciales en el desarrollo de las raíces (Choudhary, 2017).

Los mecanismos con los cuales cumplen éstas funciones se denominan directos e indirectos (de Souza, 2015). Los primeros son aquellos donde estos microorganismos estimulan el desarrollo de las plantas, a través de la producción de reguladores de crecimiento (auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico), la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización y mineralización de fosfatos, adquiriendo el nombre de fitoestimuladores (Malik y Sindhu, 2011; Ahemad y Khan, 2012)

Por su parte los mecanismos indirectos ocurren cuando las PGPR inhiben la proliferación de microorganismos fitopatógenos, por medio de la síntesis de antibióticos, sideróforos, enzimas líticas o bacteriocinas (Ortíz-Castro *et al.*, 2014). En conjunto estos mecanismos tienen potencial de mejorar la calidad de los frutos y la eficiencia del suministro de los fertilizantes sintéticos y plaguicidas (Beneduzi, 2012). Dentro de las PGPR se han estudiado aquellas con mayor relevancia en la agricultura, *Acinetobacter* spp., *Aeromonas* spp., *Azospirillum* spp., *Bacillus* spp., *Erwinia* spp., *Flavobacterium* spp., *Burkholderia* spp., *Pseudomonas* spp., *Rhizobium* spp., *Serratia* spp., entre otros (Goswami *et al.*, 2016, Khan. *et al.*, 2018).

Se han establecido cuatro características generales que definen este grupo: a) Que las bacterias no requieran de la invasión interna de tejidos vegetales, como ocurre en hongos

micorrízicos con la formación de arbusculos o nódulos en el caso de *Rhizobium*; b) Que tengan una elevada densidad poblacional en la rizósfera después de su inoculación, ya que una población que declina rápidamente tiene una baja capacidad competitiva con la microbiota nativa del suelo; c) Que presenten capacidad de colonización efectiva en la superficie de la raíz y como consecuencia puedan influir positivamente en el crecimiento de la planta y d) Que no produzcan daño en el hombre ni a otros microorganismos (Goswami *et al.*, 2016).

Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas a Brassicas

Como respuesta a la necesidad de generar biotecnología en la producción de hortalizas a nivel Internacional, en la actualidad se han realizado experimentos que incluyen al género *Brassica* y diversas BPCV (Khan, 2018). Los objetivos de las investigaciones generadas abordan aspectos tales como: incrementar la calidad del producto, vigor y adaptabilidad, produciendo plántulas con raíces bien desarrolladas y de rápida adaptación a las condiciones de estrés causadas por el trasplante (Cruz-Romero, 2016). Al mismo tiempo que se busca disminuir el uso excesivo de agroquímicos (Thakur, 2018).

Cruz-Romero *et al.* 2016, propusieron la inoculación con cepas 7A y AMRp10 de *Azospirillum* y la aspersión foliar de miel de abeja 2% (AFMA) como alternativas de nutrición de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), evaluando su efecto en la altura, área foliar, diámetro de tallo, peso seco y unidades SPAD. La inoculación de *Azospirillum* 7A, en las plántulas de brócoli incrementaron en 7% las unidades SPAD respecto al tratamiento *Azospirillum* FMA y 11% el diámetro de tallo en comparación con el inducido por *Azospirillum* AMRp10. Esto demostró que la cepa 7A de *Azospirillum* presenta efectos promotores del crecimiento vegetal, siendo una alternativa biotecnológica en la producción de plántulas de brócoli.

En 2016, Borboa-Flores *et al.* utilizaron cepas de *Bacillus amilolyquefasceniens*, como complemento a la fertilización edáfica en el rendimiento de los de los híbridos, Marathon Heritage y Avenger de *Brassica oleracea*, bajo condiciones de invernadero. Los resultados evidenciaron que el híbrido Avenger co-inoculada con ambas bacterias mostró valores significativos en las variables de rendimiento. Así *Bacillus amilolyquefasceniens*, dentro del grupo de rizobacterias puede ser utilizada como biofertilizante en la producción de cultivos.

Por su parte, Kang *et al.* (2019), trabajaron con una cepa de *Pseudomona koreensis* MU2 que incrementó significativamente la longitud del brote, la longitud de la raíz, la biomasa fresca y la biomasa seca del cultivo de col (*Brassica Oleracea* var. capitana). Estos resultados sugieren que *Pseudomona koreensis* MU2, puede ser considerada como un biofertilizante efectivo en la promoción del crecimiento de las plantas.

Relación de la presión osmótica de la solución nutritiva en la producción de cultivos

La demanda y escasas de agua a nivel mundial ha propiciado la búsqueda de nuevas alternativas de riego, entre las opciones que se han explorado se encuentran las fuentes de agua de mala calidad, lo que requiere de nuevos métodos de diseño (Sinaí y Dalins, 2009). Sin embargo, el uso excesivo de agua de baja o mala calidad provoca el efecto de salinidad en suelos, lo que afecta su capacidad de producción (dos-Santos *et al.*, 2017; Azpilcueta-Pérez *et al.*, 2017). La respuesta de las plantas a la salinidad es diversa, depende de las condiciones ambientales, el manejo del cultivo, de la especie y su fisiología (Urrestarazu *et al.*, 2013). Maas y Hoffman (1977) clasificaron a los cultivos establecidos en suelos en tres categorías, cultivos sensibles, tolerantes y muy tolerantes a la salinidad, por lo que valores altos son considerados perjudiciales para los cultivos.

El estrés osmótico está asociado con la falta de extensión de la pared celular y de la falta de expansión de las células, que conduce al cese del crecimiento. El efecto iónico interfiere con el desequilibrio de nutrientes, la absorción de nitrógeno, y el transporte de iones esenciales dentro de la planta (Greenway y Munns, 1980). Un mecanismo de acción de las plantas ante el estrés osmótico es el ajuste osmótico que se produce con la disminución del potencial hídrico del suelo, lo que provoca que la planta reduzca su potencial osmótico acumulando solutos inorgánicos fundamentalmente K^+ y solutos orgánicos, llamados “compatibles” cuyo principal papel es la estabilización de proteínas, membranas y estructuras subcelulares (Epstein y Bloom, 2005).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento fue desarrollado durante el periodo de mayo a octubre del 2019. Se estableció en invernadero del área de Nutrición Vegetal en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, ubicado en el Municipio de Texcoco de Mora, Estado de México, en las coordenadas $19^{\circ}27'51''$ latitud Norte, $98^{\circ}54'15''$ longitud Oeste, a una elevación de 2250 m.

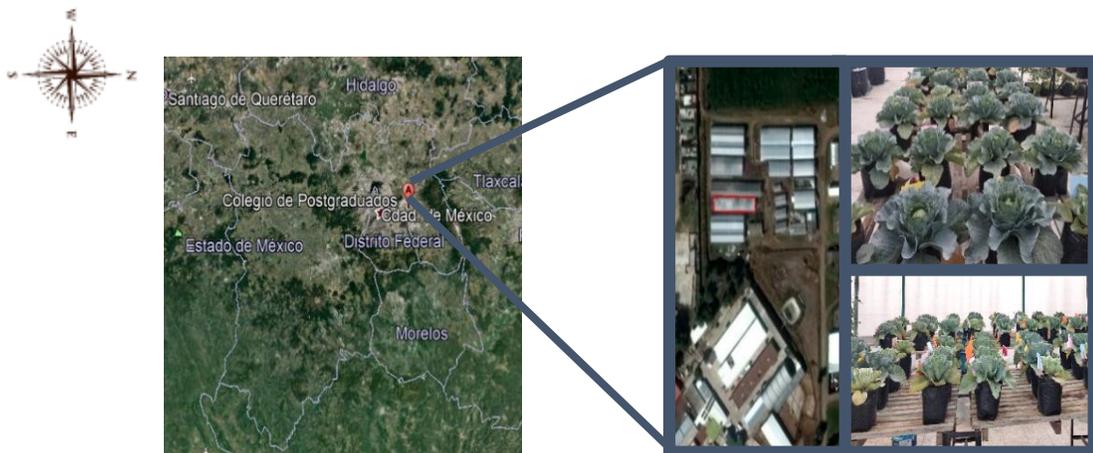


Figura 5. Localización del experimento, Invernadero del área de Nutrición Vegetal, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. Fuente: elaboración propia.

Material vegetal

Como material vegetal se utilizó semilla certificada de *Brassica oleracea* variedad Royal vantage, distribuida por la empresa SAKATA® y adquirida en el establecimiento Agroquímicos Texcoco, ubicado en el Municipio de Texcoco, Estado de México. Esta variedad de col o repollo es de ciclo medio, con follaje de color verde azulado, cabeza esférica, blanca en su interior, muy dulce, adecuada para el consumo en fresco, y almacenamiento postcosecha. En general presenta buen comportamiento frente a enfermedades, y puede cultivarse durante todo el año. En la etapa germinativa se contó con 300 semillas y en el momento del trasplante se seleccionaron 72 plántulas.

Cepas bacterianas

Las bacterias elegidas provinieron de cepas de *Azospirillum brasilense* (UAP151), *Acinetobacter calcoaceticus* (BUAP-35), *Raoultella terrigena* (KMT10-2) y *Chromobacterium violaceum* (BUAP-40), que pertenecen a la colección del Laboratorio de Microbiología de Suelos del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Para el experimento se establecieron dos consorcios bacterianos compuestos por dos bacterias cada uno. En el primer consorcio se incluyeron las bacterias *A. brasilense* + *A. calcoaceticus* (AA), mientras que el segundo consorcio se conformó por *R. terrigena* + *C. violaceum* (RC).

Prueba de emergencia de plántulas

Se seleccionaron al azar 300 semillas, de las cuales 100 fueron colocadas en un recipiente estéril con 1mL de agua destilada (control sin inoculación bacteriana). Las siguientes 100 semillas se sumergieron en otro recipiente estéril con 1mL del consorcio AA. Finalmente, las últimas 100 semillas se colocaron en un tercer recipiente estéril y se inocularon con 1 mL del consorcio RC.

Los tres recipientes se mantuvieron sellados sobre una mesa de laboratorio durante 12 horas. Para la siembra se utilizaron seis semilleros de polietileno negro con 50 cavidades cada uno, preparados con turba como sustrato. Pasadas las 12 horas se sembraron las semillas, abarcando dos semilleros para cada inoculación bacteriana (AA y RC) y el control sin inoculación. Los semilleros se colocaron en una bodega del área de Nutrición Vegetal que proporcionó un ambiente fresco y seco. Tres días después de la siembra se observaron las primeras plántulas emergidas, los semilleros se trasladaron al interior del invernadero y comenzó el conteo diario de emergencia de plántulas. El riego durante esta etapa se efectuó manualmente dos veces al día (8 a.m. y 6 p.m.) con agua destilada proporcionada por laboratorios de Nutrición Vegetal y Microbiología del Suelo, pertenecientes al Posgrado de Edafología en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Cuando las plántulas desarrollaron sus dos primeras hojas verdaderas comenzó a suministrarse solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1961) con una PO de 0.18 atm.

Trasplante

El sustrato utilizado consistió en la mezcla de vermiculita, agrolita y suelo proveniente de la comunidad de Tequexquahuac, en una proporción 1:1:2 v/v/v respectivamente. Los tres componentes fueron fumigados con el nematicida comercial Nimitz 480 EC[®] y el bactericida comercial ANIBAC[®] PLUS. La mezcla se realizó en un área cerrada, seca y fresca, donde se extendió sobre una bolsa negra de polietileno previamente esterilizada con el bactericida ANIBAC[®] PLUS. Para la mezcla de los tres componentes se utilizó una pala nueva y esterilizada. Una vez lista la mezcla se procedió al llenado de bolsas de polietileno negro con una capacidad de 5 L, mismas que fueron trasladadas al interior del invernadero. Cada una de las bolsas se colocó sobre un bancal elevado un metro del suelo, con una distancia de 40 cm entre cada una. Después de 20 días de la siembra se seleccionaron al azar 24 plántulas de los semilleros inoculados con el

consorcio AA, los cuales se reinocularon en la parte del cepellón con 1 mL del consorcio AA. De los semilleros inoculados con el consorcio RC se eligieron 24 plántulas y se reinocularon con el consorcio RC. De los semilleros sin inoculación bacteriana se tomaron 24 plántulas a las que se les aplicó agua destilada estéril. Una vez que las plántulas fueron trasplantadas a las bolsas de polietileno, el riego se efectuó manualmente con agua potable disponible en el interior del invernadero. Se realizó un análisis químico del agua (Cuadro 2). En cuanto al nivel de pH y CE, ambos se ajustaron en el momento de la preparación de solución nutritiva. Los riegos se realizaron de manera manual distribuyendo 1 L de agua en dos horarios durante el día (7 am. y 5 p.m.).

Cuadro 2. Análisis de agua destinada para la preparación de la solución nutritiva en cada tratamiento.

Elemento	Concentración (mg L ⁻¹)	Elemento	Concentración (meq L ⁻¹)
Cl	39.98	CO ₃ ⁻²	Trazas
P	0.036	HCO ₃ ⁻	5.62
S	14.997	NO ₃ ⁻	7.88
K	2.788	NH ₄ ⁺	3.64
Mg	28.56		
Ca	31.456		
Fe	Trazas		
B	0.024		
Cu	0.01		
Mn	0.004		
Na	37.493		
Zn	0.058		

Abreviaciones: Cl= Cloro; P= Fósforo; S= Azufre; K= Potasio; Mg= Magnesio; Ca= Calcio; Fe= Hierro; B= Boro; Cu= Cobre; Mn= Manganeseo; Na= Sodio; Zn= Zinc; CO₃⁻²= Carbonatos; HCO₃⁻ Bicarbonatos; NO₃⁻= Nitratos; NH₄⁺= Amonio. Fuente: Laboratorio Central de la Universidad Autónoma Chapingo.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue un factorial 4x3, con un arreglo completamente al azar. Los factores establecidos fueron cuatro niveles de presión osmótica (0.18, 0.36, 0.54 atm y sin solución

nutritiva), en combinación con la inoculación con los consorcios bacterianos AA (*A. brasilense* + *A. calcoaceticus*) y RC (*R. terrigena* + *C. violaceum*) y un testigo sin inocular, con lo que se obtuvieron un total de 12 tratamientos (Cuadro 3). Por cada tratamiento se establecieron 6 repeticiones, con un total de 72 unidades experimentales.

Cuadro 3. Tratamientos generados a partir de los niveles de fertilización, consorcios inoculados y testigos.

Tratamiento	Factores	
	Consorcio bacteriano	PO (atm)
AA/0	AA	Testigo
RC/0	RC	Testigo
SB/0	SB	Testigo
AA/0.18	AA	0.18
RC/0.18	RC	0.18
SB/0.18	SB	0.18
AA/0.36	AA	0.36
RC/0.36	RC	0.36
SB/0.36	SB	0.36
AA/0.54	AA	0.54
RC/0.54	RC	0.54
SB/0.54	SB	0.54

Abreviaciones: PO= Presión osmótica, atm= atmósferas, AA= consorcio *Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*, RC= consorcio *Rouletella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*, SB= Sin inoculación bacteriana.

El suministro nutrimental se efectuó a partir de una solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1961) preparada cada tres semanas en un contenedor negro de 200 L (Cuadro 4). De esta solución se obtenían 18 L a una presión osmótica de 0.18 atm, 18 L más a una presión osmótica de 0.36 atm. y 18 L a una presión osmótica de 0.54 atm. Los 18 L de cada solución nutritiva se aplicaron cada tercer día a las 18 plantas que les correspondía según el tratamiento, distribuyendo de manera manual 1 L por planta en dos horarios durante el día (8 a.m. y 5 p.m.). El pH se ajustó a valores entre 5.5 y 6.5, añadiendo ácido sulfúrico (H_2SO_4). Las 18 plantas restantes se regaron con agua

potable disponible en el interior del invernadero. Los días que no se aplicó solución nutritiva, todos los tratamientos se regaron con agua potable.

Con la ayuda del programa SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc.), los datos obtenidos a partir de las variables establecidas fueron sometidos a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha= 0.05$).

Cuadro 4. Formulación de la solución nutritiva.

Componentes	Concentración (mM)	Fertilizante	Cantidad a disolver (gL ⁻¹)
NO ₃ -	12.0	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1.06
H ₂ PO ₄ -	1.0	KNO ₃	0.303
SO ₄ ²⁺	3.5	K ₂ SO ₄	0.261
K ⁺	7.0	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.493
Ca ²⁺	4.5	KH ₂ PO ₄	0.136
Mg ²⁺	2.0	Micronutrientes	0.41 mg

Manejo de plagas y malezas

Par evitar el desarrollo de malezas se colocó sobre la superficie del sustrato en cada una de las unidades experimentales una capa de 1.5 cm de tezontle rojo, con un diámetro de 0.8 cm. Durante la etapa vegetativa y la de producción, el cultivo fue atacado en dos ocasiones por gusano medidor y pulgón. Se aplicaron dos productos de origen natural, el primero Allium®, que es un repelente botánico de insectos plaga a base de extracto acuoso de ajo. Con este producto se controló la incidencia de gusano, diluyendo 10 mL de Allium por cada litro de agua y asperjando las hojas de las plantas en las primeras horas de la mañana. Para el control de pulgón se utilizó Pyremax 0.2% PH ®, que es un insecticida del grupo de las piretrinas naturales, el producto actúa por contacto e ingestión y está formulado como un polvo humectable. La aplicación fue también por medio de aspersiones foliares diluyendo 5g del polvo por cada litro de agua.

Variables evaluadas

Porcentaje y tasa de emergencia

El porcentaje de emergencia se obtuvo examinando las charolas de germinación al final del estudio (15 días) (Murillo *et al.*, 2000). La tasa de emergencia se define como la suma de semillas emergidas en un lapso determinado. La emergencia de plántulas se contabilizó diariamente durante 15 días. La tasa de emergencia y el porcentaje se evaluaron mediante la observación de la emergencia de la plántula (visibilidad de la plántula fuera del sustrato). El número de semillas emergidas se determinó mediante lecturas diarias (tasa de emergencia) y finalmente el porcentaje de emergencia se determinó a los 15 días.

La tasa de emergencia se calculó de acuerdo con Maguire (1962) con la ecuación:

$$M = n1 /t1 + n2 /t2 + \dots n20/t15.$$

Donde:

$n1$, $n2$, ... $n20$ representan el número de semillas emergidas en el tiempo $t1$, $t2$, ... $t15$ (en días).

Parámetros de crecimiento vegetal y estado nutrimental en savia

Desde el establecimiento de las unidades experimentales, cada 15 días y hasta el punto de cosecha con la ayuda de un calibrador vernier digital STEREN ® se midieron la longitud aérea de las plantas y el diámetro de tallo (mm). Con la misma frecuencia de manera manual se contabilizó el número de hojas por planta.

En el momento de la cosecha se obtuvo el peso fresco del vástago con la ayuda de una balanza digital (marca OHAUS® modelo TP4KS, Florham Park, New Jersey, Estados Unidos). Se evaluó en savia la concentración de nitratos, de fósforo y potasio, a partir de la selección de 10

hojas maduras a las que se les retiró el peciolo. La concentración de fósforo (P) se obtuvo con un fotómetro de análisis nutricional marca HANNA® (Instruments modelo HI 83225, Padua, Italia). Las concentraciones de potasio (K) y nitratos (NO₃⁻) se midieron con ionómetros comerciales HORIBA® modelo LAQUATWIN (Kyoto, Japón).

Las plantas cosechadas se depositaron en bolsas de papel con orificios, cada bolsa se rotuló e introdujo en una estufa de secado a una temperatura de 72°C durante 72 horas. Transcurridas las 72 horas las muestras se pesaron separando la parte del vástago y la cabeza de la col.

Evaluación de cabeza

En la cosecha se evaluó el peso fresco de las cabezas con la ayuda de una balanza digital marca OHAUS® modelo TP4KS (Florham Park, New Jersey, Estados Unidos). Con un calibrador vernier digital STEREN® se midió el diámetro ecuatorial de las mismas. A partir de estos datos se realizó una escala de tamaño de cabeza, donde se incluyeron los distintos tratamientos evaluados.

V. RESULTADOS

Tasa y Porcentaje de Emergencia

La cinética de la emergencia de plántulas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage (Figura 6), muestra que la emergencia ocurrió en los 10 primeros días, tanto en semillas inoculadas, como en semillas no inoculadas. A partir del día 11, la emergencia fue mínima

El comportamiento tanto del porcentaje, como de la tasa de emergencia, muestran que el consorcio AA promovió un mayor porcentaje de plántulas emergidas en el transcurso de los 15 días de conteo, así como una mayor tasa de emergencia (Figura 7).

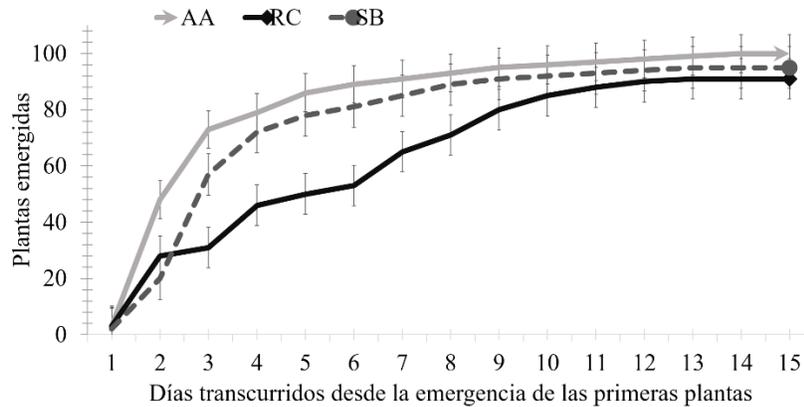


Figura 6. Comportamiento del número de plántulas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage emergidas en el transcurso de 15 días de observación. AA (inoculación con el consorcio *Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*), RC (inoculación con el consorcio *Raoultella terrigena*+ *Chromobacterium violaceum*), SB (Sin inoculación bacteriana).

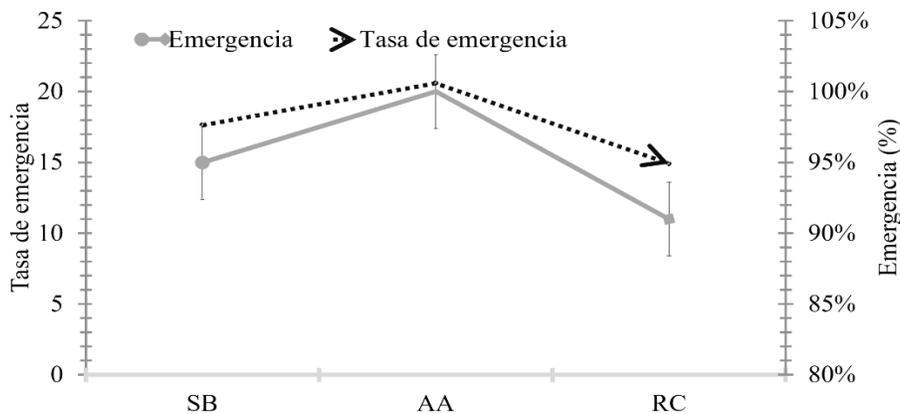


Figura 7. Tasa y porcentaje de emergencia de plántulas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage después de 15 días de observación, Inoculadas con los consorcios AA(*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*), RC(*Raoultella terrigena*+ *Chromobacterium violaceum*) y sin inoculación bacteriana (SB), después de 15 días de observación.

Efectos en los parámetros de crecimiento vegetal

Los parámetros de crecimiento vegetal en el cultivo de *Brassica oleracea* var. Royal vantage, mostró resultados con diferencias estadísticas significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$). En las 5 mediciones efectuadas (25, 39, 53, 67 y 81 días después del trasplante), se observaron diferencias significativas en la altura de las plantas cuando se consideró el efecto de la inoculación con BPCV

(Figura 8). En las cinco fechas se nota que aquellas plantas inoculadas con los consorcios bacterianos presentaron una mayor altura promedio, en comparación con las plantas que no se inocularon. Por su parte, los consorcios AA y RC no mostraron diferencias estadísticamente significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$) en las primeras cuatro mediciones. Mientras que, en la última evaluación se nota claramente que el consorcio AA promovió mayor altura en comparación con el consorcio RC y el control SB.

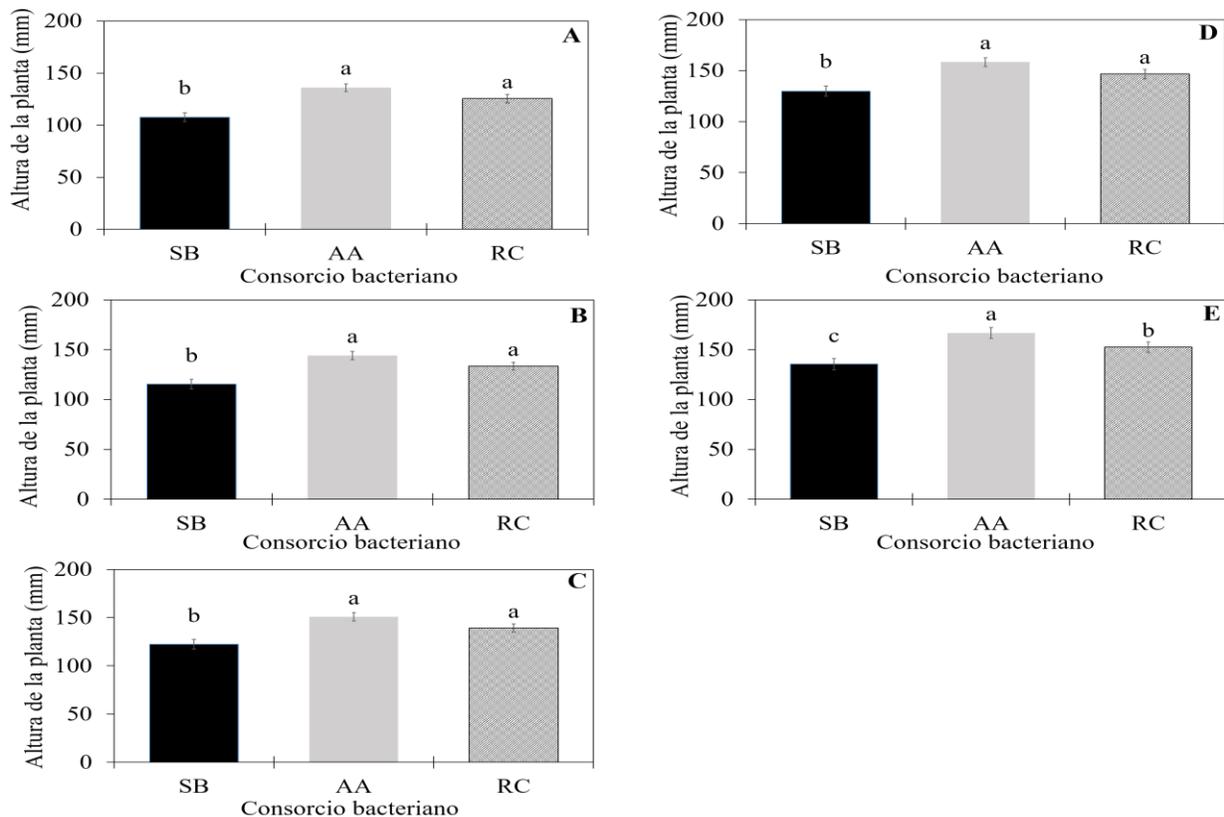


Figura 8. Altura de las plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante, inoculadas con los consorcios bacterianos AA (*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*) y sin inoculación bacteriana (SB). Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

En la Figura 9 se muestran los resultados del promedio de la altura de la planta influenciados exclusivamente por los niveles de presión osmótica. Se observan diferencias estadísticas (Tukey

$\alpha \leq 0.05$), entre los distintos niveles de presión osmótica. En cada una de las mediciones, la fertilización con una presión osmótica de 0.54 atm indica una mayor altura en las plantas, en contraste con los niveles de presión osmótica de 0.36, 0.18 y 0 atm.

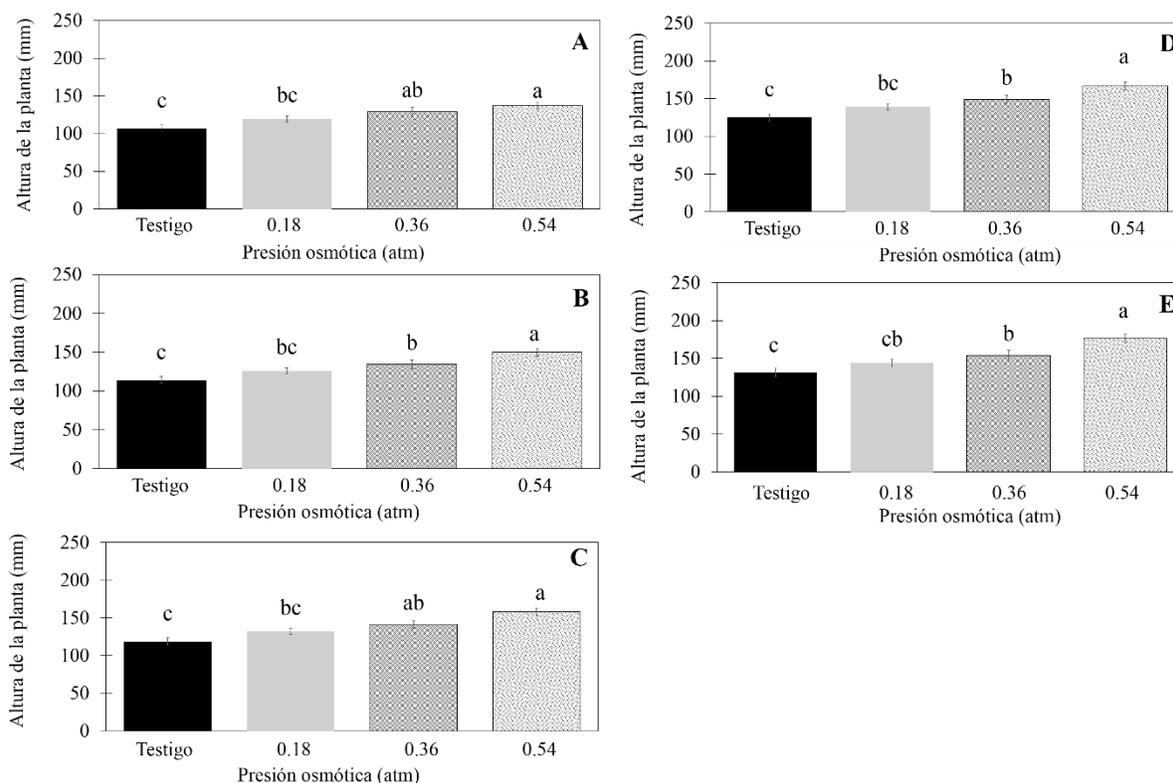


Figura 9. Altura de las plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage, bajo cuatro niveles de potencial osmótico, evaluadas a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

Al analizar el efecto combinado de la inoculación con las BPCV y los niveles de presión osmótica, se observaron diferencias estadísticamente significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$) entre las plantas inoculadas y nutridas a presión osmótica de 0.36 y 0.54 atm con aquellas plantas no inoculadas, nutridas con la presión osmótica de 0.18 y Testigo (Figura 10). En todas las mediciones se notó que la aplicación de AA/0.54 presenta las plantas más altas, en comparación con los tratamientos RC/0.36, RC/0.18 y RC/0. En las evaluaciones (25, 39, 53, 68 y 81 días después del

trasplante) no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos AA/0.54 y AA/0.36. En las cinco evaluaciones, los mayores promedios de altura de la planta registraron en los tratamientos que involucran a los niveles más altos de PO (0.36 y 0.54 atm), así como la inoculación con el consorcio AA.

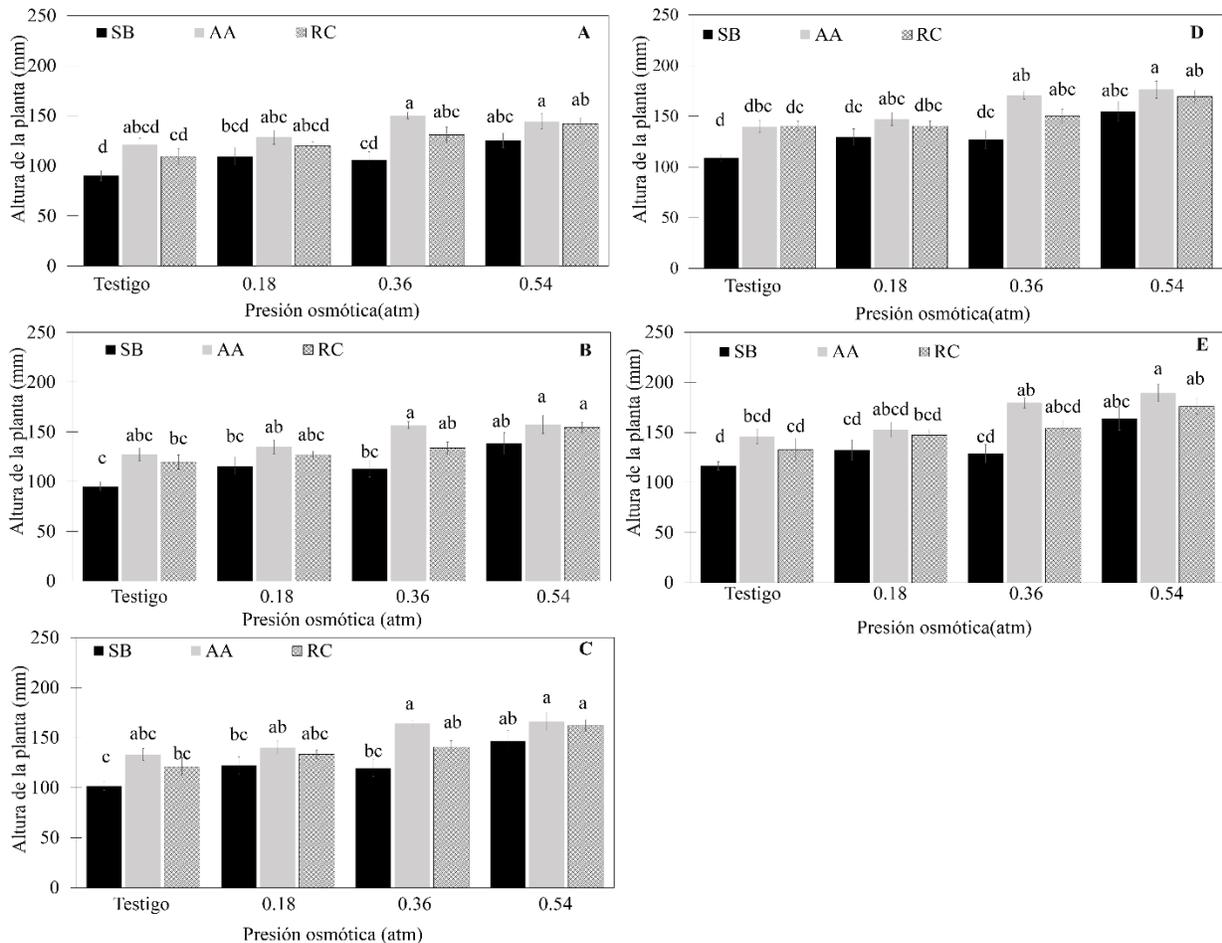


Figura 10. Altura de las plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage, debida al efecto combinado de inoculación con consorcios bacterianos AA (*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*), sin inoculación bacteriana (SB) y presión osmótica, evaluadas a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

En cuanto al tallo, la inoculación con el consorcio AA promovió el mayor engrosamiento (Figura 11). Tanto la inoculación con los consorcios AA y RC promovieron valores mayores, en comparación con el tratamiento donde se inoculó.

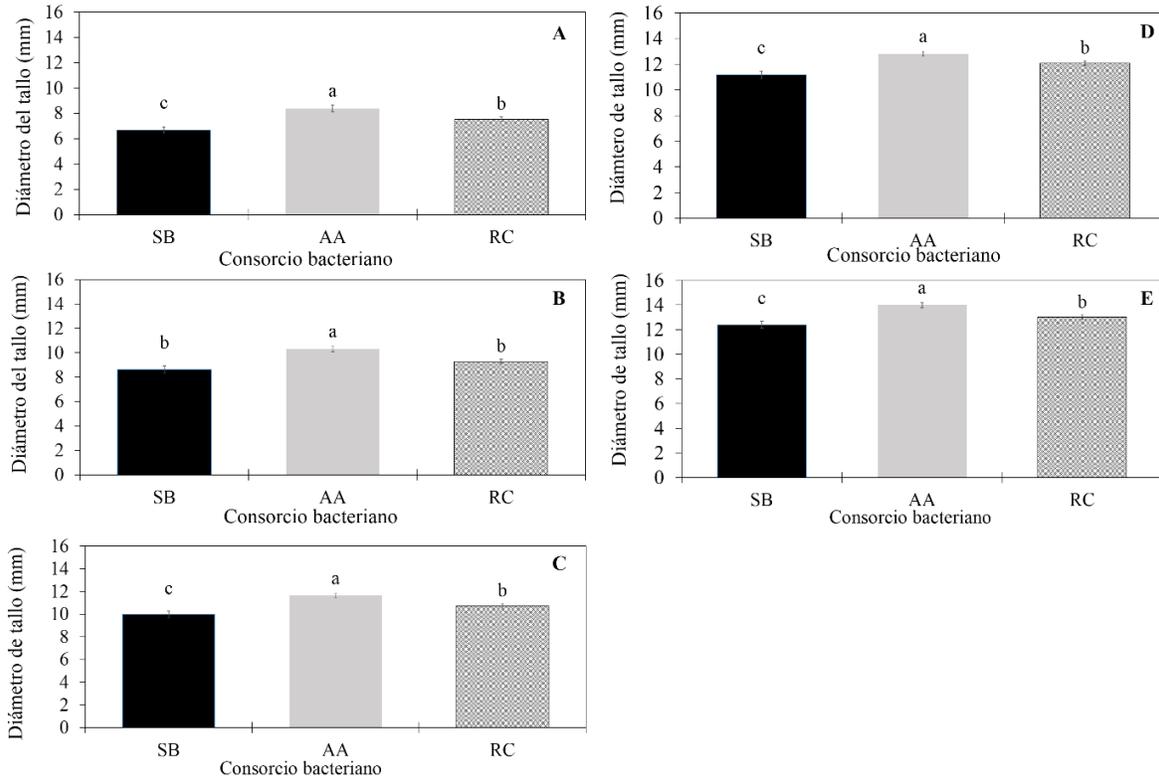


Figura 11. Diámetro de tallo de las plantas de *Brassica oleracea* var. *Royal vantage*, inoculadas con dos consorcios de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, AA (*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*), sin inoculación bacteriana (SB), evaluadas a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

En la Figura 12 se observa el efecto de la presión osmótica en el diámetro del tallo de las plantas. En las primeras cuatro evaluaciones (25, 39, 53, y 67 días después del trasplante), los tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$). En estas mediciones el tratamiento con la presión osmótica de 0.54 atm presenta el mayor valor promedio, en comparación con el resto de tratamientos. Sin embargo, en la última evaluación no se encontraron diferencias significativas entre las presiones osmóticas de 0.54, 0.36 y 0.18 atm.

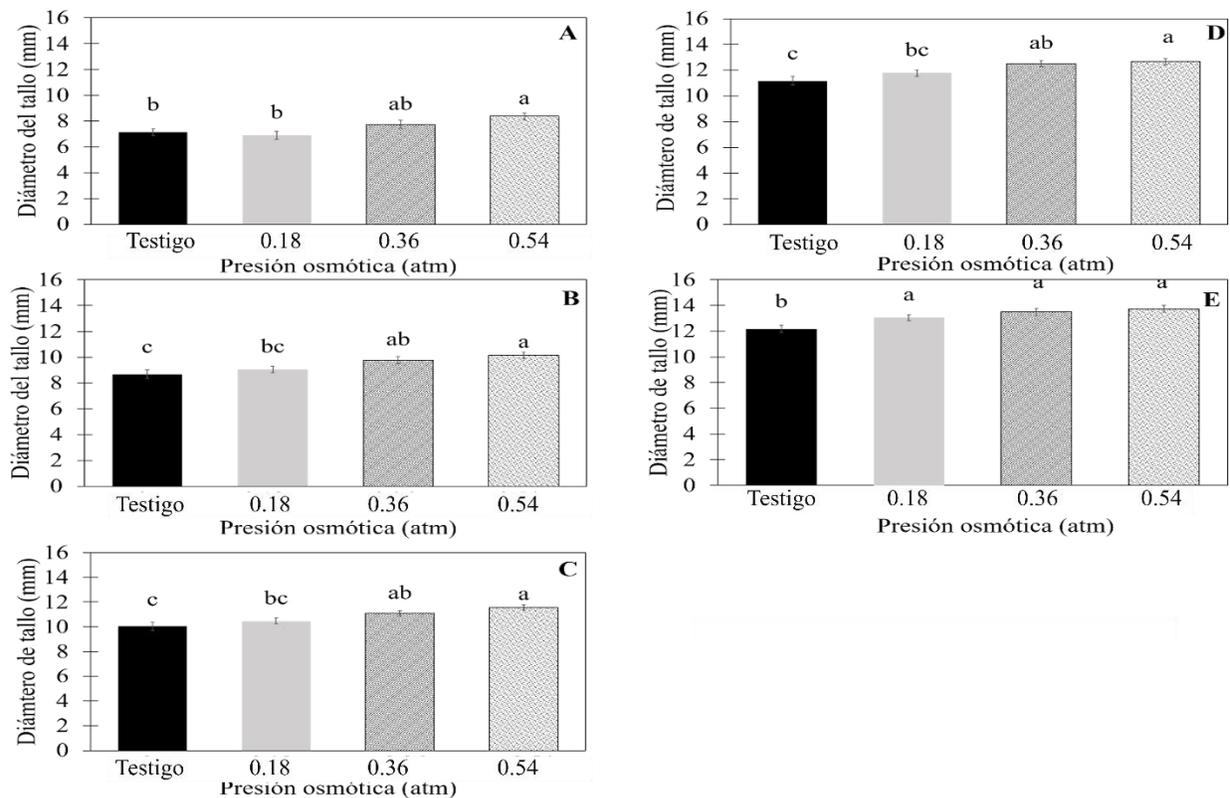


Figura 12. Diámetro de tallo de las plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage, crecidas bajo cuatro niveles de potencial osmótico, evaluadas a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

El efecto combinado de la presión osmótica con la inoculación presentó diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$), en cada una de las evaluaciones de diámetro de tallo (Figura 13). Las plantas inoculadas con el consorcio AA y a una presión osmótica de 0.54 atm, presentaron un mayor valor promedio en el diámetro de tallo, en comparación con el resto de los tratamientos. En el tratamiento con la presión osmótica de 0.54 atm, tanto el inoculado con el consorcio RC, como el tratamiento sin inoculación bacteriana, no presentaron diferencias significativas.

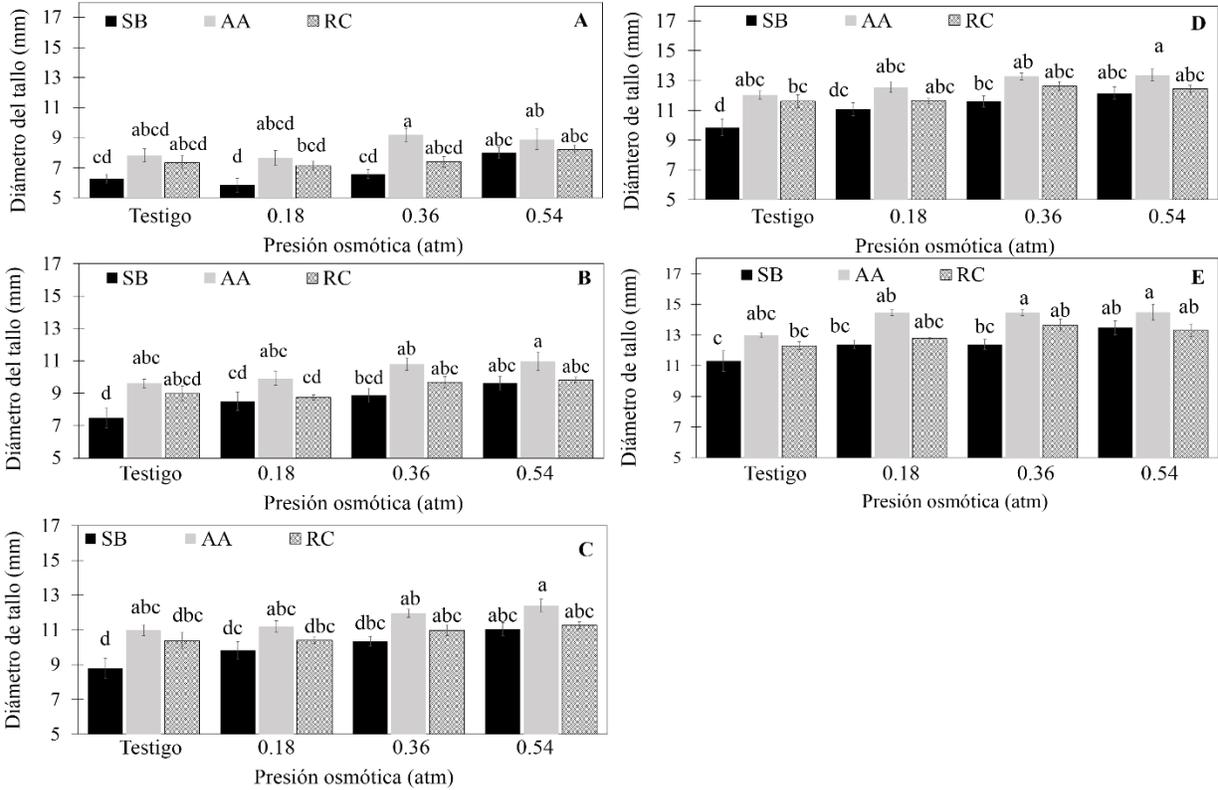


Figura 13. Diámetro de tallo de las plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage promovido por el efecto combinado de inoculación con consorcios bacterianos AA (*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*), sin inoculación bacteriana (SB) bajo diferentes presiones osmóticas, evaluadas a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

La evaluación del número promedio de hojas por planta, indica que el efecto aislado de la inoculación con BPCV presenta diferencias estadísticamente significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$). En las cinco mediciones, la inoculación con los consorcios AA y RC promovieron un mayor número de hojas, en comparación el tratamiento no inoculado (Figura 14). Los resultados también indican que entre los consorcios AA y RC no existen diferencias significativas.

El efecto de la presión osmótica en el número promedio de hojas (Figura 15), muestra diferencias estadísticamente significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$) en cuatro de las cinco evaluaciones realizadas.

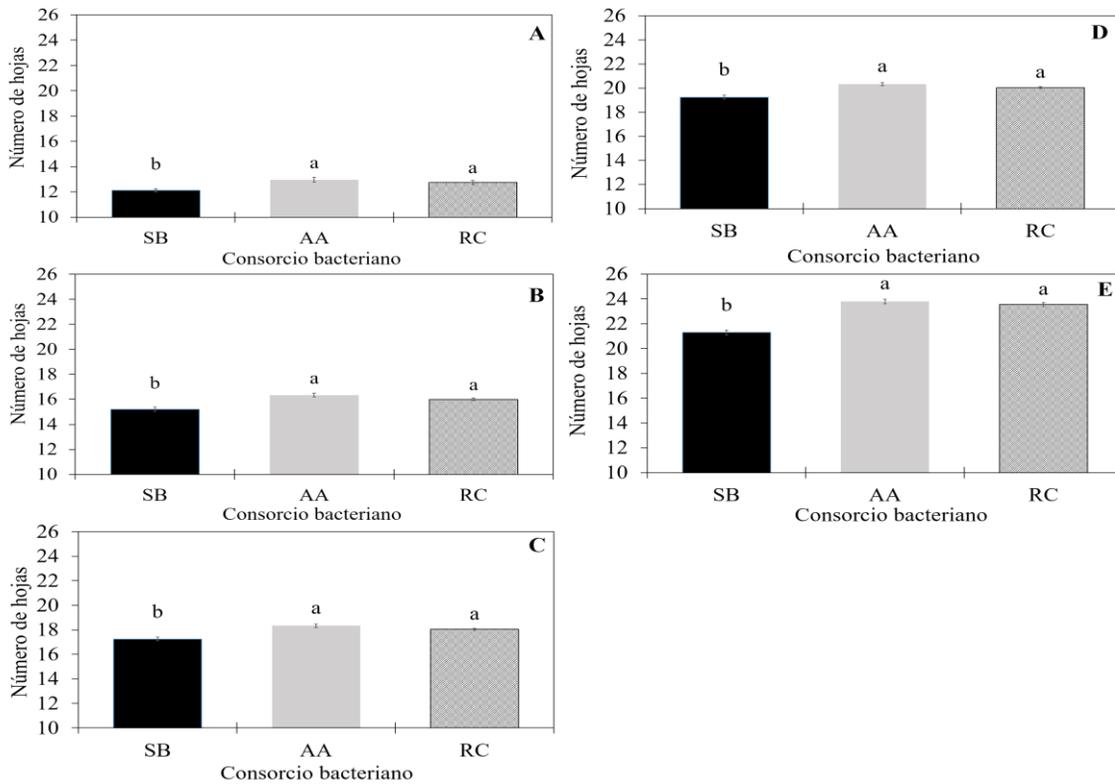


Figura 14. Número de hojas por planta de *Brassica oleracea* var. Royal vantage inoculadas con dos consorcios de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, AA (*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*), sin inoculación bacteriana (SB), evaluado a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

En la primera medición ninguno de los niveles de presión osmótica muestra diferencias significativas. A partir del segundo muestreo (39 días después del trasplante) el tratamiento con una presión osmótica de 0.54 atm representa el mayor promedio en el número de hojas por planta. Por otro lado, los niveles de presión osmótica de 0.18 y 0.36 atm no mostraron diferencia significativa en las cinco evaluaciones efectuadas.

El efecto combinado de la inoculación bacteriana y los niveles de presión osmótica en el número de hojas (Figura 16) mostró diferencias estadísticamente significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$) en cuatro de los cinco muestreos efectuados.

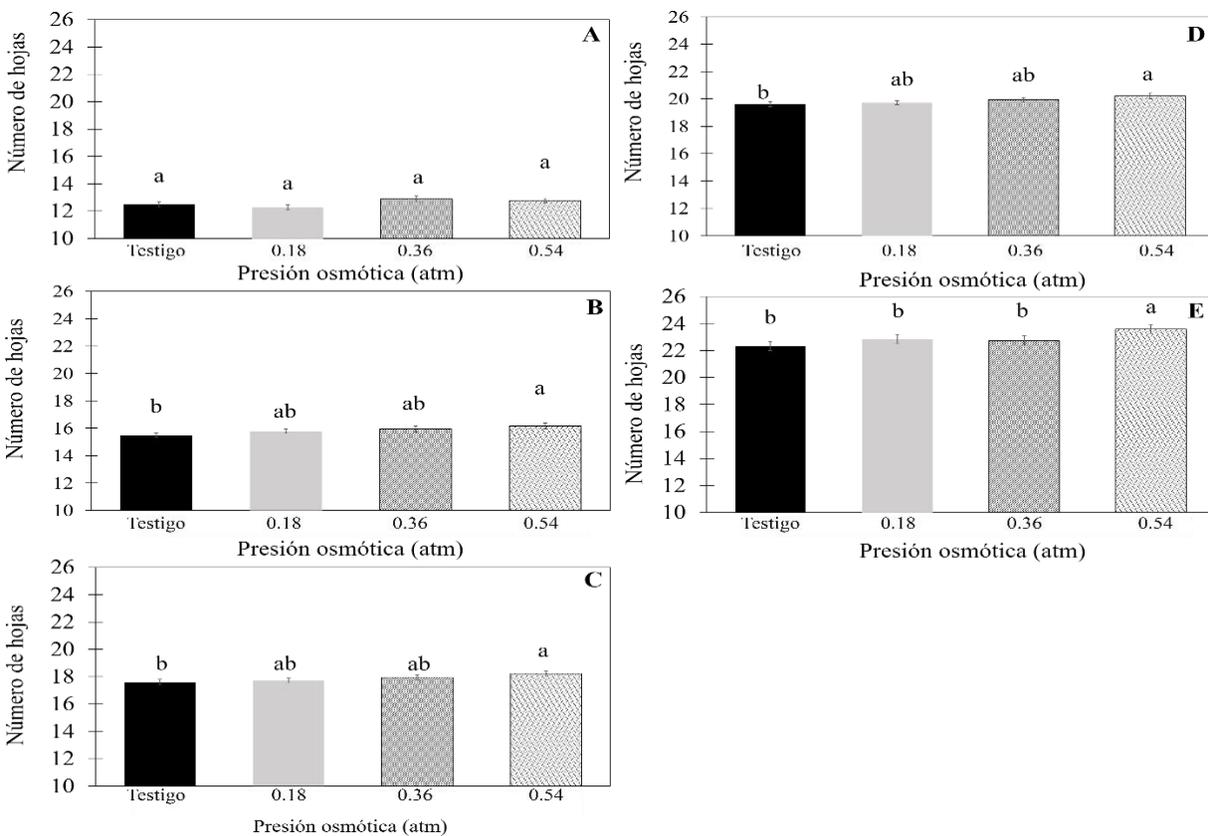


Figura 15. Número de hojas en plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage, crecidas bajo cuatro niveles de potencial osmótico, evaluado a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

A los 25 días después del trasplante, el número de hojas por planta no presentó diferencias significativas al analizar los efectos aislados de biofertilización con bacterias y manejo de presión osmótica, así como tampoco se notan diferencias en el efecto combinado de ambos factores. No obstante, la evaluación a los 81 días muestra que el efecto combinado de la inoculación con los consorcios AA y RC a presiones osmóticas de 0.54 atm y 0.36 atm, mostró el mayor número promedio de hojas por planta, en comparación con el resto de los tratamientos.

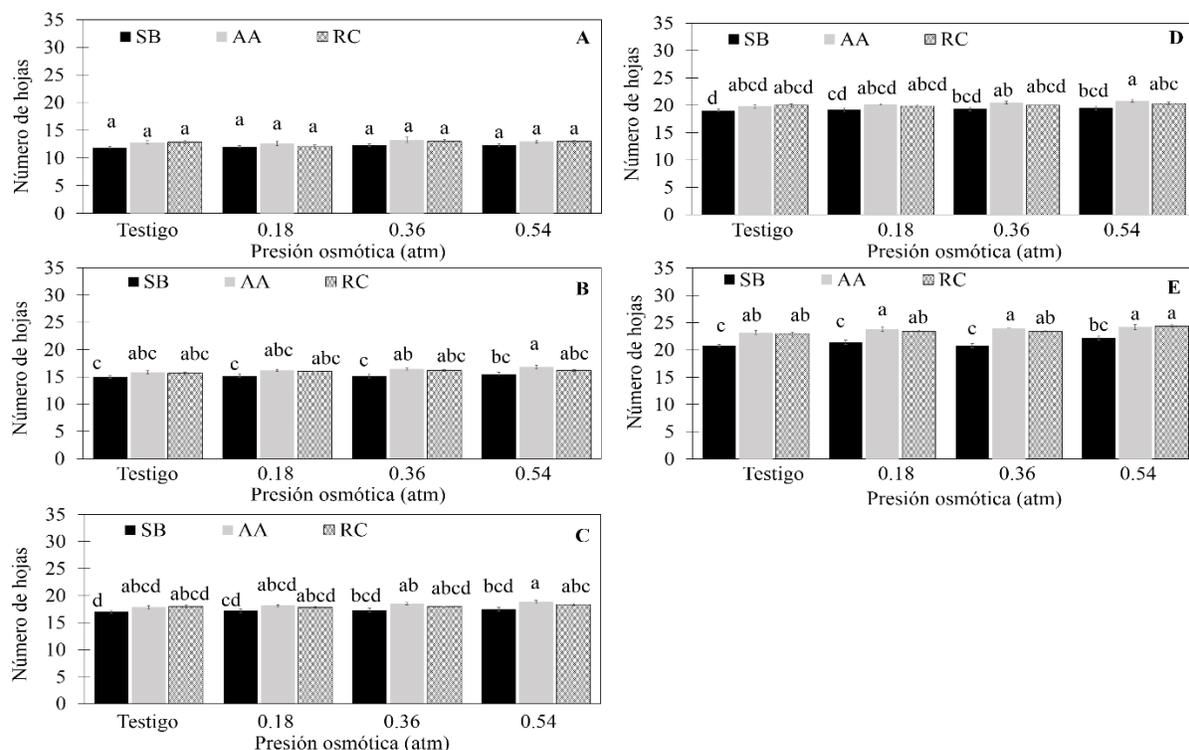


Figura 16. Número de hojas por planta de *Brassica oleracea* var. Royal vantage, mostrando el efecto combinado de inoculación con consorcios bacterianos AA (*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*), sin inoculación bacteriana (SB) bajo diferentes presiones osmóticas, evaluado a los 25 (A), 39 (B), 53 (C), 67 (D) y 81 (E) días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

En la evaluación de la biomasa fresca se encontraron diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$), cuando se inoculó con BPCV (Figura 17A). La inoculación con el consorcio AA promovió una mayor producción de biomasa en las plantas de repollo, en comparación con el consorcio RC y el control sin inoculación bacteriana (SB). No se observaron diferencias estadísticas significativas (Figura 17B) por efecto de la presión osmótica. Por otro lado, la combinación de los factores (Figura 17C) arroja diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$). La inoculación del consorcio bacteriano AA a presiones osmóticas de 0.54, 0.36 y 0.18 atm sobresalen en la producción de biomasa, evaluada en el día 81 después del trasplante.

La biofertilización bacteriana mostró diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$), en la acumulación de masa seca del vástago (Figura 17D). La inoculación con el consorcio bacteriano AA promovió la mayor acumulación de masa seca, sobre las plantas inoculadas con el consorcio RC y el control sin inocular (SB). En este análisis la presión osmótica no indujo diferencias estadísticamente significativas (Figura 17E). No obstante, el efecto combinado de inoculación con BPCV y la presión osmótica mostraron que la inoculación con el consorcio AA y la presión osmótica de 0.54 atm (Figura 17F), resultaron en la mayor acumulación de materia seca.

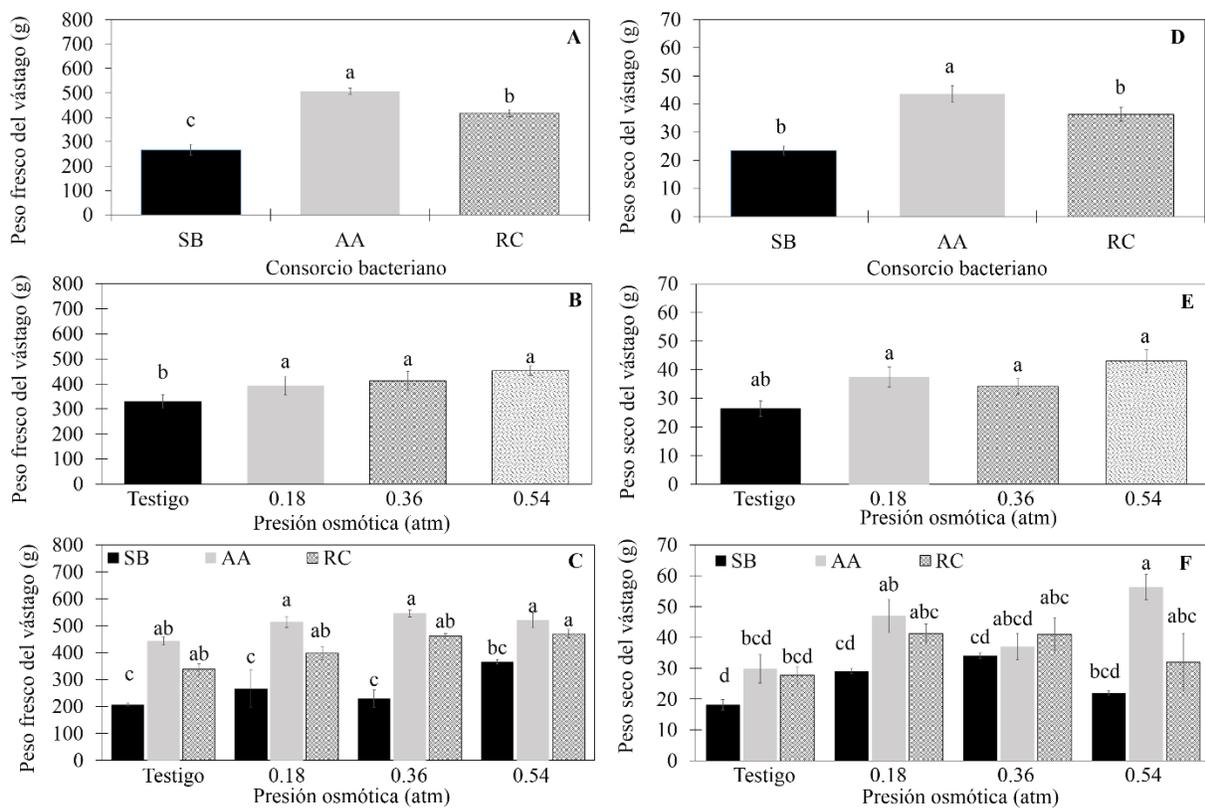


Figura 17. Biomasa fresca (A, B, C) y peso seco de vástago (D, E, F) de plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage. Desarrolladas bajo cuatro niveles de presión osmótica (0, 0.18, 0.36 y 0.54 atm) y biofertilizadas con los consorcios AA (*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*), SB (sin inoculación bacteriana), evaluado a los 81 días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

Efectos en la formación de cabeza

Los resultados del peso fresco total y diámetro ecuatorial de las cabezas de col cosechadas permitieron desarrollar una clasificación escalada desde 1 hasta 5 (Cuadro 5). Donde el nivel número 1 representa a las cabezas con menor peso y diámetro ecuatorial con respecto al total de cabezas evaluadas, mientras que el nivel número 5 se refiere las cabezas con mayor peso y diámetro ecuatorial.

Cuadro 5. Clasificación de las cabezas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage, a partir de las mediciones de peso fresco total y diámetro ecuatorial.

Clasificación	Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)
1	1 a 25	1 a 2
2	26 a 50	2.1 a 3
3	51 a 75	3.1 a 4
4	76 a 100	4.1 a 5
5	>100	>5

Fuente: Elaboración propia.

Los promedios de peso fresco total y diámetro ecuatorial de cada uno de los tratamientos se presentan en el Cuadro 6, en el que se asigna el respectivo nivel dentro de la clasificación de desarrollo de la cabeza.

Se observó diferencia significativa entre los consorcios AA, RC y el control no inoculado (SB) (Figura 18A). El consorcio bacteriano AA produjo el mayor peso fresco de la cabeza, en comparación con el resto de los tratamientos.

Cuadro 6. Clasificación de la cabeza de *Brassica oleracea* var. Royal vantage resultado de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Peso promedio (g)	Diámetro promedio (cm)	Clasificación
AA/0.54	79.48	5.69	4
AA/0.36	53.33	4.75	3
AA/0.18	29.75	3.64	2
AA/0	1.32	1.42	1
RC/0.54	103.7	5.54	5
RC/0.36	58.88	5.03	3
RC/0.18	23.05	3.03	1
RC/0	1.75	1.43	1
SB/0.54	52.17	4.48	3
SB/0.36	55.13	4.76	3
SB/0.18	24.75	3.16	1
SB/0	1.58	1	1

El potencial osmótico de 0.54 atm promovió el mayor peso fresco de las cabezas de col (Figura 18B). Los niveles de presión osmótica de 0.36, 0.18 y el Testigo no mostraron diferencias estadísticamente significativas. Finalmente, la combinación de biofertilización y presión osmótica presentó diferencias significativas entre el tratamiento en el que se inoculó el consorcio AA con presión osmótica de 0.54 atm (Figura 18C) y el resto de los tratamientos. La inoculación con el consorcio RC, a presión osmótica de 0.54 atm presentó diferencias significativas con respecto a donde se inoculó el consorcio RC a presiones osmóticas de 0.36, 0.18 y el Testigo; sin embargo, entre estos últimos tratamientos no se encontraron diferencias significativas.

En la variable de diámetro ecuatorial de cabeza, se identificaron diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$) tanto en los efectos generados por la biofertilización con BPCV y los niveles de presión osmótica, como en el efecto combinado de ambos factores (Figura 18D, E y F). La inoculación con el consorcio AA promovió el mayor diámetro de las cabezas que resultó significativamente diferente (Tukey $\alpha \leq 0.05$), al efecto de la inoculación con el consorcio RC y el tratamiento sin bacterias (SB). La presión osmótica indican que el tratamiento de 0.54 atm

promovió un mayor diámetro ecuatorial en comparación con el resto de los tratamientos. Los resultados debidos al efecto combinado de los factores de inoculación con consorcios bacterianos y presión osmótica, indican que el tratamiento con el consorcio AA a presión osmótica de 0.54 atm provocó un mayor diámetro ecuatorial con relación a todos los tratamientos analizados.

A partir de la clasificación de cabezas de col se analizó el efecto de los factores estudiados y su interacción (Figuras 18G, H, I). Con la inoculación de las BPCV se observaron diferencias estadísticas significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$). Con la inoculación con el consorcio AA se obtuvieron los niveles más altos, en comparación con los tratamientos inoculados con RC y el control sin inoculación bacteriana (SB) (Figura 18G). Por su parte, el control no inoculado (SB) representó los niveles inferiores dentro de la clasificación de cabeza. En relación a la presión osmótica se presentaron diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$), en cada uno de los niveles analizados. Con la presión osmótica de 0.54 atm se encontraron las cabezas clasificadas dentro de los niveles más altos (Figura 18H). La combinación de la biofertilización y la presión osmótica presentó diferencias estadísticas significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$), resaltando que el tratamiento inoculado con el consorcio AA y 0.54 atm de presión osmótica como indujo el mayor desarrollo en las cabezas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage (Figura 18I), lo que concuerda con los resultados del Cuadro 7.

Efectos en el estado nutrimental en savia

El análisis de savia peciolar indica que existen diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$) en los nutrimentos nitrógeno, fósforo y potasio (Figura 19). La inoculación con consorcios bacterianos influyó positivamente en el contenido de nitrógeno (Figura 19A).

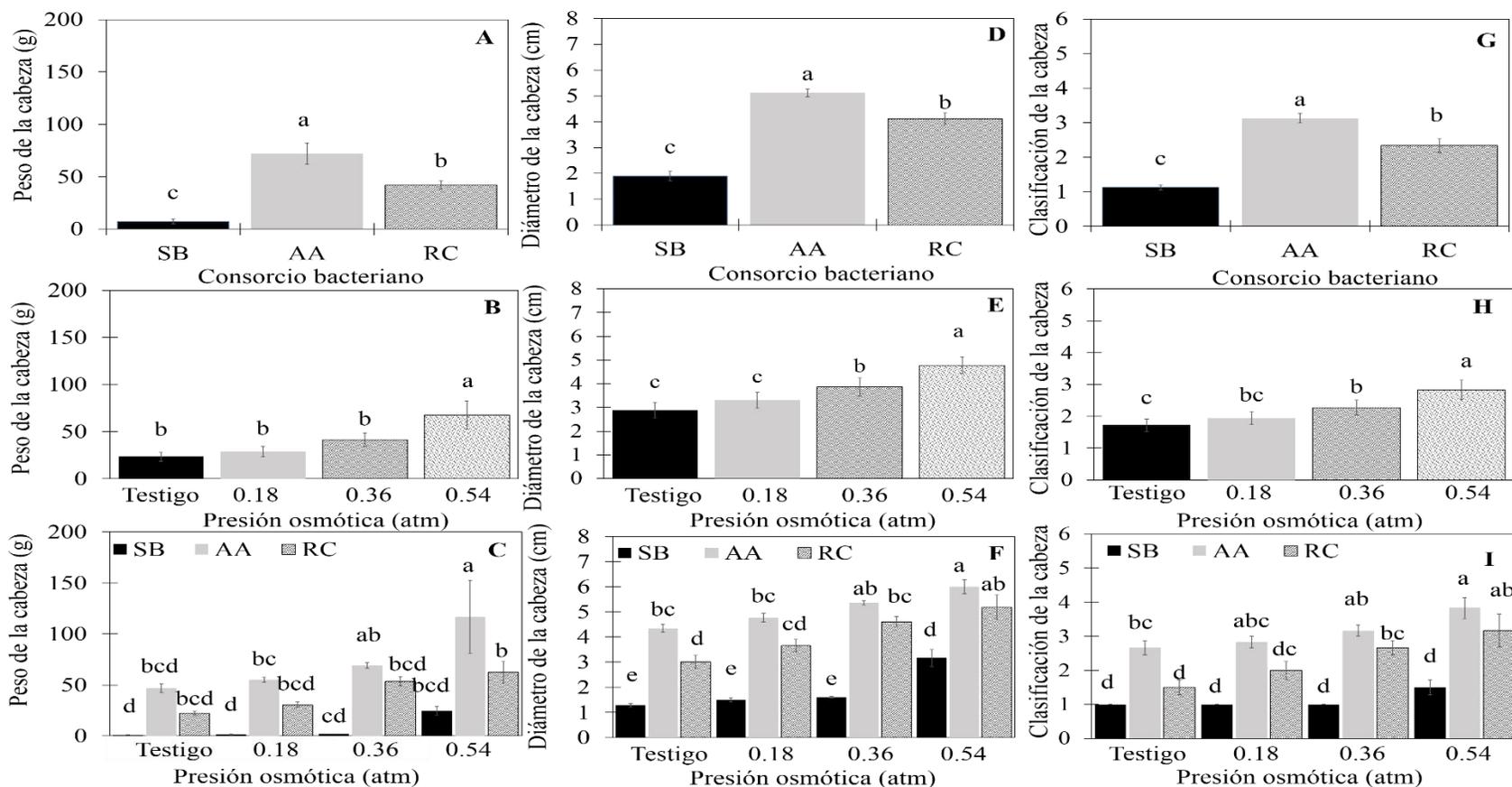


Figura 18. Peso de la cabeza (A, B, C), diámetro de la cabeza (D, E, F) y clasificación de la cabeza (G, H, I), de plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage. Desarrolladas bajo cuatro niveles de presión osmótica (0, 0.18, 0.36 y 0.54 atm) y biofertilizadas con los consorcios AA (*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*), SB (sin inoculación bacteriana), evaluado a los 81 días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

La inoculación con el consorcio AA registró la mayor concentración de de nitratos a nivel peciolar, seguido por el consorcio RC y quedando al final el control sin inocular (SB). En cuanto a la influencia de la presión osmótica (Figura 19B), no se observan diferencias estadísticas significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$). No obstante, la inoculación del consorcio AA a presiones osmóticas de 0.54, 0.36 y 0.18 atm presentó diferencias significativas con el resto de los tratamientos (Figura 19C).

La evaluación de fósforo en savia presentó diferencias estadísticas (Tukey $\alpha \leq 0.05$), en las plantas biofertilizadas, en las crecidas bajo diferentes presiones osmóticas, así como en las que se combinaron ambos factores (Figura 19D, E y F). Se observó una mayor concentración de este nutrimento en el tratamiento inoculado con AA, tal como ocurrió en el caso de los nitratos. La presión osmótica de 0.54 atm favoreció la concentración de fósforo en savia. Finalmente, la sinergia entre la inoculación con el consorcio AA a presiones osmóticas de 0.54 y 0.36 atm resultó en mayor concentración de P, que fue significativamente diferentes al resto de los tratamientos.

La concentración de potasio no mostró diferencias significativas debidas al efecto provocado por la inoculación de las bacterias (Figura 19G). Se observaron diferencias debidas a los niveles de presión osmótica (Figura 19H), así como en el efecto combinado de los dos factores de estudio (Figura 19I). La presión osmótica de 0.54 atm promovió la mayor concentración de potasio. Mientras que en la inoculación del consorcio AA y la presión osmótica de 0.54 atm favorecieron el mayor contenido de potasio peciolar.

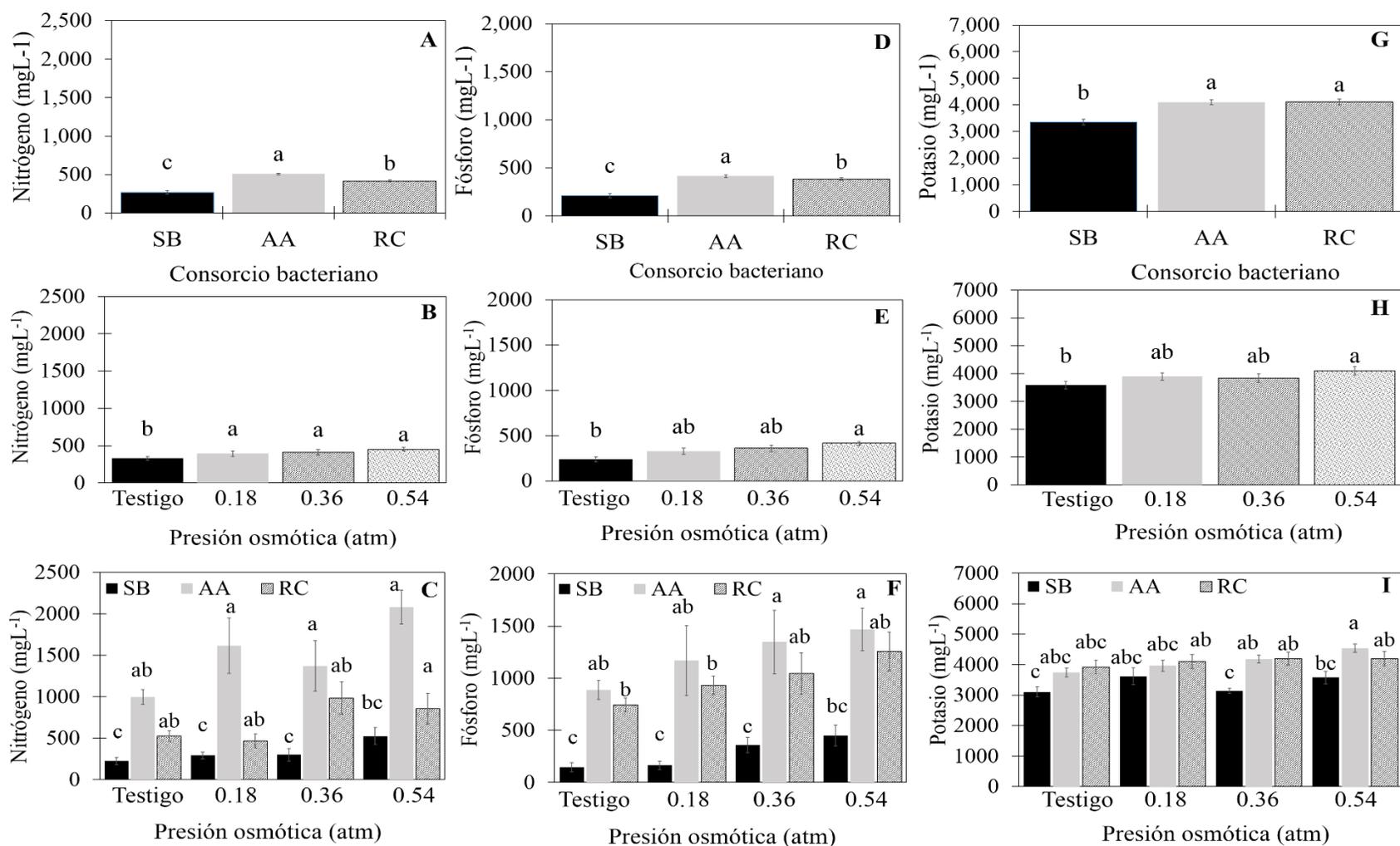


Figura 19. Concentración de Nitratos (A, B, C), Fósforo (D, E, F) y Potasio (G, H, I), en el extracto de savia peciolar de plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage, desarrolladas bajo cuatro niveles de presión osmótica (0, 0.18, 0.36 y 0.54 atm) y biofertilizadas con los consorcios AA (*Azospirillum brasilense*+*Acinetobacter calcoaceticus*) y RC (*Raoultella terrigena*+*Chromobacterium violaceum*), SB (sin inoculación bacteriana), evaluado a los 81 días después del trasplante. Medias \pm error estándar. Letras distintas en cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

VI. DISCUSIÓN

Las semillas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage inoculadas con los consorcios AA y RC promovieron mayores porcentajes de emergencia (100 y 95 %, respectivamente), así como una tasa de emergencia más alta (20.5 y 17.6, respectivamente), a diferencia de las semillas que no fueron inoculadas (90% de emergencia y una tasa de 14.9). El mayor número de plántulas emergidas se registró en el segundo día de evaluación, la inoculación con el consorcio AA indujo la emergencia de 48 plántulas en el segundo día, mientras que con la inoculación con el consorcio RC y el control sin inoculación (SB) se registraron 25 y 18 plántulas emergidas, respectivamente. El consorcio AA propició una mayor y más rápida emergencia de plántulas. En el estudio realizado por RoyChowdhury et al. (2016), se comparó el porcentaje de emergencia de plántulas de acelga (*Spinacia oleracea* L.) entre semillas inoculadas con BPCV y semillas no inoculadas. Los resultados mostraron que la inoculación con BPCV dotó a las semillas de un mayor porcentaje de emergencia. Martínez-Reyes et al. (2018), evaluaron el porcentaje de emergencia en plántulas de maíz (*Zea mays* L.). Inocularon algunas de las plantas con *Azospirillum brasilense* y otras más con *Chromobacterium violaceum*, además de que utilizaron dos niveles de fertilización química (80-23-15 y 160-46-30 de N, P y K, respectivamente). No se encontró diferencia estadística significativa en el porcentaje de emergencia; sin embargo, los tratamientos con *Chromobacterium violaceum* y *Azospirillum brasilense* obtuvieron los mayores porcentajes de emergencia, en comparación con el testigo absoluto y los dos niveles de fertilización N, P, K. Marquina et al. (2018) demostraron que la inoculación con *Azospirillum* spp. incrementó entre 13 y 23 % la germinación y emergencia en plántulas de pimentón, respectivamente.

Lo anterior indica que la inoculación de semillas con BPCV incrementa tanto la tasa como el porcentaje de emergencia. Algunos estudios han demostrado que las bacterias pertenecientes al

género *Azospirillum* son capaces de incorporar hormonas promotoras de crecimiento vegetal, tales como auxinas y giberelinas que permiten incrementar la emergencia de plántulas mediante la interrupción del periodo de latencia de las semillas (Kang *et al.*, 2014; Molina-Romero *et al.*, 2015). La cepa *Azospirillum brasilense* también es conocida como “bacteria promotora de emergencia”, por ser la mayor promotora de emergencia en plántulas (Kloepper *et al.*, 1991, Widnyana y Cokorda, 2016). *Raoultella terrigena* es una cepa de BPCV que promueve el crecimiento de las plantas mediante la fijación de nitrógeno (Carcaño-Montiel, 2006); produciendo 1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminasa (Singh *et al.*, 2015), ácido indol-3-acético y ácido giberélico (Singh *et al.*, 2015). Sánchez-Mendoza *et al.* (2018), analizaron el efecto de los consorcios *Enterobacter sp.* + *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.* + *Pseudomonas sp.*, *Acinetobacter sp.* + *Pseudomonas sp.*, *Pseudomonas putida* y un control (agua destilada), sobre la emergencia y crecimiento inicial de cuatro especies de agave silvestre: tobalá (*Agave potatorum* Zucc.), cuishe (*Agave spp.*), sierrudo (*Agave spp.*) y coyote (*Agave spp.*). Se contabilizó el número de plantas emergidas, índice de velocidad de emergencia, longitud de hoja, longitud de raíz, diámetro de tallo y peso seco de hoja, tallo y raíz. Todos los consorcios inoculados incrementaron el porcentaje y la velocidad de emergencia, así como el crecimiento en todas las especies evaluadas, mostrando los mejores resultados el consorcio *Acinetobacter sp.*+ *Pseudomonas sp.*

En las evaluaciones de los parámetros de crecimiento vegetal a los 25, 39, 53, 67 y 81 días después del trasplante, la inoculación con el consorcio AA y la presión osmótica de 0.54 atm produjo plantas más altas (60-65 %), y un tallo con mayor diámetro (35-46 %), en comparación con las plantas no inoculadas y con una presión osmótica de 0 atm. El consorcio RC a una presión osmótica de 0.54 atm incrementó la altura de la planta en 50-60 % y el diámetro del tallo aumentó entre 25-30%, en comparación con el control absoluto. A presión osmótica de 0.54 atm, las plantas

respondieron con una altura entre 13 y 16 % menor y un diámetro más reducido entre 10-15%, con relación a las plantas inoculadas con alguna de las cepas bacterianas (AA o RC) y con la presión osmótica de 0.54 y 0.36 atm. A pesar de no administrarse solución nutritiva, con la inoculación de BPCV las plantas fueron capaces de desarrollar mayor altura y diámetro de tallo. El número de hojas por planta incrementó en 15 % en las plantas inoculadas con el consorcio AA y 10 % en las que fueron inoculadas con el consorcio RC, en comparación con el control sin inoculación bacteriana (SB). Resultados parecidos fueron reportados por Devi *et al.* (2018), quienes analizaron el efecto de biofertilización con BPCV combinada con fertilización química dosificada en plantas de coliflor (*Brassica oleracea* var. botritis). Sus observaciones señalan que el uso de BPCV con fertilización química moderada se obtiene en promedio mayor altura de tallo, en comparación con una solución nutritiva completa o sin fertilización alguna. En su investigación el número de hojas en las plantas fue mayor con la inoculación de cepas bacterianas y una fertilización química de NPK de 130%, sin notar diferencias significativas en las plantas inoculadas con BPCV y una fertilización de NPK del 80 y 120 %. En el trabajo de Yildirin *et al.* (2016) la inoculación con BPCV y una fertilización nitrogenada de 160 KgN·ha⁻¹, mejoró el rendimiento general de crecimiento en plantas de col blanca (*Brassica oleracea* var. capitana L.). La aplicación de una dosis menor de N (120 kgN·ha⁻¹) y la inoculación bacteriana, también mostraron efectos significativos en la altura y diámetro del tallo de las plantas, contrario a los resultados del control no inoculado. Banik *et al.* (2016), aislaron BPCV pertenecientes a los géneros *Azorhizobium*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Novosphingobium*, *spp.*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, entre otros, de tres variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en la India. Con las cepas aisladas se inocularon plántulas de *Oryza sativa* L cultivar Swarna, los resultados indicaron que la inoculación bacteriana tuvo un impacto positivo en

parámetros de crecimiento de la planta como el alargamiento del brote (3.53–5.73 cm) y raíz (4.10–6.83 cm), aumento de biomasa fresca (0.07–0.15 g) y peso seco (0.01–0.02 g) de plántulas, en comparación con las plántulas de control no inoculadas.

El peso de la biomasa fresca y el peso seco de vástago se duplicaron en las plantas inoculadas con los consorcios bacterianos (AA y RC), a diferencia de las que no fueron inoculadas (SB). Según lo reportado por Sánchez-López *et al.* (2014), la inoculación con cepas de *Pseudomonas* sp. en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* cultivar White Boston), incrementó de manera significativa ($P < 0.05$) la biomasa y el desarrollo de las plantas. Hernández *et al.* (2019), determinaron el efecto de enterobacterias en el desarrollo vegetativo de *Zea mays* en invernadero. Sus resultados indicaron que la inoculación con *Enterobacter* spp. y *Raoultella* sp. promovió un aumento de 2.7-129.7 % en la producción de biomasa seca.

Las citocininas producidas por las PGPR favorecen la división celular en la raíz, la elongación, diferenciación celular y el incremento del área de la raíz mediante la formación de raíces adventicias, además de la formación de hojas (Ortíz- Castro *et al.*, 2009). Por lo que bacterias como *Azospirillum* y *Raoultella*, fijadoras de nitrógeno, también tienen la capacidad de producir fitohormonas favorecen el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos (Ji *et al.* 2014; Wei *et al.* 2014). Bacterias como *P. fluorescens*, *P. aeruginosa* y *Chromobacterium violaceum*, caracterizadas como solubilizadoras de fosfatos y sintetizan cianuro (Ponmurugan, 2012), que no participa en el crecimiento, almacenamiento de energía o metabolismo primario; pero es generalmente considerado como un metabolito secundario que tiene un papel ecológico y confiere una ventaja selectiva a las cepas bacterianas (Siddiqui *et al.*, 2006).

La evaluación nutrimental en savia peciolar indicó que a pesar de que en K no hubo diferencia estadística entre la inoculación con el consorcio AA y la inoculación con el consorcio

RC, si se muestran diferencias significativas al comparar la inoculación bacteriana con el control sin inoculación (SB). Las plantas de *Brassica oleracea* var. Royal vantage inoculadas con el consorcio AA mostraron entre 20-35 % más contenido de K con respecto a las plantas no inoculadas. El consorcio RC, generó un aumento en el contenido nutrimental de 25-45 %, con relación al control sin inocular (SB). El análisis de N peciolar mostró diferencias significativas entre la inoculación con la cepa AA y la cepa RC y a su vez, estas presentaron diferencias significativas en comparación con el control sin inocular (SB). Las plantas inoculadas con el consorcio AA presentaron un contenido de N 200-350 % mayor, con respecto a las plantas no inoculadas. Por otra parte, la inoculación con el consorcio RC mostró un incremento de 60-230 % en el contenido de N, con relación al contenido de plantas no inoculadas. En la evaluación del contenido de fósforo peciolar se encontraron diferencias significativas entre las plantas inoculadas con los consorcios bacterianos (AA y RC) y el control sin inoculación bacteriana (SB). Con el consorcio AA el contenido de P en las plantas de col se incrementó entre un 200 y un 500%, mientras que el consorcio RC alcanzó un aumento de 100-400 % de P peciolar, ambos con respecto al contenido de P de las plantas no inoculadas.

Angulo *et al.* (2014), concluyeron que los principales efectos de las BPCV de los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas* y *Bacillus*, sobre gramíneas están asociados con mayor emergencia y mejor desarrollo de la raíz; debido a la absorción de NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , K^+ y Fe^{+2} , así como otros nutrientes, lo cual incrementa la acumulación de minerales en hojas y tallos. Los datos obtenidos por Yildirim *et al.* (2016) señalaron que la inoculación de plántulas de col blanca con la cepa *Paenibacillus polymyxa* RC14 promovió el contenido de todos los elementos macro y micro nutrientes, con relación con el control. Kuan *et al.* (2016) estudiaron el efecto de las cepas *Klebsiella* sp., *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus pumilus*, *Acinetobacter* sp.

y *Bacillus subtilis* en la fijación de N en plantas de maíz. Los resultados indicaron un incremento en el contenido total de N con la inoculación bacteriana, en comparación con las plantas no inoculadas.

Finalmente, las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas son una herramienta potencial para una agricultura sustentable como una tendencia hacia el futuro. En este trabajo, se observa claramente los beneficios de la inoculación de las bacterias benéficas en el cultivo, al encontrar efectos positivos en los parámetros evaluados. Uno de los mecanismos iniciales por los cuales las bacterias son adsorbidas sobre las partículas del suelo es por intercambio iónico, se dice que un suelo es naturalmente fértil cuando los organismos del suelo liberan nutrientes inorgánicos a partir de reservas orgánicas en una proporción suficiente para sostener un rápido crecimiento de las plantas. El efecto benéfico de las rizobacterias ocurre a través de varios mecanismos que pueden ser directos e indirectos. El papel de las rizobacterias no es únicamente implementado por el efecto directo de una sola cepa bacteriana y por el establecimiento de un dialogo molecular entre los organismos del suelo y la planta, sino por diferentes mecanismos empleados por las rizobacterias en la promoción del crecimiento. (Glick, 2014; Goswami *et al.*, 2016).

Dentro de los mecanismos directos en la promoción del crecimiento de las plantas, la fijación biológica del nitrógeno simbiótica y de vida libre, la solubilización de fosfatos y la producción de fitohormonas, afectan el equilibrio de regulación del crecimiento de las plantas, ya sea porque los microorganismos liberan reguladores del crecimiento o nutrimentos que se integran al metabolismo de la planta que conduce a una mejora en su capacidad de adaptación (Goswami *et al.*, 2016; Singh, 2018). Dentro de los mecanismos indirectos, están la producción de sideróforos, la producción de enzimas quitinasas y glucanasas (enzimas líticas), la producción de antibióticos (bacteriocinas) y la inducción de la resistencia sistémica a patógenos, estos

mecanismos requieren de la participación de procesos metabólicos defensivos de la planta, los cuales responden al envío de señales de la bacteria influenciados por la planta (Goswami *et al.*, 2014; Singh, 2018).

VII. CONCLUSIONES

El cultivo de col respondió a la fertilización mineral con distintos niveles de presión osmótica. Las presiones osmóticas de 0.36 y 0.54 atm generaron un efecto positivo en las plantas de col. Con la aplicación de biofertilizantes se mostró un incremento en las variables de crecimiento vegetal, lo que indica que el cultivo responde favorablemente a la interacción entre bacterias promotoras de crecimiento vegetal y una fertilización mineral moderada. Con la inoculación de cepas bacterianas se incrementó tanto el porcentaje como la tasa de emergencia, llegando a obtener un 100 % de emergencia. La producción del cultivo se duplicó y las concentraciones de nutrimentos se elevaron en más de 200 %. Estos aspectos generan un impacto en el cultivo de col, al incrementar la producción y reducir el uso de fertilizantes sintéticos, lo que se traduce en una disminución del capital invertido y menos contaminación ambiental.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abbasi, P. A., Khabbaz S. E. y Zhang L. 2016. Bioformulations of novel indigenous rhizobacterial strains for managing soilborne pathogens. En *Bioformulations: for Sustainable Agriculture*, Arora N K; Mehnaz S, Balestrini R, Eds., Springer India. pp: 147-161.
- Adams, D. B., Kelley, W. T y Boyhan G. E. 2017. Soil and fertilizer management *In*: Kelley, W. T. MacDonald G., y Adams D. B. (eds.). *Commercial production and management of cabbage and leafy greens*. UGA extensión. pp: 8-13.
- Ahemand, M. y Khan M. 2012. Alleviation of fungicide-induced phytotoxicity in greengram [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] using fungicide-tolerant and plant growth promoting *Pseudomonas strain*. *Saudi J. Biol. Sci.* 19: 451-59.
- Angulo, V. C., Sanfuentes, E. A., Rodríguez, F., y Sossa, K. E. 2014. Caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de *Eucalyptus nitens*. *Revista Argentina de Microbiología*, 46 (4), 338-347.
- Azcón-Bieto, J. y Talón M. 2008. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2da edición. Edit. Mc Graw Hill. Madrid. España. 669p.
- Azpilcueta-Pérez, M. E., Pedroza-Sandoval, A., Sánchez-Cohen, I., Salcedo-Jacobo, M., Trejo-Calzada, R. 2017. Calidad química del agua en un área agrícola de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en la comarca lagunera, México. *Revista internacional de contaminación ambiental* 33: 75-83.
- Banerjee, S., Palit R., Sengupta C. y Standing D. 2010. Stress induced phosphate solubilization by *Arthrobacter* sp. and *Bacillus* sp. isolated from tomato rhizosphere. *Australian Journal of Crop Science* 4(6):378-383.
- Banik, A., S. K. Mukhopadhaya y T. K. Dangar. 2016. Characterization of N₂-fixing plant growth promoting endophytic and epiphytic bacterial community of indian cultivated and wild rice (*Oryza* spp.) genotypes. *Planta* 243: 799-812.
- Beneduzi, A., Ambrosini A., Luciane-Passaglia M. P. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Gen. Mol. Biol.* 35: 1044-1051.
- Borboa-Flores, J., Wong-Corral F. J., Rodríguez-Félix F., Hernández-Montiel L. G., Reyes-Pérez J.J. y Rueda-Puente E. O. 2016. Halobacterias promotoras del crecimiento vegetal en *Brassica oleracea* en el Noroeste de México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 17: 3509-3519.
- Brandt, K., L. Lück, G. Wyss, A. Velimirov, y H. Torjusen. 2003. *Producción de Col: control de la calidad y seguridad en las cadenas de producción orgánica*. Informe Técnico. Research Institute of Organic Agriculture FiBL. Génova (Suiza).
- Cantwell, M, y Suslow T. R. 2013. *Cabbage (round and Chinese types): recommendations for maintaining postharvest quality*. Postharvest Technology Center, Department of Plant Sciences, University of California at Davis. 3 p.

- Carcaño-Montiel, M. G., Ferrera-Cerrato R., Pérez-Moreno J., Molina-Galán J. D., Yoav B (2006). Actividad nitrogenasa, producción de fitohormonas, sideróforos y antibiosis en cepas de *Azospirillum* y *Klebsiella* aisladas de maíz y teocintle. *Terra Latinoamericana* 24: 493-502.
- Carrera, M. M., Galán S. V., González T. F., Hidalgo F. L., Maroto B. J. V., Mateo B. J. M., Navarro F. J., Puerta C. C., Rojo H. C. y Zaragoza A. S. 2005. *Prontuario de Agricultura*. 1ra Edición. Ediciones Mundi-Prensa. 531-566 p.
- Cecílio-Filho, A., R. Luiz-Cavarianni, J. C. Caetano- de-Castro, y J. W. Mendoza-Cortez. 2011. Crecimiento y Producción de Repollo en Función de la Densidad de Población y Nitrógeno. *Agrociencia* 45 (5): 573-582.
- Cerón-Rincón, L. E. y Aristizábal-Gutiérrez F. A. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 41(1): 285-295.
- Chatterjee, R. 2010. Physiological attributes of cabbage (*Brassica oleracea*) as influenced by different sources of nutrients under eastern himalayan region. *Res. J. Agri. Sci.*, 1(4): 318-321.
- Cruz-Romero, W., Barrios-Díaz J. M., Rodríguez-Mendoza M. N., Espinosa-Victoria D. y Tirado-Torres J. L. 2016. Producción de plántulas de hortalizas con *Azospirillum sp.* y aspersión foliar de miel de abeja. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 59-70.
- De Souza R., Ambrosini A. y Passaglia L. M. P. 2015 Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Gen. Mol. Biol.* 38: 401-409.
- Devi, M., Spehia RS, Menon Sandeep, Mogta Ankush y Anjali Verma. 2018. Influencia del manejo integrado de nutrientes en el crecimiento y rendimiento de la coliflor (*Brassica oleraceae*) var. *botritis*) y estado de nutrientes del suelo. *International Journal of Chemical Studies*. 6(2): 2988-2991.
- Díaz-Franco, A, Gálvez-López, D. y OrtizCháirez, F.E. 2015. Bioinoculación y fertilización química reducida asociadas con el crecimiento de planta y productividad de sorgo. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*. 31(3):245-252.
- Dixon, G. R., 2007. Vegetable brassicas and related crucifers. *Crop Production Science in Horticulture* 14. CAB International. Oxon, UK. p. 18-19.
- dos-Santos, J. B., Marengo-Centeno, C. R., Vieira de-Azevedo, C. A., Raj-Gheyi, H., de-Lima, J. S., de-Lira, V. M. 2017. Crecimiento del girasol (*Helianthus annuus* L.) en función de la salinidad del agua de riego con fertilización nitrogenada. *Agrociencia* 51: 649-660.
- Epstein, E. y Bloom A. J. 2005. *Mineral Nutrition of plants: Principles and perspectives*. 2nd edition. Sinauer Associates, Sunderland.
- FAOSTAT. 2020. Crops, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Published on the internet. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Accessed 15-enero-2020.
- Ferro, V. J. M. 2020. *Guía práctica de verduras y hortalizas*. 1ra. Edición. Edit. Blurb. Madrid España. 480 pp.

- Filgueira, F. A. R. 2000. Brassicáceas: couves e outras culturas. *In: Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia Moderna Produção e Comercialização de Hortaliças*. UFV, Viçosa. pp: 269-285.
- Fornaris, G. 2014. Conjunto Tecnológico para la Producción de Repollo. Edición 158. EEA/UPR. Puerto Rico. 5 p.
- Gaetano M., Polinori P., Tei F., Benincasa P., Turchetti L. 2016. An Economic Analysis of the Efficiency and Sustainability of Fertilization Programs at Level of Operational Systems of Soft Wheat in Umbria. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, Vol. 8, pp. 298–306.
- Girard O., L.E.; Osorio B. J. 1983. Repollo. En: *Hortalizas*, 1983. Manual de Asistencia Técnica No. 28. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Bogotá, p 167 - 188.
- Glick, B.R. 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological Research* 169:30-39.
- Gouda, S., Kerry, R.G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.-S., Patra, J.K., 2018. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological research* 206, 131-140.
- Gómez-Merino, F. C., L. I. Trejo-Téllez y G. Alcántar-González. 2016. Nutrición molecular de N, P y K en plantas. *In: Alcántar-González G., Trejo.Téllez L. I. y Gómez-Merino F. C. (eds.). Nutrición de cultivos. Biblioteca básica de agricultura*. Texcoco, México. pp. 371-405.
- Goswami D., Thakker J. N. y Dhandhukia P. 2016. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food & Agriculture*. 2(1): 1127500.
- Greenway, H. y Munns R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. 31: 149-190.
- Haque, K. M. F., Jahangir A. A., Haque M. E., Mondal R. K., Jahan M. A A., y Sarker M. A. M. 2006. Yield and nutritional quality of cabbages as affected by nitrogen and phosphorus fertilization. *J. Sci. Ind. Res.* 41: 41-46.
- Hernández-Reyes B.M., Rodríguez-Palacio M.C., Castilla-Hernández P., SánchezRobles J., Vela-Correa G.1 y Schettino-Bermúdez B. 2019. Uso potencial de cianobacterias como biofertilizante para el cultivo de maíz azul en la Ciudad de México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*. 10 (1): 13-27
- Hurst, W. C., 2009. Harvest and handling. *En: Commercial production and management of cabbage and leafy greens*. The University of Georgia Cooperative Extension, Colleges of Agricultural and Environmental Sciences & Family and Consumer Sciences. Boletín 1181. pp. 32-35.
- Idrovo, N. S. (2008). Nutrición foliar y defensa natural. *XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, pp. 29–31.

- Jaramillo N., J. E. 2001. El manejo agronómico de cultivos como herramienta de manejo integrado de plagas y enfermedades tendientes a la producción limpia de hortalizas. En: Hortalizas. Plagas y Enfermedades. Compendio de eventos 1. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA - Sociedad Colombiana de Entomología. SOCOLEN. Rionegro, Antioquia. pp: 5-21.
- Jaramillo N. J. E. y Diaz, D. C.A. 2006. El Cultivo de las crucíferas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. Manual Técnico 4. 176 p.
- Ji, S. H., Gururani, M. A., and Chun, S. 2014. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic diazotrophic bacteria from Korean rice cultivars. *Microbiol. Res.* 169, 83–98.
- Kang, S. M., Adhikari A., Lee K. E., Park Y. G. Shahzad R. y Lee I. J. 2019. Gibberellin producing rhizobacteria *Pseudomonas koreensis* MU2 enhance growth of lettuce (*Lactuca sativa*) and chinese cabbage (*Brassica rapa, chinensis*). *J. Microbiol Biotech Food Sci.* 9(2): 166-170.
- Kelley, W. T y Granberry D. M. 2017a. History, utilization and botany of cabbage *In: Kelley, W. T. MacDonald G., y Adams D. B. (eds.). Commercial production and management of cabbage and leafy greens. UGA extensión. pp: 3-4.*
- Kelley, W. T y Boyhan G. E. 2017b. Culture and variety selection *In: Kelley, W. T. MacDonald G., y Adams D. B. (eds.). Commercial production and management of cabbage and leafy greens. UGA extensión. pp: 4-8.*
- Khan, F. M., Inamul H., Nimatullah, Tariq S., Muhammad F. Ohia C. y Tauseef A. 2018. Isolation, characterisation and indentificación of plant growth promoting rhizobacteria from Cauliflower (*Brassica oleracea*). *Arch Basic Apple Med.* 6(1):55-60.
- Kloepper J. W. y Schroth M. N. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. *In Angers (ed), Proc. 4th Int. Conf. Plant Path. Bact. vol. 2. INRA, Gibert-Clarey, Tours, France. pp. 879-82.*
- Kloepper J.W., Zablutowack, R.M., Tipping, E.M., y Lifshitz, R. 1991. Plant growth promotion mediated by bacterial rhizosphere colonizers. Keister, D.L., y Cregan, P.B. (eds), *The Rhizosphere and Plant Growth.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers pp. 315-326.
- Kuan, K. B., R. Othman, K. Abdul Rahim y Z. H. Shamsuddin. 2016. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen remobilisation of maize under greenhouse conditions. *PLoS One* 11: e0152478.
- Kumar, V., Yadav A.N., Verema P, Sangwan P, Saxena A. Kumar K. y Singh B. 2017. β -Propeller phytases: Diversity, catalytic attributes, current developments and potential biotechnological applications. *Int. J Biol Macromolec* 98: 595-609.
- Malik D.K., Sindhu S. S. 2011. Production of indole acetic acid by *Pseudomonas* sp: effect of coinoculation with *Mesorhizobium* sp. Cicer on nodulation and plant growth of chickpea (*Cicer arietinum*). *Physiol. Mol. Biol. Plants* 17: 25-32.

- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2: 176-177.
- Marquina, M. E., Ramírez Y. y Castro Y. 2018. Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimentón *Capsicum annuum l.* var. cacique gigante. *Revista del Decanato de Agronomía* 30(1): 3-16.
- Martínez-Reyes, L., Aguilar-Jiménez C. E., Carcaño-Montiel M. G., Galdámez-Galdámez J., Gutiérrez Martínez A., Morales Cabrera J. A., Martínez-Aguilar F. B., Llaven-Martínez J. y Gómez Padilla E. 2018. Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays l.*) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra* 5(1): 026–037.
- Maas, E. V., Hoffman G. J. 1977. Crop Salt Tolerance–Current Assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. 103 (2): 115-134.
- Molina-Romero, D., Bustillos-Cristales M. R., Rodríguez-Andrade O., Morales-García Y. E., Santiago-Saenz Y., Castañeda-Lucio M. y Muñoz-Rojas J. 2015. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*. 17(2): 24 – 34.
- Moreira, M. A., S. M. Vidigal, M. A. N. Sedyama, e M. R. dos Santos. 2011. Crescimento e produção de repolho em função de doses de nitrogênio. *Hort. Bras.* 29: 117-121.
- Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez J., Jones H. G., Ayala-Chairez F., Tinoco-Ojanguren C. L. y López-Cortés A. 2000. Screening and classification of cowpea genotypes for salt tolerance during germination. *J. Exp. Bot.* 67: 71-84.
- Navarro B. S. Y Navarro G. G. 2003. Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Nilsson, J., Olsson, K., Engqvist, G., Ekvall, J., Olsson, M.; Nyman M. y kesson B. 2014. Variation in the content of glucosinolates, hydroxycinnamic acids, carotenoids, total antioxidant capacity and lowmolecular-weight carbohydrates in Brassica vegetables. *J. Sci. Food Agric*, 86-4, 528–538.
- Obid, S.A., Idris, A.E., Ahmed, B.E.A.M. 2016. Effect of bio-fertilizer on growth and yield of two maize (*Zea mays L.*) Cultivars at Shambat, Sudan. *Sch. J. Agric. Vet. Sci.* 3(4):313-317.
- Ortiz-Castro R, Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L. y López-Bucio J 2009. The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signal Behav.* 4: 701-12.
- Pang, W., Y. Y. Kim, X. Li, S. R. Choi, Y. Wang, C. K. Sung, S. Im, N. Ramchiary, G. Zhou y Y. P. Lim. 2015. Anatomic characteristics associated with head splitting in cabbage (brassica oleracea var. Capitata l.). *PLoS One* 10: e0142202.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P., 2016. Climate-smart soils. *Nature* 532: 49-57.
- Ponmurugan K (2012) Biological activities of plant growth promoting *Azotobacter* sp. isolated from vegetable crops rhizosphere soils. *J Pure Appl Microbiol* 6:1–10.

- Porras, A. 2007. Evaluación de dosis de fertilización nitrogenada y densidades de siembra sobre el rendimiento del cultivo de repollo (*Brassica oleracea*, var. *Capitata* L.) Híbrido Izalco, Nicaragua. Departamento de la Facultad de Producción Vegetal. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua.
- Ramírez, M. 2011. Manual para la producción de hortalizas menores en el sur de Tamaulipas. México D.F. (México): INIFAP.
- Ramírez-Rivera, A. 2009. Respuesta del repollo a la fertilización química y orgánica en Nochán, Olopa, Chiquimula. Investigación inferencial EPSA. Guatemala: FAUSAC. 40 p.
- Reyes-Munguía, A., Rosas-Trejo L., Campos-Montiel R. G., Quintero-Lira A. Y Carrillo-Inungaray, M. L. 2017. Propiedades antioxidantes del extracto acuoso de *Brassica oleracea* var. *sabellica*. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. 3(8): 30-34.
- Rojas, R. K., y Ortuño, N. 2007. Micorriza arbuscular en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola. Acta Nova, 3, 697-719.
- RoyChowdhury, A., Bagchi A. y Sengupta C. 2016. isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria (pgpr) from agricultural field and their potential role on germination and growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.) Plants International Journal Of Current Agricultural Sciences. 6 (10): 128-131.
- Sánchez-López D. B. García-Hoyos A. M. Romero-Perdomo F. A., Bonilla-Buitrago R. R. Efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal solubilizadoras de fosfato en *Lactuca sativa* cultivar White Boston. Revista Colombiana de Biotecnología. 16 (2): 122-128.
- Sánchez-Mendoza, S., Bautista-Cruz A., Martínez-Gallegos V. 2018. Fotobacterias promueven la emergencia y el crecimiento de agaves silvestres. Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento. 6(17): 1-7
- Santiago-Lastra, J. A. y H. R. Perales-Rivera. 2007. Producción campesina con alto uso de insumos industriales: El cultivo de repollo (*Brassica oleracea* var. *Capitana*) en los altos de Chiapas. Ra Ximhai 3(2): 481-507.
- Segura, R. y Lardizábal R. 2008. Manual de producción de repollo. USAID-RED. Estados Unidos. 34 pp.
- SIAP. 2020. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en línea <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> consultado 16-enero-2020.
- Siddiqui, I. A., Shaukat, S. S. y Sheikh, I. H. 2006. Role of cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* CHA0 in the suppression of root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* in tomato. World J Microbiol Biotechnol 22: 641–650.
- Sinai, G., Dalins, B. Z. 2009. Design of multiquality irrigation water supply systems using the Q–C feasibility domain concept: II. QCFD model and applications. Irrigation and Drainage. 58: 61-71.

- Singh, R. P., Jha, P., and Jha, P. N. (2015). The plant-growth-promoting bacterium *Klebsiella* sp. SBP-8 confers induced systemic tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) under salt stress. *J. Plant Physiol.* 184, 57–67.
- Singh, I. 2018. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and their various mechanisms for plant growth enhancement is stressful conditions: a review. *European Journal of Biological Research* 8(4):191-213.
- Srinivasan, R., Lin M. –Y. Su F. –C Y Huang C. –C. 2017. Towards developing and integrated pest management strategy for cabbage production systems in lowlands of Taiwan, Republic of China. *Mysore J. Agric. Sci.*, 51(A): 185-197.
- Steiner, A. A. 1961. Universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15: 134-154.
- Thakur, J., Kumar P. y Mohit. 2018. Studies on conjoint application of nutrient sources and PGPR on growth, yield, quality, and economics of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *Botrytis* L.). *Journal of Plant Nutrition*, DOI: 10.1080/01904167.2018.1463382.
- Urrestarazu, M., Borges, L., Burés, S., Álvaro, J. 2013. Response of lyme thyme to salinity and ionic concentration in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition.* 36: 562-565.
- USDA. 2016. United States Standards for Grades of Cabbage. Washington D. C. 5 p.
- Wei, G., Kloepper, J. W. y Tuzun, S. (1996). Induced systemic resistance to cucumber diseases and increased plant growth by plant growth-promoting rhizobacteria under field conditions. *Phytopathology* 86, 221–224
- Widnyana, K. I W. y Cokorda J. 2016. Activities *Pseudomonas* spp. and *Bacillus* sp. to stimulate germination and seedling growth of tomato plants. *Agriculture Science Procedia.* 9:419-423.
- Xiang, W., Zhao, L., Xu, X., Qin, Y., y Yu, G. 2012. Mutual information flow between beneficial microorganisms and the roots of host plants determined the bio-functions of biofertilizers. *American Journal Plant Science*, 3: 1115-1120.
- Yadav, A. N., Verma P., Singh B., Singh C. V., Suman A. y Kumar S. A. 2017. Plant growth promoting bacteria: biodiversity and multifunctional attributes for sustainable agriculture. *Adv Biotech y Micro.* 5(5): 555-671.
- Yildirim, E., Turan M., Dursun A., Ekinici M., Kul R., Parlakova K. F., Figen D. M. y Kitir N. 2016. Integrated use of nitrogen fertilization and microbial inoculation: change in the growth and chemical composition of white cabbage, *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 5(10):1-38.
- Znidarcic, D., Kacjan-Marsic N., Osvald J., Pozrl T. y Trdan S. 2007. Yield and quality of early cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) in response to within-row plant spacing. *Acta Agriculturae Slovenica* 89: 15-23.