



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO EN ALIMENTOS
Programa de Posgrado en Ciencias y Tecnología de Alimentos

**"Evaluación de semillas y biomasa de estacas de orégano (*Lippia palmeri* W.)
mediante la inoculación de halobacterias promotoras del crecimiento vegetal"**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS

Presenta:

M.C. Fátima Rocío Mendez Mayboca

Hermosillo, Sonora

mayo de 2021

APROBACIÓN

Evaluación de semillas y biomasa de estacas de orégano (*Lippia palmeri* W.)
mediante la inoculación de halobacterias promotoras del crecimiento vegetal



M.C. Fátima Rocío Méndez Mayboca



Dr. Edgar Omar Rueda Puente
Director de la tesis



Dr. Francisco Javier Wong Corral
Co-director de la tesis



Dra. Carmen Lizette del Toro
Sánchez
Miembro del comité de tesis



Dr. Jesús Borboa Flores
Miembro del comité de tesis



Dr. Bernardo Murillo Amador
Miembro del comité de tesis

DERECHOS DE AUTOR

Hermosillo, Sonora a 14 de mayo de 2021.

Asunto: Cesión de derechos

UNIVERSIDAD DE SONORA
P R E S E N T E.

Por este conducto hago constar que soy autor y titular de la obra denominada "Evaluación de semillas y biomasa de estacas de orégano (*Lippia palmeri* W.) mediante la inoculación de halobacterias promotoras del crecimiento vegetal", en los sucesivos LA OBRA, realizada como trabajo terminal con el propósito de obtener el Grado de Doctor en Ciencias de los Alimentos, en virtud de lo cual autorizo a la Universidad de Sonora (UNISON) para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución, distribución pública, distribución electrónica y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios de la institución y se integren a los repositorios de la universidad, estatales, regionales, nacionales e internacionales.

La UNISON se compromete a respetar en todo momento mi autoría y a otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente.

De la misma manera, manifiesto que el contenido académico, literario, la edición y en general cualquier parte de LA OBRA son de mi entera responsabilidad, por lo que deslindo a la UNISON por cualquier violación a los derechos de autor y/o propiedad intelectual y/o cualquier responsabilidad relacionada con la OBRA que cometa el suscrito frente a terceros.

ATENTAMENTE


Fátima Rocio Méndez Mayboca
Nombre y Firma del Autor


LIC. GILBERTO LEÓN LEÓN
Abogado General
UNIVERSIDAD DE SONORA

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por permitirme cumplir una meta más en mi vida y estar en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y también por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante el periodo de estudio.

A la **Universidad de Sonora** y al **Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos**, por las facilidades otorgadas para desarrollar el programa de doctorado y por brindarme una excelente formación académica.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONAyT) por el apoyo económico otorgado mediante la beca doctoral (CVU: 234741).

Al **Dr. Edgar Omar Rueda Puente**, por aceptarme para esta investigación, por creer en mi; gracias por motivarme a seguir adelante y por su apoyo en la investigación del tema fascinante de las Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal.

Al **Dr. Francisco Javier Wong Corral**, por su apoyo a lo largo de toda mi estancia de estudio, por estar siempre al pendiente y brindar esa calidez humana y amistad que aligera los momentos difíciles, gracias.

A la **Dra Carmen Lizeth del Toro Sanchez**, por su apoyo especial, sus valiosos consejos, por motivarme a aprender, por su sencillez, amistad y disponibilidad.

Al **Dr. Jesús Borboa Flores**, por creer en mi y brindarme su apoyo siempre que lo requería, por sus sabios consejos, disponibilidad y ser parte del comité de la tesis.

Al **Dr. Bernardo Murillo Amador**, por su apoyo, confianza, consejos y disponibilidad, también agradezco de todo corazón su amabilidad durante mi estancia de investigación en el CIBNOR y mi periodo de estudios.

Al **Dr. Jose Luis García**, por su apoyo, consejos y tiempo durante el periodo de mis exámenes pre-doctorales, gracias.

A la **Dra. Maribel Plascencia Jatomea** por su apoyo, confianza y motivación durante mi periodo de trabajo dentro del laboratorio de Microbiología del DIPA.

Al **M.C. David René Fernandez**, por su apoyo y asesoría en la propagación de plantas, muchas gracias por sus enseñanzas al igual que al personal del vivero del DAG.

A la **Dra. Malena Ortega Nieblas**, a quien recordaré con mucho cariño por su gran apoyo, confianza y aceptación durante mis experimentos, Descance en Paz.

Al **Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.** (CIBNOR), **Dr. Luis Guillermo Hernandez Montiel** y **M.C. Martín Aguilar García** por recibirme y por las facilidades otorgadas durante mi estancia en el laboratorio de Fitosanidad e inocuidad alimentaria; así como al **Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez** y **M.C. Angel Edgardo Carillo García** por su amable atención durante mi estancia en el laboratorio de Ecología molecular.

Al personal administrativo e intendencia del DIPA por su amabilidad y disponibilidad; muchas gracias por su apoyo **Coty, Juanita, Thelma, Gloria, Consuelo, Sr. Enrique, Alberto, Imelda.**

A la **Dra. Carmen María Lopez Sainz**, Coordinadora del posgrado en Alimentos del DIPA, por su apoyo y disponibilidad siempre.

Al **Dr. José Luis Cárdenas**, por su apoyo y disponibilidad para asesorías estadísticas, gracias.

A mis compañero y amigos de generación por su valioso apoyo emocional, sus enseñanzas y sus ánimos, siempre estarán en mi corazón: **Raquel, Mariela, Lily, Iván, Encinas, Daniel**, gracias por su amistad.

A mi familia por estar presentes siempre, por el ánimo y alegría que me brindan, me dan la fortaleza para seguir adelante, sobre todo a mi **madre** hermosa por su amor, paciencia y fortaleza que siempre me transmite y me anima a seguir adelante, gracias por todo el apoyo recibido.

Y por último y no menos importante, a **Juan Francisco**, mi amado esposo que desde el inicio de este proyecto me apoyo e impulso para llevar a cabo esta meta profesional, que tanta ilusión me generaba, sin duda su apoyo incondicional es el mejor regalo para superar los momentos difíciles y disfrutar los de éxito, muchas gracias.

DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño a mi esposo **Juan Francisco** y mi hija **Davina**, por ser el motor de mi vida y motivarme en los momentos difíciles, los amo inmensamente, les dedico este trabajo de tesis, este logro también es de ustedes.

A mi madre **Ana Gloria** por su apoyo incondicional, por enseñarme a no rendirme y creer en mi, gracias a usted soy lo que soy y he llegado a donde quiero llegar, dedico con todo mi amor este trabajo no solo de investigación si no de enseñanza de vida.

RESUMEN

Las plantas aromáticas han ganado importancia en el mundo, debido a las aplicaciones funcionales y sus principios activos. Una especie de orégano (*Lippia palmeri* W.) nativa de México, la cual es considerada una alternativa de gran interés para la agricultura sustentable; las especies de orégano son ampliamente utilizadas con fines culinarios y las más comunes son *Origanum vulgare* y *Lippia graveolens*, este último originario de México. Los géneros de *Origanum* y *Lippia*, poseen componentes muy importantes, como el carvacrol, el timol, el linalol, el limoneno, el alcanfor, el β -cariofileno, el α -cimeno y el α -pineno. Sus contenidos dependen del estado de crecimiento de la planta, época de recolección, también influyen los factores edafoclimáticos y de la propia especie. Actualmente, en el área de los alimentos, existe un interés que va en aumento, para cambiar los aditivos sintéticos por los de origen natural, por ello los extractos de algunas especies de orégano están siendo estudiados. En el noroeste de México, el género *Lippia* spp., en los últimos años ha sido de gran interés para los agrosilvicultores; una de las formas convencionales a las que acude el productor es al uso de fertilizantes químicos, sin embargo, con la finalidad de que al producto se le pueda agregar valor, ha acudido a la solicitud de alternativas sustentables. Actualmente, existe interés en la búsqueda de biofertilizantes en la agricultura de alta intrusión salina y elevadas temperaturas para el cultivo de orégano. Las Halobacterias Promotoras del Crecimiento de Plantas (HPCP), se han destacado por beneficiar a los cultivos nutrimentalmente y mitigar el efecto de la salinidad; por ello es relevante la evaluación y aplicación de estas bacterias halotolerantes que tienen la capacidad de fijar nitrógeno N_2 atmosférico, solubilizar fosfatos, proveer de fitohormonas al sistema radicular, mitigar el estrés iónico y catiónico, e influir como biocontrol para patógenos de raíz; lo anterior resulta ser una práctica novedosa para mitigar el estrés salino y mejorar la productividad y rendimiento de los cultivos en regiones de Sonora que son afectadas por la sal. El presente trabajo de investigación doctoral, inicio con el aislamiento de bacterias rizosféricas de la raíz y suelo de plantas autóctonas de *Lippia palmeri*, que se desarrolla de manera natural en el litoral florístico de la zona de Bahía de Kino,

municipio de Hermosillo, Sonora, específicamente en la zona indígena que pertenece a la comunidad indígena Comcaac, comúnmente conocidos como “Seris” = caminantes de arenas. El propósito central fue la selección de bacterias halotolerantes, capaces de fijar de Nitrógeno, solubilizar fosfatos y producir sideróforos; cuyo objetivo de éstas halobacterias promotoras del crecimiento vegetal selectas, consistió en determinar su efecto en la inoculación en semilla de orégano y evaluar la germinación y producción de biomasa del orégano (*L. palmeri* W.) a partir de esquejes. Los resultados muestran la presencia de 15 cepas asociadas a la rizósfera (raíz y suelo) de *L. palmeri*, bajo tres concentraciones de NaCl (0, 0.25, 0.5 y 0.75 M de NaCl) y dos temperaturas de incubación (35 y 45 °C). De los 15 aislados obtenidos, destacaron tres cepas bacterianas identificadas mediante la secuenciación parcial de 16S rRNA como: *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis*. De ellas fue seleccionada la cepa de *Bacillus amyloliquefaciens* debido a presentar actividad positiva a fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de ácidos orgánicos. Se inoculó *B. amyloliquefaciens* en semilla de *L. palmeri* y se evaluó su efecto en la germinación y longitud radicular y se obtuvieron resultados significativos. Por otro lado, se realizó el experimento para evaluar el efecto de *Bacillus amiloliquefaciens* (BA), ácido indol butírico (AIB) y un enraizador comercial como agentes promotores de raíces en estacas de *L. palmeri* en condiciones de invernadero. Se realizaron 12 tratamientos en dos tejidos (estaca parte basal-EB y estaca parte inmadura-EI) y se tomaron los datos del peso de raíz y follaje tanto en fresco como seco, también la altura de la planta. Los resultados muestran que el tratamiento a base de BA 1×10^8 UFC/mL, arrojó valores superiores y significativo en las variables: altura media de las plantas (37.98 cm), longitud radicular (16. 88 cm), así como en el peso seco aéreo (2.36 gr) de las plantas; estos valores muestran 10 veces superior que el tratamiento control; los resultados menos favorables fueron con el tratamiento a base de AIB concentración 1500 ppm presentando una altura promedio de la planta de 10.8 cm, una longitud de la raíz de 6.51 cm, así como el peso seco promedio de hojas de 0.85 gr. El tratamiento control presentó una altura promedio de la planta de 2.7 cm, una

longitud de raíz de 2.8 cm, así como el peso seco de hojas de 0.29 gr. Como conclusión, nuestro estudio demuestra que la cepa halotolerante asociadas (*B. amyloliquefaciens*) y evaluadas en la raíz de *L. palmeri*, pueden utilizarse como biofertilizante con potencial para el desarrollo y producción de orégano nativo en las áreas de Sonora que presentan suelos salinos.

Palabras clave: biofertilizante, zonas áridas, aromáticas, halotolerante, BPCV

ABSTRACT

Aromatic plants have gained importance in the world, due to the functional applications and their active principles. A species of oregano (*Lippia palmeri* W.) native to Mexico, which is considered an alternative of great interest for sustainable agriculture; oregano comprises several species of plants that are used for culinary purposes, the most common being *Origanum vulgare*, and *Lippia graveolens*, originally from Mexico. Among the properties of *Origanum* spp. and *Lippia* spp., Limonene, β -karyophyllene, r -cymene, camphor, linalool, α -pinene, carvacrol and thymol are found as main components. Its contents depend on the species, the climate, the altitude, the time of collection and the state of growth. Some properties of oregano extracts have been studied due to the growing interest in replacing synthetic additives in food. In northwestern Mexico, the genus *Lippia* spp., In recent years has been of great interest to agroforestry farmers; one of the conventional ways that the producer goes is to use chemical fertilizers, however, in order to add value to the product, he has come to the request for sustainable alternatives. To the latter, there is currently interest in the search for biofertilizers in agriculture with high saline intrusion and high temperatures for the cultivation of oregano. Plant Growth Promoting Halobacteria (HPCP) have stood out for benefiting crops nutritionally and mitigating the effect of salinity; for this reason, the evaluation and application of these halotolerant bacteria that have the ability to fix atmospheric nitrogen N_2 , solubilize phosphates, provide phytohormones to the root system, mitigate ionic and cationic stress, and influence as biocontrol for root pathogens is relevant; This turns out to be a novel practice to mitigate saline stress and improve the productivity and yield of crops in regions of Sonora that are affected by salt. The present doctoral research work, began with the isolation of rhizospheric bacteria from the root and soil of native plants of *Lippia palmeri*, which develops naturally in the floristic coastline of the Bahía de Kino area, municipality of Hermosillo, Sonora, specifically in the indigenous area that belongs to the Comcaac indigenous community, commonly known as “Seris” = sand walkers. The main purpose was the selection of halotolerant bacteria, capable of fixing Nitrogen, solubilizing phosphates and producing siderophores; whose

objective of these select plant growth promoting halobacteria was to determine their effect on oregano seed inoculation and to evaluate the germination and biomass production of oregano (*L. palmeri* W.) from cuttings. The results show the presence of 15 strains associated with the rhizosphere (root and soil) of *L. palmeri*, under three NaCl concentrations (0, 0.25, 0.5 and 0.75 M NaCl) and two incubation temperatures (35 and 45 ° C). Of the 15 isolates obtained, three bacterial strains identified by partial 16S rRNA sequencing stood out as: *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*. From them, the *Bacillus amyloliquefaciens* strain was selected due to its positive activity for nitrogen fixation, solubilization of phosphates and production of organic acids. *B. amyloliquefaciens* was inoculated in *L. palmeri* seed and its effect on germination and root length was evaluated and significant results were obtained. On the other hand, the experiment was carried out to evaluate the effect of *Bacillus amyloliquefaciens* (BA), indole butyric acid (IBA) and a commercial rooting agent as root promoting agents in cuttings of *L. palmeri* under greenhouse conditions. Twelve treatments were carried out in two tissues (basal part-EB and immature part-EI stake) and the data of the root and foliage weight were taken, both fresh and dry, as well as the height of the planta. The results show that the treatment based on BA 1×10^8 CFU / mL, yielded higher and significant values in the variables: mean height of the plants (37.98 cm), root length (16.88 cm), as well as in the dry weight aerial (2.36 gr) of the plants; these values show 10 times higher than the control treatment; the less favorable results were with the treatment based on AIB concentration 1500 ppm, presenting an average height of the plant of 10.8 cm, a root length of 6.51 cm, as well as the average dry weight of leaves of 0.85 gr. The control treatment presented an average height of the plant of 2.7 cm, a root length of 2.8 cm, as well as the dry weight of leaves of 0.29 gr. In conclusion, our study shows that the associated halotolerant strain (*B. amyloliquefaciens*) and evaluated in the root of *L. palmeri*, it can be used as a organic fertilizer with potential for the development and production of native oregano in areas of Sonora that have saline soils.

Keywords: biofertilizer, arid, aromatic, halotolerant, PGPB

CONTENIDO

APROBACIÓN	i
DERECHOS DE AUTOR.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	ix
CONTENIDO.....	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
INDICE DE TABLAS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
Plantas aromáticas en zonas áridas	2
Importancia de las plantas aromáticas	3
Salinidad.....	4
Un caso: El orégano	5
Distribución y clasificación taxonómica de <i>Lippia Palmeri</i> W.....	6
Alternativa de biofertilización en plantas de orégano	9
Mecanismos de acción de las BPCV	10
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	11
Inoculación de BPCV en semillas de otras plantas aromáticas	12
REFERENCIAS.....	14
HIPÓTESIS	20

OBJETIVO.....	21
Objetivos específicos	21
DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	22
Primera etapa	22
Segunda etapa	22
Tercera etapa	22
Descripción del Capítulo 1	23
Descripción del Capítulo 2	23
Descripción del Capítulo 3	24
CAPITULO 1	25
CAPITULO 1	26
CAPITULO 2	59
CAPITULO 3	85
CONCLUSIONES.....	115

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Planta de <i>Lippia palmeri</i> en floración, localizada en el área Coomcac, municipio de Hermosillo	8
2	Colonias bacterianas aisladas de Orégano (<i>L. palmeri</i>) sobre medio Rennie, para la prueba de fijación de nitrógeno, mostrando promedios de diámetro de crecimiento radial colonial a las 21 y 48 h de incubación.....	54
3	Colonias bacterianas aisladas de Orégano (<i>L. palmeri</i>) para la prueba de solubilización de fosfatos, mostrando promedios de diámetro de crecimiento radial colonial a las 21 y 48 h de incubación.....	55
4	Colonias bacterianas aisladas de Orégano (<i>L. palmeri</i>) para la prueba de producción de sideróforos (b), mostrando promedios de diámetro de crecimiento radial colonial a las 21 y 48 h de incubación.....	56
5	Parte de la planta de <i>L. palmeri</i> donde se cortaron las estacas; se consideraron la parte inmadura (EI) del tallo, con diámetro promedio de 2,87 mm y la parte basal (EB) del arbusto con un diámetro promedio de 4,55 mm.....	67
6	A) estacas con longitud promedio de 25-30 cm. B) corte en forma de cruz en la base de la estaca de <i>L. palmeri</i>	68
7	Estructuras químicas de los principales componentes del orégano mexicano.....	102

INDICE DE TABLAS

TABLA		Página
1	Clasificación taxonomica de <i>Lippia palmeri</i>	7
2	Características morfológicas de los aislamientos bacterianos en rizósfera de <i>Lippia palmeri</i> de la comunidad COMCÁAC, Hermosillo, Sonora y seleccionadas como halobacterias promotoras del crecimiento de plantas.....	52
3	Características bioquímicas asociadas a la promoción de crecimiento de halobacterias aisladas de raíz y suelo rizosférico de <i>Lippia palmeri</i> en el estero Santa Rosa de la Comunidad indígena Comcaac, y la caracterización de aquellas Halobacterias con actividades biológicas positivas 16Rs.....	53
4	Efecto en la germinación (%), tasa de germinación y longitud radicular de <i>Lippia palmeri</i> por la inoculación por <i>Bacillus amyloliquefasciens</i> en semilla de orégano vs Ácido giberélico, bajo condiciones de salinidad.....	57
5	Tratamientos inoculados con <i>B. amyloliquefasciens</i> (Ba), ácido indol butírico (AIB) y Raizal 400®.....	71
6	Longitud radicular, diámetro de copa y número de brotes en estacas inmaduras y leñosas de orégano, tratadas con ácido indol butírico, enraizador comercial y <i>Bacillus amyloliquefasciens</i> 1x10 ⁸ UFC/mL.....	74
7	Altura de planta, peso fresco de hoja, peso seco de hoja y porcentaje de humedad en hoja en estacas inmaduras y leñosas de orégano, tratadas con ácido indol butírico, enraizador comercial y <i>Bacillus amyloliquefasciens</i> 1x10 ⁸ UFC/mL.....	76

INTRODUCCIÓN

En lo que respecta a producción y exportación de orégano seco, México, se posiciona en el segundo lugar a nivel mundial. El orégano mexicano (*Lippia graveolens*), se encuentra distribuido en los estados de Querétaro, Hidalgo, Zacatecas, Coahuila, Jalisco, Tamaulipas, Durango, Chihuahua y Baja California Sur en menor escala; Sonora no aparece entre los estados productores de orégano (Huerta, 2002; Corella-Bernal y Ortega-Nieblas, 2013). Con el nombre de “orégano” se conocen más veinte diferentes especies de plantas, cuyas hojas y flores presentan un olor característico a “especioso”. Las especies mayormente utilizadas por sus cualidades culinarias son *Lippia graveolens*, la cual es nativa de México *Origanum vulgare*, de Europa y *Coridohymus capitatus* de España y de Turquía *Origanum onites* (Lawrence, 1984, 1989; Russo *et al.*, 1998).

El orégano tiene características anti-fúngicas, anti-bacteriales, citotóxicas y antioxidantes (Aguilar-Murillo *et al.*, 2013). Por lo anterior, es una planta aromática que por sus propiedades medicinales es de gran interés para su aprovechamiento en diferentes industrias como la alimentaria, cosmética, farmacéutica y perfumera. Además, representan una excelente alternativa para diversificar la agricultura, por tener especies con gran demanda en el consumo a nivel mundial (Aguilar-Murillo *et al.*, 2013). *Lippia palmeri*, es una planta de orégano nativa del noroeste de México y suroeste de Estados Unidos y pertenece a la familia Verbenacea, se encuentra distribuida en los estados de Sonora, Sinaloa, las dos Baja California y Chihuahua. Se desarrolla en zonas áridas y semiáridas en suelos pobres de materia orgánica, es fácil de encontrarla en las laderas de los cerros y en raras ocasiones en terrenos planos (Maldonado, 1991; Borboa-Flores *et al.*, 2016).

Las características especiales de las plantas de orégano, pueden verse afectadas ó limitadas por la disponibilidad de nitrógeno y la salinidad del suelo presente en zonas áridas y semiáridas de México. Para superar ésta limitante, pueden utilizarse bacterias benéficas presentes en el sistema radicular de las plantas halófitas, resaltando aquellas tolerantes a la salinidad y que son denominadas halobacterias promotoras del crecimiento de plantas (HPCP). Estos microorganismos pueden mitigar el efecto de la salinidad en el suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes por la fijación de nitrógeno atmosférico y proporcionarlo de forma asimilable a la planta. Asimismo, también tienen capacidad para proveerle fitohormonas (ácido giberélico y ácido indol acético) y fosforo asimilable mediante la solubilización de fosfatos (Loredo-Osti *et al.*, 2004).

En la región noroeste de México, son escasos los estudios relacionados con plantas aromáticas y su asociación con las HPCV. Es por lo anterior que el objetivo del presente estudio consiste en determinar el efecto de la inoculación de halobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el rendimiento y la composición del aceite esencial del orégano (*L. palmeri*).

ANTECEDENTES

Plantas aromáticas en zonas áridas

El atractivo principal de las plantas aromáticas, deriva del amplio potencial culinario utilizadas como condimento en platillos regionales e internacionales; además estudios recientes, demuestran sus beneficios atribuidos a sus propiedades anti-bacterianas, anti-fúngicas, antioxidantes entre otras. Estas propiedades biológicas se deben a la capacidad de la planta para producir metabolitos secundarios, los cuales aumentan cuando la planta se encuentra en condiciones de estrés como lo es la falta de agua, salinidad, etc., gran cantidad de plantas aromáticas se desarrollan en zonas áridas y semiáridas, por lo que resulta

interesante dirigir la mirada hacia estas zonas. La Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), describe estas zonas áridas a todas las superficies del territorio nacional en donde las precipitaciones anuales oscilan en 250 milímetros (mm) o menos y donde las precipitaciones alcanzan más de 250 mm y menos de 500 mm. como zonas semiáridas. La Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), define como zona árida a las superficies del territorio nacional en donde las precipitaciones anuales oscilan en 250 milímetros (mm) o menos, y donde alcanzan más de 250 mm y menos de 500 mm como zonas semiáridas. En la República Mexicana las zonas áridas, muy áridas y semiáridas abarcan más del 50% de la superficie total (CONACYT, 2015). De acuerdo con SAGARPA (2016), las regiones secas son áreas llenas de riquezas, bondades y ofrecen un importante porcentaje de la producción de alimentos que se cultivan en las zonas áridas.

Importancia de las plantas aromáticas

En los últimos años, el interés por estas las plantas aromáticas se ha incrementado, debido a sus amplios usos potenciales en distintas industrias, como la medicinal/farmacéutica, alimentaria, así como en la fabricación de perfumes y cosméticos (Heywood, 1999; Sangwan *et al.*, 2001, Bandoni, 2002), de igual manera son muy atractivas para consumidores, recolectores, agricultores, industrias transformadoras, etc. (Azizi *et al.*, 2007). También se ha generado un aumento de su uso, en productos nutraceuticos, de fisioterapia y aromaterapia, entre otras muchas más aplicaciones (Juárez-Rosete *et al.*, 2013). En estudios recientes se han encontrado que a estas plantas se les confiere actividad biológica (contra hongos, bacterias, insectos y virus), así como antioxidante (Milos *et al.*, 2000), desinfectante; insecticida (Sedy *et al.*, 2003). También se ha reportado su empleo en la medicina tradicional como antiespasmódico, y por tal motivo sus extractos o aceites esenciales se han convertido en productos muy atractivos para la exportación.

Adicionalmente, Dafarera *et al* (2000), afirma que la Organización Mundial de la Salud (OMS), describió que un alto porcentaje de la población mundial (cerca del 80%), utiliza extractos de plantas y sus productos bioactivos como los terpenoides, para los cuidados primarios de la salud. Naghdi Badi *et al.* (2017), estudiaron la actividad biológica de 10 plantas aromáticas pertenecientes a las familias *Laminaceae*, *Verbenaceae* y *Ranunculaceae*. Ellos extrajeron el timol y carvacrol de sus aceites esenciales y les encontraron un amplio espectro de actividad biológica como antimicrobianos, antiinflamatorios, antioxidantes, hepatoprotectoras y antitumorales. Juárez-Rosete (2013), en su estudio destacó que, en México, la albahaca es la principal hierba aromática que se produce para exportación, sin embargo, actualmente no se cuenta con una valoración de la situación de las plantas aromáticas.

Analizando a las plantas aromáticas, las investigaciones dirigidas al mejoramiento de un sistema de producción de cultivo bajo condiciones de aridez y salinidad, tal como ocurre naturalmente en la zona noroeste de México. Se ha reportado que la productividad de es escasa por la disponibilidad de nitrógeno, además afecta directamente sobre su crecimiento y niveles de nitrógeno presentes en la biomasa, repercutiendo así en el rendimiento y propiedades nutritivas. Para eliminar ésta limitante, se han aplicado fertilizantes sintéticos (Rueda *et al.*, 2011). No obstante, el manejo inadecuado y desmedido de fertilizantes químicos, afecta de una manera importante el desarrollo de las poblaciones de microorganismos benéficos del suelo, así como también una agudización al problema de la intrusión salina (Martínez, 1996).

Salinidad

La salinización de los suelos agrícolas son quizá el problema más serio que enfrenta la agricultura en nuestros días (Rodríguez *et al.*, 2014), ya que son condiciones que limitan la producción agrícola provocando suelos infértiles e

improductivos, causando un grave problema en la agricultura mundial (Manzano *et al.*, 2014). De acuerdo con Rodríguez *et al.*, (2014), el aumento de la salinidad se debe al incremento excesivo de la desertificación, a la introducción masiva de sistemas de riego y a su manejo inadecuado. La salinización del suelo y el agua son los principales causantes que contribuyen directamente a la desertificación, debido a que la salinidad suele desarrollarse mejor en condiciones áridas, lo cual sucede en un 50% de la superficie de las zonas áridas y semiáridas del planeta. Por lo anterior mencionado, es que la salinidad y la desertificación están íntimamente relacionadas (Palacio *et al.*, 2010). Los suelos con problemas de salinización, según Porta *et al* (2014), se observan en los cultivos, debido a que demuestran mala germinación, deficiencia en el crecimiento, bajos rendimientos y hasta la muerte de la planta, lo cual es causado por el exceso de sales que rebasa el umbral soportado por la planta. Por lo antes mencionado, es de suma importancia buscar alternativas de cultivos que se adapten a las condiciones de salinidad y aridez.

Un caso: El orégano

Se conoce como orégano a un arbusto (herbáceo, perenne), que es muy utilizado como condimento por su olor y sabor especioso; además de poseer aplicaciones funcionales que son benéficas para la salud. Por tal motivo se han utilizado desde tiempos remotos, a las hojas maceradas, mismas que se toman en infusiones para aliviar cólicos (antiespasmódico), así como malestares digestivos causados por gases (carminativo) y por parásitos (antihelmíntico); así mismo, también se emplean para aliviar la obstrucción de las vías respiratorias como tónico expectorante (antitusígeno) y para curar dolores musculares (desinflamatorio). En medicina tradicional, las hojas frescas, son útiles para controlar el asma (antiasmático), las infecciones dérmicas (anti-infeccioso) con acción específica contra *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*

(antibacterial), y además es utilizado como fungicida e insecticida (Martínez-Evaristo, *et al.*, 2015; CONABIO, 2005; Ávila, 2001).

Estudios recientes sobre actividad antioxidante en *Hedeoma patens*, *Lippia graveolens* y *Lippia palmeri*, mostraron capacidad para inhibir la oxidación lipídica en diferentes sistemas, pues presentaron la más amplia y efectiva actividad antioxidante, de entre otras especies (Gutiérrez- Grijalva *et al.*, 2017).

Distribución y clasificación taxonómica de *Lippia Palmeri* W.

Dentro del género *Lippia* (familia Verbenaceae), se encuentran cerca de 200 especies incluyendo herbáceas, matorrales y pequeños árboles (Terblanche y Kornelius, 1996). No obstante, se le llama orégano a alrededor de 40 especies que presentan olores y sabores similares, los cuales se encuentran dentro de las familias Verbenaceae, Labiatae, y Compositae (Tabla 1), lo cual influye en el tipo de sustancias activas y la cantidad que presenten (Silva-Vázquez *et al.*, 2008). *Lippia palmeri*, se distribuye al noroeste de México y suroeste de Estados Unidos, localizándose principalmente en los estados de Chihuahua, Sonora, Sinaloa y las dos Baja California (Figura 1) (Maldonado, 1991; Ortega-Nieblas *et al.*, 2016).

Tabla 1. Clasificación taxonomica de *Lippia palmeri* (Sánchez *et al.*, 2007; SEMARNAT, 2007; CONAFOR, 2011)

Reino	Plantae
División	Magnoliophyla
Clase	Magnoliopsidae
Orden	Lamiales
Familia	Verbenacea
Género	<i>Lippia</i>
Especie	<i>palmeri</i>



Figura 1. Planta de *Lippia palmeri* en floración, localizada en el área Coomcac, municipio de Hermosillo.

Alternativa de biofertilización en plantas de orégano

La mayoría de las investigaciones en plantas aromáticas, se concentran en la fracción proteica y en la calidad de sus ácidos grasos volátiles (Bressani y Elias, 1974). Dichos estudios realizados, se han desarrollado en plantas cultivadas, en donde utilizan productos químicos para su fertilización; la cual aunada al uso y manejo indiscriminado por parte de los productores, agrava el problema de salinidad en zonas áridas.

Por otra parte, una opción a la fertilización química es el uso de microorganismos benéficos, entre los que destacan los promotores del crecimiento vegetal. Estos se desarrollan en la rizósfera y se caracterizan por tener habilidad de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fosfatos y producir fitohormonas. Además de colonizar a la planta a partir de las raíces, aumentando la densidad de pelos radiculares aumentando así la absorción de agua y nutrientes. Además, también ayudan a la producción de fitohormonas como las giberelinas, citoquininas y auxinas, entre otras, que se encargan de promover el crecimiento vegetal (Jena *et al.*, 1992; Gamo y Sang, 1990). Dichas características influyen en la productividad agrícola, reduciendo los costos de producción y disminuyendo o eliminando el uso de fertilizantes químicos (Okon y Labandera, 1994). Por todo lo anterior, el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) representa una excelente opción para ser utilizado en la agricultura orgánica y sustentable con el medio ambiente.

Dentro del grupo de BPCV, se encuentran las halobacterias, llamadas así por su tolerancia a la salinidad. Estudios relacionados con halobacterias benéficas y sobre todo aquellas fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfatos en el Noroestes de México, han sido encaminados a cultivos agrícolas de interés básico, forrajero y hortícola. Cabe mencionar que entre los microorganismos con capacidad de fijar nitrógeno y/o producir fitohormonas más estudiados, podemos encontrar a los géneros de *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Bacillus* y

Rhizobium (Buckman y Brady, 1977; De Troch y Vanderleydan, 1996). Estos promueven el desarrollo fenotípico, incrementando la biomasa, aumentando la cantidad de nitrógeno en granos y brotes, así como en el número de tallos, altura de planta, tasa de germinación, aparición precoz de grano y floración; además de un incremento en la calidad proteínica de los granos cosechados (Okon y Labandera, 1994). Sin embargo, estos organismos han sido aislados de ambientes favorables donde la salinidad y alcalinidad no son un problema. Es por ello, la importancia de ampliar el conocimiento para explorar las poblaciones microbianas en la rizósfera de plantas de zonas áridas desérticas como lo es el orégano silvestre.

Mecanismos de acción de las BPCV

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV), son conocidas como bacterias que habitan la raíz y estimulan el crecimiento de las plantas (Moreno *et al.*, 2018). En lo que respecta al efecto positivo que estas BPCV ejercen sobre las plantas, se conocen dos mecanismos de acción: mecanismos directos y mecanismos indirectos. Los mecanismos directos: son aquellos que suceden cuando las bacterias producen ciertos metabolitos secundarios, los cuales pueden ser utilizados por la planta como reguladores de crecimiento, ya que se incrementa la disponibilidad de nutrientes requeridos para el metabolismo y nutrición de la misma. Algunos ejemplos de mecanismos directos son: la reducción de toxicidad por metales pesados, la síntesis de fitohormonas, fijación de nitrógeno N_2 atmosférico y reducción de la actividad de la ACC desaminasa, incremento de la permeabilidad de las raíces, solubilización de minerales, entre muchos otros (Kumar & Verma, 2018; Moreno *et al.*, 2018).

En tanto que, los mecanismos indirectos, son responsables de disminuir o eliminar a los microorganismos fitopatógenos, generando sustancias antimicrobianas, antibióticas, enzimas líticas o una mezcla de ellas; esto sucede debido a que se genera competencia, por nutrientes, espacio, o bien aumentando

las defensas de la planta generando un control biológico. Otro ejemplo es la producción de sideróforos, los cuales son mecanismos para secuestrar Fe disponible en el suelo de esta manera limita el desarrollo de ciertos fitopatógenos, entre otros.

La combinación de los mecanismos directos e indirectos brinda el efecto evidente de la promoción de crecimiento en plantas; observando un aumento en la germinación, el peso y una mayor fuerza en las plántulas, también aumento en el desarrollo de raíces e incrementos de hasta el 30% en la producción de cultivos comerciales y plantas aromáticas (Angulo *et al.*, 2014; Kumar & Verma, 2018; Moreno *et al.*, 2018)

Bacillus amyloliquefaciens

Bacillus amyloliquefaciens, es una bacteria que presenta amplia distribución en la rizósfera de una amplia gama de ecosistemas, se ha encontrado en suelos tropicales, subtropicales y templados de todo el planeta. Esta especie ha sido muy utilizada en la agricultura, acuicultura e hidroponía para combatir un sin número de patógenos de raíz; también es muy utilizada para mejorar la capacidad de tolerancia al estrés salino; además de colonizar rápidamente el sistema radicular sin formar nódulos (Pedraza *et al.*, 2020)

Los microorganismos del genero *B. amyloliquefaciens*, presentan la virtud de fijar N₂ atmosférico, facilitando nitrógeno asimilable para la planta y promoviendo la liberación de hormonas como el ácido indolacético (AIA) y auxinas, dando como resultado el crecimiento de las raíces y los pelos radiculares (33-40%). También, se ha encontrado una relación directa entre la absorción de minerales y agua, lo cual ayuda al desarrollo e incremento del rendimiento de la planta; por lo anterior que es considerada como una bacteria promotora del crecimiento en plantas (Sánchez-López, *et al.*, 2016; Pedraza *et al.*, 2020).

Inoculación de BPCV en semillas de otras plantas aromáticas

El manejo de inóculos bacterianos, comprende la elección y reproducción de agentes benéficos para las plantas, desde los que brindan protección a la planta de ataques de bacterias, hongos, malezas y plagas, hasta los que proveen nutrientes. Los promotores de crecimiento vegetal, pueden tener gran capacidad como agentes de biocontrol y biofertilizantes, que producen hormonas de crecimiento que pueden ser aprovechadas por las plantas (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012).

Estudios de Tahami *et al* (2017); relacionados con la inoculación de semillas de albahaca (*Ocimum basilicum* L) utilizando biofertilizantes con distintos tratamientos comerciales con *Azotobacter sp.* y *Azospirillum sp.*; *Bacillus sp.* y *Pseudomonas sp.* obtuvieron resultados alentadores en la mayor altura de planta, número de ramas, materia seca e índice de área foliar, también una mayor producción de semillas. Kutlu *et al* (2019), aislaron *Bacillus megaterium*, *B. subtilis*, *Paenibacillus polymyxa*, *Pseudomonas putida* y *P. fluorescens* de suelos agrícolas y los utilizaron como biofertilizantes en cultivo de orégano turco (*Origanum onites*), encontraron aumento en la altura de la planta, el diámetro de la copa, peso fresco, peso seco y rendimiento de aceite esencial comparado con el control; las concentraciones de N, P y K de las hojas de *O. onites* y el contenido de clorofila aumentaron, el componente principal del aceite esencial también cambió. De acuerdo con Kutlu *et al* (2019), confirman los beneficios de utilizar PGPR como biofertilizantes para lograr un cultivo sustentable de orégano orgánico.

Por su parte, Mishra *et al* (2017), realizaron una investigación inoculando PGPR en plantas de cilantro (*Coriandrum sativum*) para evaluar el rendimiento del cultivo en condiciones de campo abierto en una región semiárida de la India, de un total de seis aislamientos obtenidos, dos de ellos (*Bacillus aerophilus* y *B. megaterium*)

mostraron resultados positivos en cuanto al aumento de la longitud de la raíz, del follaje, peso de la raíz, peso del follaje, así como aumento significativo del rendimiento de la semilla y del aceite esencial para todos los inoculantes en comparación con los controles, estos beneficios se pueden atribuir a la producción de AIA, solubilización de fósforo, capacidad de fijar nitrógeno. Ellos afirman que *B. aerophilus* y *B. megaterium* presentan potencial para promover el crecimiento específicamente en cultivos orgánicos de *C. sativum*.

Conforme a Dehghani-Bidgoli *et al* (2019), quienes inocularon *Pseudomonas fluorescence* en plantas de romero (*Rosmarinus officinalis*). Ellos concluyeron que los niveles de salinidad moderados pueden mejorar los parámetros de crecimiento de la planta, la cual puede afectarse al aumentar los niveles de salinidad, también se demostró que con la aplicación de PGPR, el rendimiento de aceite esencial de *R. officinalis* mejoro incluso en condiciones de salinidad. posiblemente los factores bióticos y abióticos influyan en los diferentes mecanismos e interacciones entre las plantas y bacterias benéficas, con esta investigación se confirma que el uso de las PGPR ayuda a mejorar el rendimiento del aceite esencial en condiciones normales y de salinidad.

Desde la perspectiva de Santoro *et al* (2015), quienes aislaron tres cepas nativas de PGPR (*Pseudomonas putida*) provenientes de un campo de cultivo de menta (*Mentha piperita*). Las tres cepas nativas fueron capaces de producir IAA y solubilizar fosfatos, pero solo una produjo sideróforos. Con los resultados obtenidos de esta investigación en las plantas inoculadas con PGPR, se encontró aumento de peso seco, longitud, follaje y número de hojas comparado con los controles.

Se concluye que las cepas nativas, tienen un gran potencial como bio-fertilizante para mejorar la productividad en cultivos de plantas aromáticas, además que constituyen la mejor opción para la inoculación, debido a su adaptación al medio ambiente representan una gran ventaja de competencia sobre otras cepas no nativas.

REFERENCIAS

- Acevedo, D., Navarro, M. & Monroy, L. (2013). Composición Química del Aceite Esencial de Hojas de Orégano (*Origanum vulgare*). Información Tecnológica, 24: 43-48.
- Aguilar-Murillo, X., Valle-Meza, G., González-Rosales, G. & Murillo-Amador, B. (2013). Guía De Cultivo De Orégano. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 106p.
- Alarcon-Restrepo, J. J. (2011). Plantas Aromáticas y Medicinales Enfermedades de importancia y sus usos terapéuticos. 48pp. Bogotá, Colombia.
- Angulo, V.C., Sanfuentes E.A., Rodríguez F., Sossa, K.E. 2014. Caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de *Eucalyptus nitens*. Revista Argentina de Microbiología, Vol. 46(4): 338-347. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70093-8](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70093-8).
- Arcila-Lozano, C., Loarca-Piña, G., Lecona-Urbe, S. & González de Mejía, Elvira. (2004). El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. 54: 100-111.
- Borboa-Flores J, Ortega-Nieblas M M, McCaughey-Espinoza D, Robles-Burgueño M R, Serna-Félix M, Cinco-Moroyoqui F J, Wong-Corral F J, Rueda Puente E O (2016). Características de la germinación de *Lippia palmeri* (Wats) proveniente de regiones silvestres del desierto de Altar, Sonora, México. IDESIA (Chile) 34(4):37-42. DOI: 10.4067/S0718-34292016005000021.
- Buckman, H. & Brady, N. (1977). Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simon S.A. España, 589 p.
- Camelo R, M.; Vera M, S. & Bonilla B. R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria 12: 159-166.
- Carrillo, A., Puente, M., Castellanos, T. & Bashan, Y. (1998). Aplicaciones Biotecnológicas de Ecología Microbiana. Manual de Laboratorio. Pontificia

Universidad Javeriana, Santafé de Bogotá, Colombia- Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste La Paz, Baja California Sur, México, 51p.

Céspedes R.D.A., Guzmán R.M., Luna Z.V., Miranda T.J.A., Zambrano A.L.Y. (2010). Estudios de las plantas aromáticas y su aplicación en productos alimenticios. II Encuentro Interinstitucional de Semilleros de Investigación. Colombia.

Corella Bernal, R.A., Ortega Nieblas, M.M., Robles Burgueño, M.R., Borboa Flores, J., McCaughey Espinoza, D. (2008). El Cultivo De Orégano *Lippia palmeri* Watson, En el estado de Sonora. 3 Era reunión nacional sobre orégano, Edición especial No. 1-2008, Coahuila, México.

Corella-Bernal, R.A., Ortega-Nieblas, M.M. (2013). Importancia del aceite esencial y la producción de orégano *Lippia palmeri* Watson en el estado de Sonora. Biotecnia XV (1): 57-64.

De La Chapa J., Singha, P., Lee, D., Gonzales, C. (2018) Thymol inhibits oral squamous cell carcinoma growth vía mitochondria-mediated apoptosis. Journal of Oral Pathology & Medicine, 47, 674–682

De Troch P., Vaderleyden J. (1996). Surface properties and motility of *Rhizobium* and *Azospirillum* in relation to plant root attachment. Microbiology Ecology, 32:149-169.

Dehghani Bidgoli, R., Azarnezhad, N., Akhbari, M., & Ghorbani, M. (2019). Salinity stress and PGPR effects on essential oil changes in *Rosmarinus officinalis* L. Agriculture & Food Security 8: 1-7. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0246-5>

Flores Hernández, A., Hernández Herrera, J. A., López Medrano, J. I., Valenzuela Núñez, L. M., Martínez Salvador, M., Madinaveitia Ríos H. (2011). Producción y extracción de aceite de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) bajo cultivo en la comarca lagunera. Revista. Mexicana de. Ciencias Forestales 2: 3

Gamo, T., Sang, B. (1990). Growth-promoting *Azospirillum spp* isolated from rice roots of several non-gramineus crops in Japan. Soil Science Plant Nutrition, 37: 455-461.

García-Beltrán, J.M., Espinosa, C., Guardiola, F.A., Esteban, M.A. (2018) In vitro effects of *Origanum vulgare* leaf extracts on gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) leucocytes, cytotoxic, bactericidal and antioxidant activity. Fish & Shellfish Immunology, 79, 1-10.

García-Pérez, Enrique., Castro-Álvarez, Fernando Francisco., Gutiérrez-Urbe, Janet Alejandra & García-Lara, Silverio. (2012). Revisión de la producción, composición fotoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3: 339-353.

Grageda-Cabrera, O.A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriaes, J.J., Vera-Núñez, J.A. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3(6): 1261-1274.

Hardy, R., Holsten, R., Jackson, E. & Burns, R. (1968). The Acetylene-Ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation. Plant Physiology, 43: 1185-1207.

Huerta, C. (2002). Orégano Mexicano: Oro Vegetal. Revista Biodiversitas, 15, 30-38.

Javor J. (1984). Growth potential of halophilic bacteria isolated from solar salt environments: carbon sources and salt requirements. Applied and Environmental Microbiology 48:352- 360

Jena, P., Adhya, T., Rao, V. (1992). Nitrogen fixation in *Azospirillum* sp. isolated from rice and soil as influenced by carbofuran and combined nitrogen. Microbiology, 147: 340-344.

Kumar, K., Verma, J.K. 2018. Does plant—Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review?. Microbiological Research, Vol. 207: 41-52.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.11.004>.

Kutlu, M., Cakmakci, R., Hosseinpour, A. & Karagöz, H. (2019). The use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)'s effect on essential oil rate, essential oil content, some morphological parameters and nutrient uptake of Turkish oregano Applied Ecology And Environmental Research 17:1641-1653

Landa B., Mavrodi O., Raaijmakers M., McSpadden B., Thomashow L., Weller D. (2002). Differential ability of genotypes of 2,4-diacetylphloroglucinol-producing

Pseudomonas fluorescens strains to colonize the roots of pea plants. Applied Environmental Microbiology 68:3226-3237.

Lawrence, B. M. (1984). The botanical and chemical aspects of oregano. Perfum Flavorist, 9, 44-44.

Lawrence, B. M. (1989). Origanum oil (Greek type). Perfum Flavor, 14, 38-40.

Landa B., Mavrodi O., Raaijmakers M., McSpadden B., Thomashow L., Weller D. (2002). Differential ability of genotypes of 2,4-diacetylphloroglucinolproducing *Pseudomonas fluorescens* strains to colonize the roots of pea plants. Applied Environmental Microbiology 68: 3226-3237.

Loredo-Osti, C.; López-Reyes, L., Espinosa-Victoria, D. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. Terra Latinoamericana, 22: 225-239.

Manovsky, E. (1982). Identificación de bacterias fitopatógenas. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F., 84 p.

Martínez, B. (1996). Producción agraria ecológica. En: Revista de desarrollo rural y cooperativismo agrario. Universidad de Zaragoza. Vol. V. <http://cederul.unizar.es/revista/inicio.htm>

Mavrodi O.V., Mavrodi D., Park A., Weller D., Thomashow L. (2006). The role of dsbA in colonization of the wheat rhizosphere by *Pseudomonas fluorescens* Q8r1-96. Microbiology, 152: 863-872.

Mc Faddin, J. (1991). Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica. Ed. Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina, 301 p.

Mishra, B. K., Dubey P.N., Aishwath O.P., Kant K., Sharma Y.K. & Vishal M.K. (2017). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on coriander (*Coriandrum sativum*) growth and yield under semi-arid condition of India. Indian Journal of Agricultural Sciences 87: 607–12.

Moreno-Reséndez, A., García-Mendoza, V., Reyes-Carrillo, J.L., Vásquez Arroyo, J., Cano-Ríos, Pedro. 2018. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. Revista

Okon, Y., Labandera, G. (1994). Agronomic applications of *Azospirillum*: and evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biology & Biochemistry* 26: 1591-1601.

Pedraza, L. A., López, C. E., Uribe-Vélez, D. 2020. Mecanismos de acción de *Bacillus spp.* (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta Biológica Colombiana*, 25(1):112-125. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>

Peschiutta, M.L.; Arena, A., Ramirez Sanchez, E., Gomez Torres, R.P., Pizzolitto, C., Merlo, M.P., Zunino, A.B., Omarini, J., Dambolena, S., Zygodlo J. A. (2016). Efectividad del aceite esencial de orégano mexicano de República Dominicana (*Lippia graveolens*) contra plagas del maíz (*Sitophilus zeamais* y *Fusarium verticillioides*). *AgriScientia*, 33, 89-97.

Reinhold, B., Hurek, T., Fendrik, I., Pot, B., Gillis, M., Kersters, K., Thielmans, S., De Ley, J. (1987). *Azospirillum halopraeferens* sp. nov. a nitrogen-fixing organism associated with roots of Kallar grass (*Leptochloa fusca* L. Kunth). *International Journal of Systematic Bacteriology*, 37:43-51.

Rennie, R. (1981). A single medium for the isolation of Acetylene reducing (dinitrogen-fixing bacteria from soil. *Canadian Journal Microbiology*, 27: 8-14.

Rueda-Puente, E. O. (2003). Estudio De La Fenología y Potencial Productivo De La Halofita *Salicornia Bigelovii* (Torr.) Con La Asociación De Bacterias Fijadoras De Nitrógeno. Tesis doctoral desarrollada en el Centro De Investigaciones Biológicas Del Noroeste, S.C.

Rueda-Puente, E.O., Castellanos-Cervantes, T., Díaz de León-Álvarez, J.L., Preciado-Rangel, P., Almaguer-Vargas, G. (2010). Bacterial community of rhizosphere associated to the annual halophyte *Salicornia bigelovii* (Torr.). *Terra Latinoamericana*, 28: 345-353.

Rueda-Puente, E. O., Beltrán Morales, F. A., Ruíz Espinoza, F. H., Valdez Cepeda, R. D., García Hernández, J. L., Ávila Serrano, N. Y., Partida Ruvalcaba, L., Murillo Amador, B. (2011). Opciones de manejo sostenible del suelo en zonas

áridas: aprovechamiento de la halófito *Salicornia bigelovii* (Torr.) y uso de biofertilizantes en la agricultura moderna. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13 :157- 167

Saitou N., Nei M. (1987). The neighbor-joining method: a New Method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*, 4:46-425.

Sánchez-López, D.B., Pérez-Pazos, J.V., David-Hinestroza, H.A. 2016. Efecto de las PGPB sobre el crecimiento. *Pennisetum clandestinum* bajo condiciones de estrés salino. *Revista Colombiana de Biotecnología*, Vol. XVIII (1): 65-72 DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.50413>

Santoro, M.V., Capellari, L.R., Giordano, W. & Banchio, E. (2015). Plant growth-promoting effects of native *Pseudomonas* strains on *Mentha piperita* (peppermint): an in vitro study. *Plant Biology* 17: 1218–1226. doi:10.1111/plb.12351

Schwyn, B., Neilan, J.B. (1987). Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical biochemistry* 160, 47-56.

Silva-Vázquez, R., Gastelum-Franco, M. G., Torres-Muñoz, J. V., Nevárez-Moorillón, G. V. (2008). Las especies de orégano en México, Aguilar (ed.), 136-153.

Tahami, M. K., Jahan, M., Khalilzadeh, H., & Mehdizadeh M. (2017). Plant growth promoting rhizobacteria in an ecological cropping system: A study on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil production. *Industrial Crops & Products*, 107: 97-107. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.05.020

Vital-López L.; Cruz-Hernández, M.A.; Fernández-Dávila S., Mendoza-Herrera A. (2015). Diversidad bacteriana en raíces de maíz híbrido convencional y genéticamente modificado. *Phyton* 84: 233-243.

HIPÓTESIS

Los microorganismos benéficos como las halobacterias promotoras de crecimiento vegetal, presentan efectos significativos en la germinación y la biomasa de estacas de *Lippia. Palmeri W.*, en condiciones en invernadero.

OBJETIVO

Determinar el efecto de la inoculación de halobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la germinación y la producción de biomasa del orégano (*L. palmeri* W.).

Objetivos específicos

1. Aislar, purificar e identificar las bacterias capaces de fijar nitrógeno atmosférico (N₂), solubilizar fósforo (P) y producir sideróforos en la rizósfera de orégano (*Lippia palmeri* W.).
2. Evaluar la fisiología de semilla y esqueje de *L. palmeri* mediante la inoculación de halobacterias promotoras del crecimiento vegetal *in vitro* y condiciones de invernadero.
3. Obtener el rendimiento de la biomasa de estacas de *L. palmeri* mediante la inoculación con halobacterias promotoras de crecimiento vegetal.

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para cumplir con los objetivos de la investigación, el trabajo experimental se dividió en tres etapas.

Primera etapa

A partir de raíces y suelo de plantas nativas de orégano (*Lippia palmeri*), se aislaron bacterias promotoras de crecimiento vegetal. Los aislados fueron desarrollados en medios de cultivos libre de una fuente de nitrógeno, utilizando diferentes temperaturas (35 y 45 °C) y concentraciones de salinidad (NaCl). Los microorganismos que destacaron en desarrollo sobre los demás fueron aislados, obteniendo un total de 15 aislados, los cuales fueron sujetos a pruebas indirectas de fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de sideróforos. Finalmente, las bacterias fueron identificadas mediante la secuenciación del gen 16S ribosomal y depositado en el GenBank.

Segunda etapa

La bacteria seleccionada y caracterizada como *Bacillus amyloliquefaciens*, fue evaluada en la etapa de germinación en condiciones *in vitro*. *B. amyloliquefaciens* aislada de la raíz de *Lippia palmeri* fue inoculado en semillas y comparado con un tratamiento de Ácido giberélico a 100ppm, y otro sin inoculante. Las condiciones de germinación fueron a diferentes concentraciones de NaCl (0.0, 0.06, 0.12).

Tercera etapa

En condiciones de invernadero se desarrolló un estudio, evaluando a *B. amyloliquefaciens* aislada de raíces de *L. palmeri*; sobre estacas de la misma especie. Se consideraron estacas de la parte basal y parte inmadura de la planta, se compararon el *B. amiloliquefaciens*, un enraizador comercial (raizal), Acido indolbutírico a 1500 ppm y combinaciones de ellas. Variables fisiológicas fueron consideradas durante el desarrollo de la estaca.

Descripción del Capítulo 1

Estado del arte del aislamiento, purificación, caracterización y selección de bacterias halotolerantes provenientes de suelo y raíz de *L. palmeri*, con actividad fijadora de Nitrógeno, solubilización de P y producción de sideróforos. Evaluación de la fenología de las colonias y células bacterianas bacterianas, así como la germinación en semilla de *L. palmeri* mediante la inoculación de halobacteria seleccionada, bajo condiciones *in vitro*.

Producción de un artículo de investigación original titulado: “HALOBACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL ASOCIADAS A LIPPIA PALMERI (VERBENACEAE) EN LA ZONA ÁRIDA DEL NOROESTE DE MÉXICO”, el cual fue aceptado en la revista “**Acta Biológica Colombiana**”. Este manuscrito presenta la caracterización de un potencial biofertilizante halotolerante aislado de raíz de *L. palmeri* nativo y evaluado en la etapa de germinación en condiciones *in vitro*.

Descripción del Capítulo 2

Estado del arte de la evaluación en el desarrollo fenológico de estacas de *L. palmeri* (parte basal y parte inmadura de la estaca), establecidas en condiciones de invernadero, bajo la inoculación de bacterias halotolerantes asociadas a *L. palmerii* (*B. amyloliquefaciens*); enraizador comercial y ácido indolbutírico a 1500 ppm; así como una combinación entre ellas y comparadas con tratamientos testigo.

Este capítulo considera un artículo original sometido a la revista “**Notulae Scientia Biologicae**”, el cual es intitulado: Effects of plant growth promoting halobacteria *Bacillus amyloliquefaciens* Inoculation on Rooting and Plant Biomass in Oregano (*Lippia palmeri* S. Wats) Cuttings. Este manuscrito presenta el efecto que tiene la bacteria seleccionada asilada de *L. palmerii*, sobre los dos tipos de tejido de la estaca, en condiciones de invernadero.

Descripción del Capítulo 3

Estado del arte del potencial de cultivo que poseen las plantas aromáticas en zonas áridas, se incluyen experiencias internacionales, nacionales y regionales. Se incluye una reseña sobre los beneficios de estas plantas y sus amplios usos en los diversos ámbitos sociales, industriales y de investigación; a su vez, como el conocimiento en nuestro país aún es limitado. Con el objetivo de presentar alternativas de cultivo que se ajusten a las condiciones de aridez y escasez de agua propias del estado de Sonora. Se presenta una alternativa al uso tradicional de fertilizantes químicos y como mejorarían los cultivos utilizando Halo-Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (HBPCV), las cuales pueden mitigar el efecto de la salinidad y mejorar la calidad nutricional de plantas aromáticas, a través de la fijación de nitrógeno atmosférico y proporcionarlo en forma asimilable a la planta, además de proveer fitohormonas y fosforo asimilable.

Este capítulo considera una revisión actualizada sometida a la revista “**ITEA**”, la cual es intitulada: Aromatic plants an alternative to agricultural production in arid-desert areas. En este manuscrito se presenta el estado del arte del potencial de cultivo que poseen las plantas aromáticas en zonas áridas, así como también una alternativa al uso tradicional de fertilizantes químicos y como mejorarían los cultivos utilizando Halo-Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (HBPCV).

CAPITULO 1

Capítulo 1. Estado del arte del aislamiento, purificación, caracterización y selección de bacterias halotolerantes provenientes de suelo y raíz de *L. palmeri*, con actividad fijadora de Nitrógeno, solubilización de P y producción de sideróforos. Evaluación de la fenología de las colonias y células bacterianas, así como la germinación en semilla de *L. palmeri* mediante la inoculación de halobacteria seleccionada, bajo condiciones *in vitro*.

Halobacterias promotoras de crecimiento vegetal asociadas a *Lippia palmeri* (Verbenaceae) en la zona árida del noroeste de México

F.R. Méndez-Mayboca, M. Plascencia-Jatomea, C.L. Del Toro-Sánchez, F.J. Wong-Corral, J. Borboa-Flores, K. Guerra, B. Murillo-Amador, E.O. Rueda-Puente

CAPITULO 1

Capítulo 1. Estado del arte del aislamiento, purificación, caracterización y selección de bacterias halotolerantes provenientes de suelo y raíz de *L. palmeri*, con actividad fijadora de Nitrógeno, solubilización de P y producción de sideróforos. Evaluación de la fenología de las colonias y células bacterianas bacterianas, así como la germinación en semilla de *L. palmeri* mediante la inoculación de halobacteria seleccionada, bajo condiciones *in vitro*.

Halobacterias promotoras de crecimiento vegetal asociadas a *Lippia palmeri* (Verbenaceae) en la zona árida del noroeste de México

F.R. Méndez-Mayboca, M. Plascencia-Jatomea, C.L. Del Toro-Sánchez, F.J. Wong-Corral, J. Borboa-Flores, K. Guerra, B. Murillo-Amador, E.O. Rueda-Puente

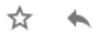
[ABC] Decisión del editor

Recibidos x



Dr. Francisco José Martínez Pérez fjmartin@uis.edu.co [a través de](#) unal.edu.co
para mí, Maribel, Carmen, Francisco, Jesús, Kevin, Bernardo, Edgar ▾

mar, 8 de dic. de 2020 08:28



Fátima Rocío Méndez Mayboca, Maribel Plascencia-Jatomea, Carmen LIZETH Sánchez, Francisco JAVIER Wong-Corral, Jesús Borboa Flores, Kevin Guerra, Bernardo Murillo Amador, Edgar Omar Rueda Puente:

Hemos tomado una decisión sobre su envío a Acta Biológica Colombiana, "HALOBACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL ASOCIADAS A LIPPIA PALMERI (VERBENACEAE) EN LA ZONA ÁRIDA DEL NOROESTE DE MÉXICO".

Nuestra decisión despues de certificar que se realizaron las sugerencias y recomendaciones de los evaluadores le informo que el articulo cumple con todos los elementos para ser publicado en Acta Biológica Colombiana.

Agradezco a nombre de Acta Biológica Colombiana el que nos seleccioine como medio de divulgación de sus investigaciones.

Cordialmente

Dr. Francisco José Martínez Pérez

Editor de seccion

Acta Biologica Colombiana

**FORMATO ÚNICO DE SOMETIMIENTO DE MANUSCRITOS A LA REVISTA
ACTA BIOLÓGICA COLOMBIANA**

INFORMACIÓN GENERAL DE LA PUBLICACIÓN

Fecha: 30 de noviembre de 2019

Idioma: español

Tipo de Artículo: artículo científico (<30 páginas),

TITLE (*Inglés*): **PLANT GROWTH PROMOTING HALOBACTERIA ASSOCIATED
TO LIPPIA PALMERI (VERBENACEAE) IN THE ARID ZONE OF
NORTHWESTERN MEXICO**

TITULO (*Español*): **HALOBACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO
VEGETAL ASOCIADAS A LIPPIA PALMERI (VERBENACEAE) EN LA ZONA
ÁRIDA DEL NOROESTE DE MÉXICO**

RESUMEN

La producción de orégano es de relevancia económica en el noroeste de México. Su productividad se ve limitada a niveles de nutrición. Los productores recurren a la fertilización química, pero su mal uso, agudiza la salinidad. *Lippia palmeri* crece de manera natural en suelos áridos pobres en materia orgánica, alta salinidad y temperatura en el noroeste de México. En el contexto de una agricultura

sustentable, los microorganismos mantienen la fertilidad del suelo e incrementan la productividad de la planta. Actualmente existe interés en proponer biofertilizantes en la agricultura de alta intrusión salina y elevadas temperaturas para el cultivo de orégano. Las Halobacterias Promotoras del Crecimiento de Plantas (HPCP), se han destacado por beneficiar a los cultivos nutrimentalmente y mitigar el efecto de la salinidad. El objetivo del presente trabajo consistió en identificar termo- y halo-tolerantes HPCP asociadas a la rizosfera de *L. palmeri*; se evaluó la actividad solubilizadora de fosfatos, producción de ácidos orgánicos, sideróforos y fijación de nitrógeno; se identificaron mediante el gen ARNr-16S aquellas con alta actividad evaluándose su efecto en la germinación y longitud radicular. Quince diferentes colonias sobresalieron al crecer en NaCl (0.25, 0.50 y 0.75 M) a 35 y 45°C, destacando tres bacterias identificadas: *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis*. El efecto en la longitud radicular es significativo por la aplicación de *B. amyloliquefaciens*. Estudios relacionados con la promoción vegetal deben ser considerados en posteriores estudios. Este es el primer informe de *B. amyloliquefaciens* como una bacteria fijadora de nitrógeno asociada a *L. palmeri*.

Palabras Clave: *Bacillus amyloliquefaciens*, biofertilizante, salinidad.

ABSTRACT

Oregano production is of economic relevance in northwestern Mexico. Its productivity is limited by nutrition levels. Farmers resort to chemical fertilization, but its misuse sharpens salinity. *Lippia palmeri* Watts is a specie of oregano that naturally grows in arid soils with poor organic matter, high salinity and temperature

in the northwestern Mexico. In the context of sustainable agriculture, microorganisms activate soil fertility and increase plant productivity. Currently there is interest in proposing biofertilizers in the agriculture with high saline intrusion and temperatures for the cultivation of oregano. The Plant Growth Promoting Halobacteria (HPCP) have stood out by the beneficiary of the nutritious crops and mitigate the effect of the salinity. The objective of this work was to identify HPKP associated to the rhizosphere of *L. palmeri*, thermo and halotolerant; phosphate solubilizing activity, organic acid production, siderophores and nitrogen fixation were evaluated; the highest activity colonies were identified by the rRNA-16S gene and the effect on germination and root length was evaluated. Fifteen different colonies stood out when growing in NaCl (0.25, 0.50 and 0.75 M) at 35 and 45 °C, from which three bacteria were identified: *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*. The effect on root length was significant for *B. amyloliquefaciens*. Studies related to plant promotion should be involved in subsequent studies. This is the first report of *Bacillus amyloliquefaciens* as a nitrogen fixing bacteria associated with *Lipia palmeri*.

Keywords: *Bacillus amyloliquefaciens*, biofertilizer, salinity.

INTRODUCCIÓN

México ocupa el segundo lugar en producción y exportación de orégano en todo el mundo (Orona-Castillo *et al.*, 2017). Destaca por tener un gran potencial económico y una importante demanda internacional, debido a sus usos en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria; posee propiedades

antimicrobianas, citotóxicas, antioxidantes y antifúngicas (Aguilar-Murillo *et al.*, 2013). En México, la producción de orégano rebasa las 80 toneladas anuales; sus ventajas y utilidades lo convierten en uno de los productos de mayor aprovechamiento mundial. En el noroeste de México, habita un pueblo amerindio denominado COMCAAC. Su número de habitantes ~20 000 personas, tienen usos, costumbres, tradiciones y lengua propios; tienen autoridades tradicionales propias, que se eligen por voto, y se respeta su jerarquía a la par de las leyes civiles mexicanas; se autodenominan "Seris" (caminantes de dunas o arenales). Actualmente la comunidad se dedica a la agricultura, frecuentemente con técnicas avanzadas y con prácticas sustentables. En la actualidad y con base a los apoyos federales de la nación y en aras de producir subproductos de orégano (extracto para medicina tradicional, aceite esencial, especias, pan, etc.), y si bien ya utilizan líneas mejoradas, están demandando se les proponga un sistema de producción de orégano con el uso de biofertilizantes; lo anterior a que bajo las condiciones que producen (suelos con baja disponibilidad de materia orgánica (M.O.) <1%) y pH arriba de 8; aunado a lo anterior, la salinidad que se ha vuelto un intruso de suelos agrícolas (Borboa-Flores *et al.*, 2016) y los costos de producción se ven incrementados, sobre todo al sustituir la baja disponibilidad de M.O. por altas aplicaciones de fertilizantes químicos y donde su uso indiscriminado ha agravado el problema local de la salinidad, el cual está presente en las regiones agrícolas de la zona árida de México.

Existe una especie de orégano, *Lippia palmeri* Watts que se desarrolla de manera natural en suelos costeros, adaptada a suelos pobres en materia orgánica y alta

temperatura (García-Pérez *et al.*, 2012). Una alternativa de solución a la intrusión salina y que disminuiría las aplicaciones de fertilización sintética, es la aplicación de microorganismos benéficos presentes en el sistema radicular de las plantas, entre los que resaltarían aquellos tolerantes a la salinidad y que son denominadas halobacterias promotoras del crecimiento de plantas (HPCP) (Renganathan *et al.*, 2018). Las HPCP tienen la capacidad de asociarse al sistema radicular, beneficiar a la planta y mitigar el efecto de la salinidad en el suelo; mejoran los rendimientos de los cultivos proveyéndoles de nutrimentos mediante la fijación de nitrógeno atmosférico, solubilización de fosfatos, asimismo influyen en la planta por su producción de fitohormonas, como las auxinas y gibelinas (AG3) (Puente y Bashan, 1993; Puente *et al.*, 1999, Loredó-Osti *et al.*, 2004). Entre los estudios con halobacterias y cultivos hortícolas y de interés forrajero figuran los de Rueda-Puente *et al.*, (2009), Villegas-Espinoza *et al.*, (2014), Borboa-Flores *et al.*, (2016), Pathak y Kumar (2016), Mahanty *et al.*, (2017), Jiménez-Gómez *et al.*, (2018), Renganathan *et al.*, (2018) y Söğüt – Çığ, (2019), entre otros. Sin embargo, aquellos estudios dirigidos a plantas aromáticas y su asociación con bacterias benéficas como son las promotoras del crecimiento vegetal de tipo halotolerante, son nulos en la región noroeste de México. En el contexto de una agricultura sustentable, y a que, las HPCP incrementan la productividad de la planta, es importante proponer biofertilizantes en una agricultura de alta intrusión salina y temperatura para el cultivo de orégano en el noroeste de México. Con base a lo anterior descrito, el objetivo del presente trabajo consistió en aislar, identificar las HPCP termo- y halo-tolerantes, con actividad solubilizadora de fosfatos,

productoras de ácidos orgánicos y sideróforos, además de su capacidad de fijar nitrógeno asociadas a la rizosfera de *L. palmeri*, en la zona árida del Noroeste de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de raíces y suelo para aislamiento microbiano

El muestreo se realizó en la zona árida indígena de los COMCÁAC (indígenas Seris) a 140 km al oeste de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. Este lugar se ubica en los meridianos 112° 07' 14.9" y 112° 07' 15.3" de longitud oeste y el paralelo 28° 59' 18.2" y 28° 59' 18.4" de longitud norte a 46 metros sobre el nivel del mar. Predominan suelos tipo franco-arenosos y arenosos, pobres en nitrógeno y materia orgánica, con clima seco árido-desértico (BWh) (según la clasificación climática de Köppen) con temperatura media anual de 43.2 ± 12 °C y precipitación media de 123 mm. Las muestras de raíz y suelo fueron colectadas de cinco plantas de *L. palmeri* en la etapa de floración y de tres años de edad, Identificadas en la Universidad de Sonora, dentro del Laboratorio de Entomología del DIPA utilizando claves taxonómicas para plantas (Felger, 2000). Se tomaron tres submuestras por cada planta (500 g de suelo y raíces) y a una profundidad de 20, 40 y 60 cm. Los arbustos fueron seleccionados por su robustez (1.80 ± 10 cm de ancho), altura (1.50 ± 10 cm) y color (verde opaco intenso). El material colectado se depositó en bolsas de plástico oscuras, se etiquetaron con sus correspondientes datos de colecta y se guardaron en un recipiente térmico con hielo que presentaba una temperatura entre los 4 ± 2 °C para su traslado al laboratorio. Asimismo, se realizaron análisis al suelo para identificar su

clasificación, en ppm (mg.Kg suelo): N-NO₃, P, Ca, Mg, Na, C.I.C. en mEq.100gm, % Cationes Intercambiables: Ca, Mg, Na y K con base a Aguilar *et al.* (1987). Una vez en el laboratorio, suelo y raíces de cada muestra fue separada; las raíces fueron seccionadas a 2 cm según Puente *et al* (1999). Las raíces de cada planta fueron depositadas en dos medios de cultivo carentes de una fuente de nitrógeno; uno de ellos en medio líquido (medio de Rennie) (Rennie, 1981) en matraces de 500 mL y el otro en medio sólido (medio de Ashby) en cajas Petri según Vital-López *et al.* (2015). Posteriormente, las cajas Petri con medio sólido se incubaron en una cámara climática por 43 h, sometiendo a dos temperaturas los medios de cultivo con raíces de cada planta a 35 y 45 °C. Por su parte, de los matraces con medio líquido y raíces, una vez transcurrida la incubación, se tomó una alícuota para ser diluida en agua estéril en una proporción 1:10 y de la quinta dilución se tomó 0.1 mL para sembrar por triplicado en medio libres de la fuente de nitrógeno: sólido Rennie (Rennie, 1981) y medio sólido Ashby (Vital-López *et al.*, 2015); ambos medios considerando concentraciones de NaCl (0, 0.25, 0.50 y 0.75 M).

Con relación al suelo colectado, se seleccionó el suelo adherido a las raíces (rizósfera); 4 gr de suelo rizosférico (SR) se obtuvieron de cada muestra y se depositaron en agua destilada estéril para su dilución (1:100 SR: agua por volumen). La solución resultante fue diluida en serie en una proporción 1:10 y de la quinta dilución se tomó 0.1 mL para sembrar por triplicado en dos medio líquidos libres de la fuente de nitrógeno: Rennie (Rennie, 1981) y Ashby (Vital-López *et al.*, 2015); ambos medios considerando concentraciones de NaCl (0.25,

0.50 y 0.75 M). Los medios de cultivo se incubaron por 120 horas a 30 y 45 °C, según Rueda-Puente *et al.* (2010). Con relación a los matraces con medio líquido y SR, una vez transcurrida la incubación, se tomó una alícuota para ser diluida en agua estéril en una proporción 1:10 y de la quinta dilución se tomó 0.1 mL para sembrar por triplicado en medio libre de la fuente de nitrógeno: sólido Rennie (Rennie, 1981) y medio sólido Ashby (Vital-López *et al.*, 2015); ambos medios considerando concentraciones de NaCl (0, 0.25, 0.50 y 0.75 M). Con base a lo anterior descrito, 96 unidades experimentales (cajas Petri) por cada planta selecta y muestreada fueron consideradas para SR y raíz, originando 486 en total para su análisis por las cinco plantas.

Selección y purificación de los microorganismos

Con la finalidad de aislar y purificar las colonias desarrolladas, las bacterias presentes en los distintos cultivos sólidos y en las diferentes concentraciones de NaCl utilizadas, se manejó el medio sólido TSA (Trypticase Soy Agar) (Becton, Dickinson and Company) considerando la concentración salina a la que se desarrolló siguiendo las recomendaciones de Manovsky (1982) e incubándolas a 30 °C durante 24 h. Los aislados bacterianos fueron preservados y almacenados en 15% de glicerol a -70 °C (Carrillo *et al.*, 1998). Posteriormente se tomó una colonia de cada aislado y se le realizó un frotis para la tinción de Gram, apoyándose de portaobjetos y utilizando un kit para tinción (Hycel de México S.A. de C.V.), según Javor *et al.* (1986); las muestras bacterianas fueron observadas en un microscopio óptico (Olympus cx31). Posteriormente a cada uno de los aislados se le realizó una caracterización morfológica en donde se incluyeron

datos de color, consistencia, apariencia, borde, elevación, tipo de crecimiento y forma de la colonia según Javor *et al.* (1986), Barrow y Feltham (1993) y MacFaddin (2000), lo que permitió descartar colonias bacterianas según las características previamente citadas, cuando eran semejantes. Posteriormente, una vez descartadas aquellas semejantes, se realizó a cada cepa bacteriana una curva logarítmica para conocer sus fases de crecimiento (latencia (Fase Log), exponencial, estacionaria y muerte); para esta actividad las cepas se cultivaron (Infort HT) en caldo nutritivo (Becton, Dickinson and Company) durante 24 h a 150 rpm a 30°C tomando muestras cada 2 h, de acuerdo al siguiente procedimiento: 1 mL del cultivo se vertió en una celda para espectrofotómetro (espectro maestro FISHER SCIENTIFIC 415), tomando la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 540 nm contra un control de medio nutritivo sin células bacterianas. La suspensión bacteriana se diluyó hasta obtener una absorbancia de 1.00 unidad, que corresponde a una concentración de 1×10^9 UFC/mL (Rueda *et al.*, 2019).

Capacidad de fijación de Nitrógeno (FN), Solubilización de fosfatos inorgánico (SF) y Producción de sideróforos (PS) por las bacterias aisladas

Para cada actividad biológica evaluada, las cepas seleccionadas se reactivaron por separado en medio de cultivo en TSB (Trypticase soy broth) (Becton, Dickinson and Company) durante 24 h a 150 rpm en una incubadora (Infort HT) a 30°C. Para realizar la prueba de FN, se utilizó la relacionada con medios de cultivo sin una fuente de nitrógeno como fue el de agar sólido “Rennie” (Rennie, 1981) en cajas Petri; para ello se agregaron 2 µL de cultivo puro crecido en TSB, depositándose 0.1 mL y dispersándose con el apoyo de una varilla de dispersión estéril sobre

medio Rennie e incubándose las placas Petri a 30 °C durante 48 h. Un control fue considerado (*Azospirillum brasilense*, proporcionada por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste = CIBNOR=). La prueba se llevó a cabo por triplicado. Las placas durante las 21 y 48 h fueron observadas para su medición y registro de aquellas colonias que se desarrollaron sobre el medio; la medición consistió en calcular el diámetro con el apoyo de un vernier (Mitutoyo America Corporation). Los resultados de crecimiento en mm, se clasificaron como actividad nula (-) cuando no se presentó crecimiento, como actividad moderada (+) cuando se presentó crecimiento de 0-7 mm y como actividad alta (++) cuando el crecimiento superó los 7 mm.

Con relación a la SF, del medio utilizado para reactivar los aislados bacterianos (TSB), se tomó 0.1 mL de suspensión bacteriana, la cual fue sembrada por el método de dispersión con una varilla estéril sobre medio sólido SRSM (Sundara Rao y Siha, 1963), el cual contiene sales de fosfato de calcio, así como purpura de bromocresol como indicador de pH. Las cajas Petri fueron incubadas a 28°C durante 21 a 48 h, con la finalidad de observar alrededor de la(s) colonia(s) bacteriana(s) una degradación mineral que se manifiesta en forma de halo (índice de degradación =mm= y evidenciado por la clarificación del medio ocasionada por la solubilización de fosfatos); el halo fue medido utilizando un vernier (Mitutoyo America Corporation). De acuerdo a los resultados de crecimiento en mm, se clasificó como actividad nula (-) cuando no se presentó crecimiento; como actividad moderada (+) con crecimiento de 0-3 mm y como actividad alta (++) cuando el crecimiento superó los 3 mm. La técnica se desarrolló por triplicado e

incluyó un control denominado “*Bacillus subtilis* cepa 1118^a” de la colección de microorganismos extremófilos del CIBNOR”. Para la PS, del medio de cultivo sólido TSB (Trypticase soy broth) de cada aislado reactivado, una alícuota (0.1 mL), se depositó sobre medio sólido cromozurol S (CAS) dispersándose con el apoyo de una varilla de vidrio estéril para detectar la actividad bacteriana en la producción de sideróforos (PS). Al igual que en la SF, se utilizó una cepa control *B. subtilis* 1118a y al cabo de la incubación se clasificó como actividad nula, moderada y alta, los mismos criterios que en la SF, dependiendo del halo formado.

Identificación de las halobacterias

La caracterización molecular de las halobacterias se desarrolló partir de la secuenciación del ADN que codifica para el ARN ribosomal 16s (GENEWIZ). Las condiciones para la amplificación de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) utilizando los primers bacterianos universales se realizó como se reportó previamente (McCabe *et al.*, 1999; Baker *et al.*, 2003). Posteriormente, las secuencias nucleotídicas se analizaron mediante un alineamiento múltiple utilizando el programa Blast (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) para identificación de las especies bacterianas.

Diseño experimental

El diseño experimental para la actividad bacteriana de fijación de Nitrógeno, solubilización de fosfatos inorgánicos y producción de sideróforos, fue un diseño completamente al azar. Los valores obtenidos, fueron evaluados con estadística

descriptiva, se obtuvo la media y desviación estándar. Los resultados fueron analizados con el paquete estadístico INFOSTAT versión 2017e.

Evaluación de la germinación por efecto de *Bacillus amyloliquefaciens*.

Semillas de orégano fueron sometidas a la inoculación de la cepa caracterizada *Bacillus amyloliquefaciens* vs el tratamiento a base de ácido giberélico AG3, a razón de 100 ppm por 60 minutos (Borboa *et al.*, 2016) y un control de agua destilada; las semillas fueron colectadas del estero Santa Rosa de Bahía de Kino, localizado en los 28° 58' 18.2" Norte y a 112°10' 9.5" Oeste a 3 metros sobre el nivel del mar; se utilizaron 50 semillas por tratamiento (0.9 x 0.6 mm aproximadamente) que no tuvieran daños mecánicos ni de insecto. Posteriormente las semillas se depositaron en recipientes con agua destilada por 60 min. y se desecharon aquellas que flotaban (Rueda-Puente *et al.*, 2009). En seguida se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 3% durante tres minutos y se enjuagaron con agua destilada estéril tres veces para eliminar los excesos de cloro (Carrillo *et al.*, 1998; Rueda-Puente *et al.*, 2009). *Bacillus amyloliquefaciens* se reactivó utilizando el medio de cultivo en TSB; la concentración microbiana inoculada en semilla fue la de 1×10^9 UFC·mL. La inoculación en semilla fue con base a la técnica del vacío reportada por Carrillo *et al.* (1998). Los tres tratamientos se vieron sujetos a condiciones de NaCl (0, 0.06, 0.12 M). Las semillas según su tratamiento y por triplicado se colocaron en cajas Petri utilizando como sustrato papel filtro. Las placas fueron colocadas en una germinadora con temperatura controlada de 28 ± 2 °C y de 90% de humedad relativa, utilizando un medidor Thermo-Hygro DTH 880, por un período de 30 días. Cada una de las

placas se irrigó con las diferentes concentraciones de NaCl de manera inicial con 5 mL y posteriormente para evitar evaporación se utilizó un atomizador (3mL), previamente cambiando el papel filtro de cada caja Petri, cada teocer día y que pudiera influir en acumularse sales de los riegos previos. La germinación se llevó a cabo en condiciones de oscuridad continua. Al segundo día se observaron las primeras semillas germinadas, realizándose conteos de plántulas germinadas cada dos días (ISTA, 2016). En esta prueba se consideraron tres variables: semillas germinadas (%), tasa de germinación y longitud radicular (Gulzar y Khan, 2001; Borboa-Flores *et al.*, 2016). El porcentaje de germinación fue calculado tomando en cuenta el número de semillas germinadas entre el número de semillas totales puestas a germinar; para la obtención del valor germinativo, se tomó en cuenta el valor más alto de germinación el cual fue multiplicado por los días medios de la germinación, este valor nos representa la fase lenta y rápida de la germinación. La tasa es la velocidad de germinación en tiempo; asimismo, fue evaluada la longitud de radicular apoyándose de un vernier.

En el presente estudio, se utilizó un diseño estadístico completamente al azar, con 4 repeticiones por tratamiento. Utilizando este mismo diseño, se realizaron análisis de varianza del porcentaje de germinación transformando previamente los valores porcentuales con arcoseno (Sokal y Rohlf, 1988). La diferencia mínima significativa entre las medias de los tratamientos, de las variables estudiadas (porcentaje de germinación), fueron evaluadas mediante la prueba de Rango Múltiple de Duncan al 0.05%. Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico de cómputo SAS 9.1 (SAS, 2015).

RESULTADOS

Con base a la metodología planteada, los resultados indican que el tipo de suelo donde se desarrolla de manera natural *L. palmeri* es en uno de tipo franco arenoso (Arena: 62.14; Limo 22.77; Arcilla; 15.09); C.E. Milimho s/sc= 6.14; % de saturación= 31.5; % Capacidad de campo= 12.63; % M.O. 0.088; (en ppm (Kg/ha suelo): N-NO₃= 0.09; P=3.1); Permeabilidad K (cm/h) = de alta a excesiva 12.5; % Cationes Intercambiables: Ca=250; Na=190), lo cual es indicativo de que el orégano presente en la el estero de Santa Rosa es tolerante a la salinidad según la C.E. obtenida en los análisis y un bajo contenido de M.O. presente.

Con relación a los aislados bacterianos de raíz (R) y suelo rizosférico (SR) adherido a las raicillas de las plantas colectadas de *L. palmeri*, se puede apreciar en la Tabla 1 un total de 15 aislados bacterianos; de los cuales 10 fueron obtenidos de R y cinco de SR, éstos últimos mostrándose con un crecimiento lento y visible en los medios Rennie (r), al cabo de 120 h de incubación; por su parte los 10 aislados bacterianos de R, su aparición fue a las 43 h después de la siembra en medio Ashby (a). Cabe indicar que, de las 15 colonias obtenidas, el 26% corresponde a aquellas obtenidas a 0 M de NaCl; a 0.25 M le compete el 33% mientras que para 0.5 y 0.75 M de NaCl es el 40%, lo cual es un indicativo de la capacidad microbiana para desarrollarse en suelos con contenidos altos de NaCl y similares al presente en el agua de mar (0.5 M de NaCl = 32 gr·L) presente en el Golfo de California y que con sus mareas logra irrigar a las plantas de orégano del estero Santa Rosa. No obstante, en la Tabla 1 se indique la temperatura de preferencia para cada aislado, en ambas temperaturas se tuvo crecimiento

bacteriano al verse sujetas en un estudio adicional e identificando que aquellas que crecen en presencia de NaCl, tienden a crecer en la alta temperatura estudiada. Con base a las características morfológicas de los 15 aislados obtenidos, cuatro resultaron ser bacterias Gram positivas y 11 Gram negativas (Tabla 1). los aislados 1F, 4F y 15F presentaron morfología de bacilo y Gram negativo pequeños y cortos, mientras que los aislados 2F, 3F, 5F, 6F, 10F, 12F y 13F, presentaron morfología de bacilo pequeño y largo Gram negativo; por su parte los aislados 10F y 11F resultaron bacilos Gram positivos pequeños largos. El aislado 8F presentó morfología de cocobacilo Gram negativo pequeño y corto. El aislado 9F resultó con morfología de diplobacilo Gram positivo pequeño y largo. Por último, el aislado 14F presentó morfología de estreptobacilo grande Gram positivo (Tabla 1).

De las actividades biológicas evaluadas, los resultados muestran que todos los aislados fueron positivos al crecimiento en medios libres de la fuente de nitrógeno (Tabla 2). Sin embargo, el 46.6% se comportó con una actividad alta ++ (cuando el crecimiento superó los 7 mm), de los cuales 2F, 5F (con valores superiores y significativos), 6F, 9F, 10F y 11F mostraron desarrollos significativos a las 48 h y por arriba de los 8 mm, en comparación de los demás aislados (Figura 1). El 64.4% mostró una actividad moderada (+) en la prueba indirecta de fijación de nitrógeno (crecimiento sobre medios libres de la fuente de nitrógeno) con un crecimiento colonial entre de 0-7 mm y no superando su crecimiento radial de 6 cm (Figura 1). En la solubilización de fosfatos (SF), la actividad se redujo en 13.3% del 100% de los aislados bacterianos, figurando con una alta actividad

(crecimiento en mm), sólo el 23% de los activos para la SF (12F,13F y 15F) (Tabla 2), resultado que se puede apreciar con valores altos y significativos en comparación de los restantes aislados en la Figura 2a. Por su parte en la actividad biológica de Producción de sideróforos (PS), sólo se mostró actividad en cuatro aislados (Tabla 2), sobresaliendo el aislado con clave 4F, con valores significativos vs aislados activos (Figura 2b). Cabe indicar que en las tres pruebas biológicas. Aquellos aislados con valores superiores indicados previamente, superaron a los controles utilizados para las pruebas (*Azospirillum halopraeferens* para FN y *Bacillus subtilis* 1118a). La caracterización mediante el gen 16S ribosomal arrojan que, de los microorganismos bacterianos aislados, y con base a las propiedades biológicas evaluadas, fueron selectos el 3F, &f y 10F, correspondiendo a *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis*, respectivamente (Tabla 2).

En la prueba de germinación, se pudo observar que la salinidad decremento los porcentajes de germinación (Tabla 3). No obstante, el porcentaje final de la germinación no fue favorecida por el AG3 y *Bacillus amyloliquefaciens* en salinidad inferiores a 0.06M de NaCl. Ésta variable fue influenciada positiva por el inoculante bacteriano y AG3 en la más alta salinidad estudiada en el estudio (0.12 M de NaCl). Este influjo fue reflejado positivamente en la Tasa de Germinación, apreciándose que la velocidad de la germinación es favorecida por la halobacteria *B. amyloliquefaciens*, reflejándose principalmente cuando la germinación es bajo condiciones de salinidad. Asimismo, el efecto favorable por el inoculante y el AG3, fueron positivamente con $P < 0.05$, en la longitud radicular, superando la

halobacteria al control y al AG3 en un 100 y 70%, respectivamente, a 0 M de NaCl, mientras que a 0.06 y 0.12 M, fue en un 35 y 60% respectivamente.

DISCUSIÓN

Las zonas áridas adolecen de factores abióticos que agudizan una agricultura convencional. Las altas temperaturas, los bajos contenidos de materia orgánica aunado a una intrusión salina figuran ser los más representativos para hacer improductiva una agricultura, por lo que el noroeste de México no es omiso a los factores previamente citados. Para contrarrestar lo anterior, y sobre todo en una agricultura aledaña a los sistemas costeros, entre las alternativas de solución son las de promover cultivos tolerantes a la salinidad como el orégano que últimamente está siendo atractivo principalmente para comunidades ubicados en el litoral costero, entre ellas la comunidad indígena COMCAAC en el estero Santa Rosa, Bahía de Kino, Sonora. Entre otras alternativas que resaltan están los biofertilizantes, sobre todos aquellos que tengan la capacidad de ser tolerantes a la salinidad y altas temperaturas que prevalecen en este tipo de ambientes donde se produce orégano. Los resultados obtenidos en el presente estudio, revelan la gran biodiversidad de microorganismos capaces de fijar N₂ atmosférico, solubilizar fosfatos y producir sideróforos asociados a la raíz y suelo rizosférico de *L. palmeri* silvestre que se desarrolla en el estero costero; microorganismos que deben tener la capacidad halotolerante pues habitan en suelos con características físico-químicas donde la concentración de sales y pH son altos, en comparación de aquellos requeridos para el desarrollo de cultivos agrícolas. Los estudios con Halobacterias promotoras del crecimiento de plantas van en aumento, debido a las

múltiples bondades obtenidas, la capacidad de adaptación en medios desfavorables y la increíble respuesta de su metabolismo con la simbiosis de una amplia gama de vegetales. Bondades que favorecen al desarrollo de las plantas mediante la habilidad de reducir el nitrógeno atmosférico a amonio, a través de la síntesis de un complejo enzimático denominado nitrogenasa (Geisseler *et al.*, 2010), resultado que fue corroborado en presente estudio con las técnicas de actividad biológica. De manera similar a la capacidad de desarrollarse en medios libres de la fuente de Nitrógeno, los resultados del estudio, arrojaron que las cepas obtenidas pudieron solubilizar (acidificar) el medio SRS, tornándolo de color amarillo brillante, la cual se evalúa cualitativamente por observación visible y medición del halo de solubilización, halo que es producto por la acidificación del medio por los metabolitos secundarios (ácidos orgánicos) producidos por las colonias bacterianas. Los ácidos orgánicos, tienen entre otras funciones actuar como quelantes de los cationes de calcio (Ca^{+2}) principalmente; sin embargo, también son relevantes para de Fe, Al y Mg que acompañan a la liberación de fosfatos a partir de compuestos fosfáticos insolubles (Goswami *et al.*, 2014). Con relación a la prueba de secreción de sideróforos, se pudo observar que no se encontró actividad en más del 50% de los aislados, sin embargo y con base a la Tabla 2, los cuatro microorganismos con actividad positiva mostraron moderada y alta actividad en esta prueba (4F). Actividades que rebasaron a los controles utilizados en el presente estudio y que aparentemente éstas bacterias son capaces de liberar sustancias quelantes (sideróforos) que atraen el hierro hacia la rizósfera, donde puede ser absorbido por la planta (Radzki *et al.*, 2013; Ahmed y

Holmström, 2014). Además, estos sideróforos son secretados por las bacterias favoreciendo la competitividad e inhibiendo el crecimiento de otros microorganismos, debido a su acción antibiótica que impide el crecimiento de patógenos limitando el hierro disponible para ellos (Shen *et al.*, 2013). Por otra parte, con relación al estudio de germinación bajo las condiciones evaluadas, se pudo observar que resultados similares se han obtenido para otras plantas (Puente *et al.*, 1999; Rozema *et al.*, 1975; Goodfriend *et al.*, 2000) y que, aunque los ensayos se hayan efectuado con otras plantas y otros microorganismos benéficos, algunos inhiben los efectos sobre la germinación (Díaz *et al.*, 2001). Sin embargo, otros estudios muestran efectos positivos con este tipo de microorganismo (Arsac *et al.*, 1990; Puente y Basham, 1993) que también coinciden con los resultados del presente estudio. Los efectos positivos de *Bacillus amyloquefasciens* observados en el presente estudio aparentemente se deben a la producción de sustancias promotoras de crecimiento según lo reportado en otros estudios (Arsac, *et al.*, 1990; Haahtela, *et al.*, 1990; Turyanitsa *et al.*, 1995; El -Khawas y Adachi, 1999).

CONCLUSIONES

El presente estudio evidencia la presencia de microorganismos que se desarrollan en zonas áridas como halotolerantes y asociados a *Lippia palmeri* que se desarrolla en los esteros de Santa Rosa en la Comunidad Indígena COMCAAC; 15 aislados fueron los que presentaron la capacidad de desarrollarse en medios de cultivo libre de una fuente de nitrógeno como un indicativo a la fijación de

nitrógeno, además de tener actividad para solubilizar fosfatos y producir sideróforos. La identificación por el 16Sr indican la presencia de *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* y *Bacillus licheniformis*. La inoculación de *Bacillus amyloliquefaciens*, en la etapa de germinación como fase inicial, muestra resultados significativos con $P < 0.05$, en la longitud radicular en presencia de NaCl. Este es el primer informe de *Bacillus amyloliquefaciens* como una bacteria fijadora de nitrógeno asociada a *Lippia palmeri*. Estudios relacionados con la promoción vegetal deben ser considerados en posteriores estudios.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la beca doctoral por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) con clave/registro: 234741; asimismo al proyecto institucional de Interacción planta microorganismo y registrado ante la Universidad de Sonora- Departamento de Agricultura y Ganadería y División de Ciencias Administrativas Contables y Agropecuarias y apoyado por el Conacyt-Conafor y Gobierno del estado de Sonora. Un agradecimiento especial a responsables y técnicos laboratoristas del Laboratorio de Biotecnología en el CIBNOR, La Paz, B.C.S. Se ofrece el presente trabajo en memoria del Dr. Cándido Márquez Hdez. QEPD. Profesor investigador de Cs'Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

NO EXISTEN CONFLICTOS DE INTERÉS

REFERENCIAS

- Aguilar X, Valle G, González G, Murillo B. Guía de Cultivo de Orégano. Ed. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.; 2013. p. 106.
- Ahemad M, Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. J King Saud Univ. Science. 2014;26(1):1–20.
- Ahmed E, Holmstrom S. Siderophores in environmental research: Roles and applications. Microb Biotechnol. 2014;7:196-208.
- Baker G, Smith J, Cowan D. Review and re-analysis of domain-specific 16S primers. J Microbiol Methods. 2003;55(3):541-555. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2003.08.009>
- Barrow G, Feltham R. Cowan, Steel's Manual for the identification of medical bacteria. 3 Ed. Cambridge. Cambridge University Press; 1993. p.331.
- Borboa J, Wong F, Rodríguez F, Hernández L, Reyes J, Rueda E. Halobacterias promotoras del crecimiento vegetal en Brassica oleracea en el noroeste de México. Rev Mex Cienc Agríc. 2016; 17:3509-3519.
- Carrillo A, Puente E, Castellanos T, Bashan Y. Aplicaciones biotecnológicas de Ecología Microbiana. Manual de Laboratorio. Ed. Pontificia Universidad Javeriana Santa Fe de Bogotá, Colombia y Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S., México. 1998; 51 pp.
- Corella R, Ortega M. Importancia del aceite esencial y la producción de orégano *Lippia palmeri* Watson en el estado de Sonora. Biotecnia. 2013;15(1):57-64.
- Costerousse B, Schonholzer L, Frossard E, Thonar C. Identification of Heterotrophic Zinc Mobilization Processes among Bacterial Strains Isolated from Wheat Rhizosphere (*Triticum aestivum* L.) Appl Environ Microbiol. 2018; 84:1-16. Doi: <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.01715-17>.
- Felger R. Flora of the Gran Desierto and Rio Colorado of Northwestern Mexico. The University of Arizona Press. Tucson. AZ. 2000; 673 pp
- García E, Castro F, Gutiérrez J, García S. Revisión de la producción, composición fitoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano. Rev Mex Cienc Agríc. 2012;3(2):339-353.

González A, Almaraz J, Ferrera R, Rodríguez M, Taboada O, Trinidad A, Alarcón A, Arteaga R. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Rev Int Contam Ambient.* 2017;33(3):463-474. Doi:<http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.09>

Goswami D, Dhandhukia P, Patel P, Thakker J. Screening of PGPR from saline desert of Kutch: Growth promotion in *Arachis hypogea* by *Bacillus licheniformis* A2. *Microbiol Res.* 2014; 169:66–75.

Gulzar S, Khan M. Seed germination of a halophytic grass *Aeluropus lagopoides*. *Ann Bot.* 2001;87 (3):319-324.

Hanslin H, Eggen T. Salinity tolerance during germination of seashore halophytes and salt-tolerant grass cultivars. *Seed Sci Res.* 2005;15(01):43-50.

ISTA. International Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association, 2016.

Javor J. Growth potential of halophilic bacteria isolated from solar salt environments: carbon sources and salt requirements. *Appl Environ Microbiol.* 1984; 48:352- 360.

Jiménez A, Flores J, García P, Mateos P, Menéndez E, Velázquez E, Rivas R. Probiotic activities of *Rhizobium laguerreae* on growth and quality of spinach. *Sci Rep.* 2018; 8:1-10. Doi:<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-18632-z>

Khan M, Ullah I, Waqas M, Hamayun M, Khan A, Asaf S, Kang S, Kim K, Jan R, Lee I. Halo-tolerant rhizospheric *Arthrobacter woluwensis* AK1 mitigates salt stress and induces physio-hormonal changes and expression of GmST1 and GmLAX3 in soybean. *Symbiosis.* 2019; 77:9-21.

Kutlu M, Cakmakci R, Hosseinpour A, Karagöz H. The use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)'s effect on essential oil rate, essential oil content, some morphological parameters and nutrient uptake of Turkish oregano. *Appl Ecol Env Res.* 2019; 17:1641-1653.

Lastiri M, Álvarez D; Soria L, Ochoa S, Cruz G. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de siete especies forrajeras. *Rev Mex Cienc Agríc.* 2017;8(6):1245-1257.

Loredo C, López L, Espinosa D. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoam.* 2004;22(2):225-239.

MacFaddin J. Biochemical tests for identification of medical bacteria. 3 Ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000. p.912.

McCabe K, Zhang Y, Huang B, Wagar E, McCabe E. Bacterial species identification after DNA amplification with a universal primer pair. *Mol Genet Metab*. 1999;66(3):205-211. Doi: <https://doi.org/10.1006/mgme.1998.2795>

Mahanty T, Bhattacharjee S, Goswami M, Bhattacharyya P, Das B, Ghosh A, Tribedi P. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environ Sci Pollut Res*. 2017;24(4):3315-3335. Doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>

Mancilla A, Almaraz J, Ferrera R, Rodriguez M, Taboada O, Trinidad A, Alarcón A, Arteraga G. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.) *Rev Int Contam Ambie*. 2017;33(3):463-474. Doi:<http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.09>

Manovsky E. Identificación de bacterias fitopatógenas. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F.; 1982. p.84.

Mishra B, Dubey P, Aishwath O, Kant K, Sharma Y, Vishal M. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on coriander (*Coriandrum sativum*) growth and yield under semi-arid condition of India. *Indian J Agr Sci*. 2017;87:607–12

Orona I, Salvador A, Espinoza J, Vázquez C. Recolección y comercialización del orégano (*Lippia* spp) en el semi-desierto mexicano, un caso de estudio: reserva ecológica municipal sierra y cañón de Jimulco, México. *Rev Mex de Agroneg*. 2017;41:684-695.

Pathak D, Kumar M. Microbial inoculants as biofertilizers and biopesticides. Vol 1. Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity. Nueva Delhi: Springer India. 2016.p.197-209. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5>

Puente M, Bashan Y. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* strains on germination and seedlings growth of the giant columnar cardon cactus (*Pachycerus pringler*). *Symbiosis* 1993;15:49-60.

Puente M, Holguin G, Glick B, Bashan Y. Root-surface colonization of black mangrove seedlings by *Azospirillum halopraeferens* and *Azospirillum brasilense* in seawater. *FEMS Microbiol Ecol*. 1999;29:283-292.

Radzki W, Gutiérrez F, Algar E, Lucas J, García A, Ramos B. Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2013;104:321–330.

Rajput L, Imran A, Mubeen F, Hafeez F. Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth promotion by halo-tolerant PGPR-consortium. *Soil Environ.* 2018;37:178-189. DOI: <http://dx.doi.org/10.25252/SE/18/61522>

Renganathan P, Borboa J, Rosas E, Cárdenas J, Murillo B, Ortega J, Rueda E. Inoculación de halobacterias fijadoras de nitrógeno en la contribución a la tolerancia al estrés salino en frijol tepary (*Phaseolus acutifolius*). *Rev Mex Cienc Agríc.* 2018;2:4289- 4300.

Rennie R. A single medium for the isolation of acetylene-reducing (dinitrogen-fixing) bacteria from soil. *Can. J. Microbiol.* 1981;27:8-14.

Ribeiro M, Simoes M. Advances in the antimicrobial and therapeutic potential of siderophores. *Environ Chem Lett.* 2019;17(4):1485-1494. Doi:<https://doi.org/10.1007/s10311-019-00887-9>

Rincon C, Martínez E, Ruiz V, Velazquez E, Ruiz N, Rogel M, Villalobos J, Rincon R. Plant growth-promoting potential of bacteria associated to Pioneer plants from an active volcanic site of Chiapas (México). *Appl Soil Ecol.* 2020;146:1-10. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103390>

Romero F, Abril J, Camelo M, Moreno A, Patrana I, Rojas D, Bonilla R. *Azotobacter chroococcum* as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (*Gossypium hirsutum*): Effect in reducing N fertilization. *Rev Argent Microbiol.* 2017;49(4):377-383. Doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.006>.

Rueda E, Villegas J, Gerlach L, Tarazón M, Murillo B, García J, Troyo E, Preciado P. Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre la germinación de *Salicornia bigelovii*. *Terra Latinoam.* 2009;27(4):345-354.

Rueda E, Castellanos T, Díaz J, Preciado P, Almaguer G. Bacterial community of rhizosphere associated to the annual halophyte *Salicornia bigelovii* (Torr.). *Terra Latinoam.* 2010; 28:345-353.

Rueda E, Beltrán F, Ruíz F, Valdez R, García J, Ávila N, Partida L, Murillo B. Opciones de manejo sostenible del suelo en zonas áridas: aprovechamiento de la halófito *Salicornia Bigelovii* (Torr.) y uso de biofertilizantes en la agricultura moderna. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 2011; 13:157-167.

Santoro M, Capellari L, Giordano W, Banchio E. Plant growth-promoting effects of native *Pseudomonas strain* on *Mentha piperita* (peppermint): an in vitro study. *Plant Biol.* 2015; 17:1218–1226. Doi:<http://dx.doi.org/10.1111/plb.12351>

Schwyn B, Neilands J. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Anal. Biochem.* 1987; 160:47-56.

Shen X, Hu H, Peng H, Wang W, Zhang X. Comparative genomic analysis of four representative plant growth-promoting rhizobacteria in *Pseudomonas*. *BMC Genomics.* 2013; 14:271.

Sogut S, Cig F. Determination of the effect of plant growth promoting bacteria on wheat (*Triticum aestivum* L.) development under salinity stress conditions. *Appl ecol env res.* 2019; 17:1129-1141.

Sokal R, James R, *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research.* 3 ed. New York: Editorial Dover. 1987. p.353.

Tahami M, Jahan M, Khalilzadeh H, Mehdizadeh M. Plant growth promoting rhizobacteria in an ecological cropping system: A study on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil production. *Ind Crops Prod.* 2017;107: 97-107.

Villegas J, Rueda E, Murillo B, Puente M, Ruiz F, Zamora S, Beltrán F. Bacterias promotoras de crecimiento de plantas autóctonas y su efecto en *Prosopis chilensis* (Molina) Stunz. *Rev Mex Cienc Agríc.* 2014;5(6):1041-1053.

Vital L, Cruz M, Fernández S, Mendoza A. Diversidad bacteriana en raíces de maíz híbrido convencional y genéticamente modificado. *Phyton.* 2015; 84:233-243.

Tabla 2. Características morfológicas de los aislamientos bacterianos en rizósfera de *Lippia palmeri* de la comunidad COMCÁAC, Hermosillo, Sonora y seleccionadas como halobacterias promotoras del crecimiento de plantas

Aislamiento Clave/ identificación	Parte analizada y medio de cultivo	Tiempo (h) de aparición y formación colonial/ 1ª vez	NaCl (M)	T °C de aislamiento	Color	Consistencia	Apariencia	Borde	Elevación	Curva de crecimiento sigmoidal (h)/FS	TG	Forma colonia
1F	R/a	43	0	35	crema	cremosa	húmeda	liso	convexa	48	-	circular
2F	R/a	43	0.25	35	crema	viscosa	húmeda	ondulado	convexa	24	-	irregular
3F	R/a	43	0.5	35	amarillo	dura	seca	ondulado	papilada	48	-	irregular
4F	SR/r	120	0	35	blanquecino	viscosa	húmeda	liso	convexa	48	-	circular
5F	SR/r	120	0.5	35	crema	viscosa	húmeda	ondulado	convexa	24	-	rizoide
6F	SR/r	120	0.75	35	crema	viscosa	húmeda	ondulado	convexa	24	-	irregular
7F	R/a	43	0	45	blanquecino	viscosa	húmeda	ondulado	convexa	24	-	irregular
8F	R/a	43	0.25	45	blanquecino	cremosa	húmeda	liso	convexa	48	-	circular
9F	R/a	43	0.5	45	crema	viscosa	húmeda	rizado	convexa	24	+	rizoide
10F	R/a	43	0.75	45	crema	viscosa	húmeda	liso	convexa	24	+	irregular
11F	SR/r	120	0.75	45	crema	viscosa	húmeda	rizado	convexa	24	+	rizoide
12F	R/a	43	0.25	45	amarillo	dura	seca	ondulado	papilada	48	-	circular
13F	R/a	43	0.25	45	crema	cremosa	húmeda	liso	convexa	48	-	circular
14F	R/a	43	0.25	35	crema	cremosa	húmeda	ondulado	elevada	24	+	irregular/circular
15F	SR/r	120	0	35	amarillo	dura	seca	ondulado	umbilicada	48	-	irregular

TG: Tinción de Gram; SR: suelo rizosférico; R: raíz; r: Rennie; a: Ashby; /FS:fase estacionaria.

Tabla 3. Características bioquímicas asociadas a la promoción de crecimiento de halobacterias aisladas de raíz y suelo rizosférico de *Lipia palmeri* en el estero Santa Rosa de la Comunidad indígena Comcaac, y la caracterización de aquellas Halobacterias con actividades biológicas positivas 16Rs.

Cepa	Actividad biológica			Identificación molecular			
	(FN)	(PS)	(SF)	GenBank/G B	Nombre	Score	Identidad (%)
1F	+	-	-	NR041455.1	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	1398	99
2F	++	-	+				
3F	+	+	+				
4F	+	++	+				
5F	++	-	+				
6F	++	-	+	NR102783.2	<i>Bacillus subtilis</i>	898	99
7F	++	-	+				
8F	+	-	-				
9F	++	-	+				
10F	++	-	+	NR118996.1	<i>Bacillus licheniformis</i>	928	99
11F	++	-	+				
12F	+	+	++				
13F	+	-	++				
14F	+	-	+				
15F	+	+	++				

Fijación de Nitrogeno-FN: Actividad nula (-) cuando no se presentó crecimiento colonial bacteriano; como actividad moderada (+) cuando se presentó crecimiento de 0-7 mm y como actividad alta (++) cuando el crecimiento superó los 7 mm. Técnica desarrollada por triplicado. Solubilización de fosfatos-SF y Producción de sideróforos-PS: Actividad nula (-) cuando no se presentó crecimiento; como actividad moderada (+) con crecimiento de 0-3 mm y como actividad alta (++) cuando el crecimiento superó los 3 mm. Técnica desarrollada por triplicado.

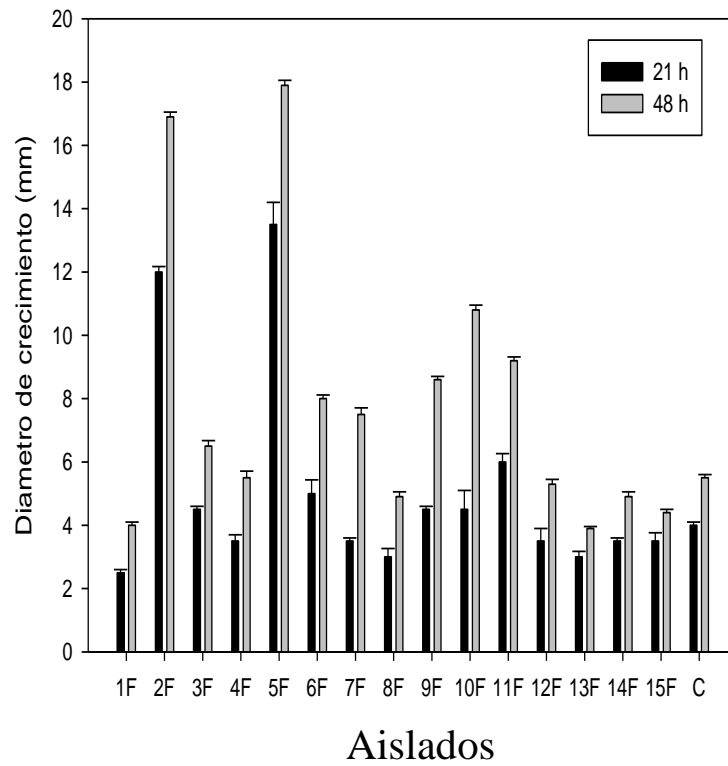


Figura 2. Colonias bacterianas aisladas de Orégano (*L. palmeri*) sobre medio Rennie, para la prueba de fijación de nitrógeno, mostrando promedios de diámetro de crecimiento radial colonial a las 21 y 48 h de incubación.

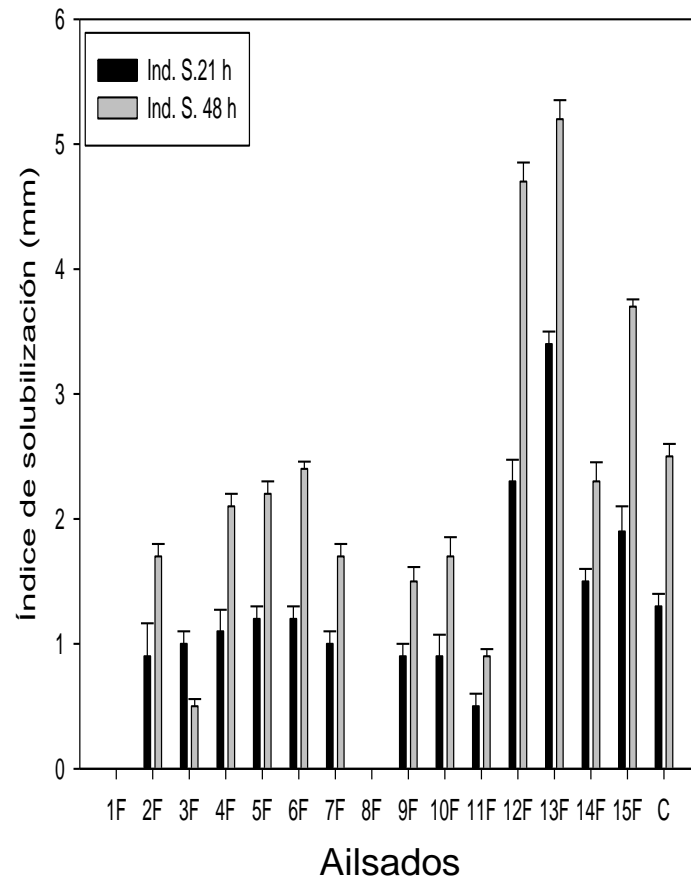


Figura 3. Colonias bacterianas aisladas de Orégano (*L. palmeri*), para la prueba de solubilización de fosfatos, mostrando promedios de diámetro de crecimiento radial colonial a las 21 y 48 h de incubación.

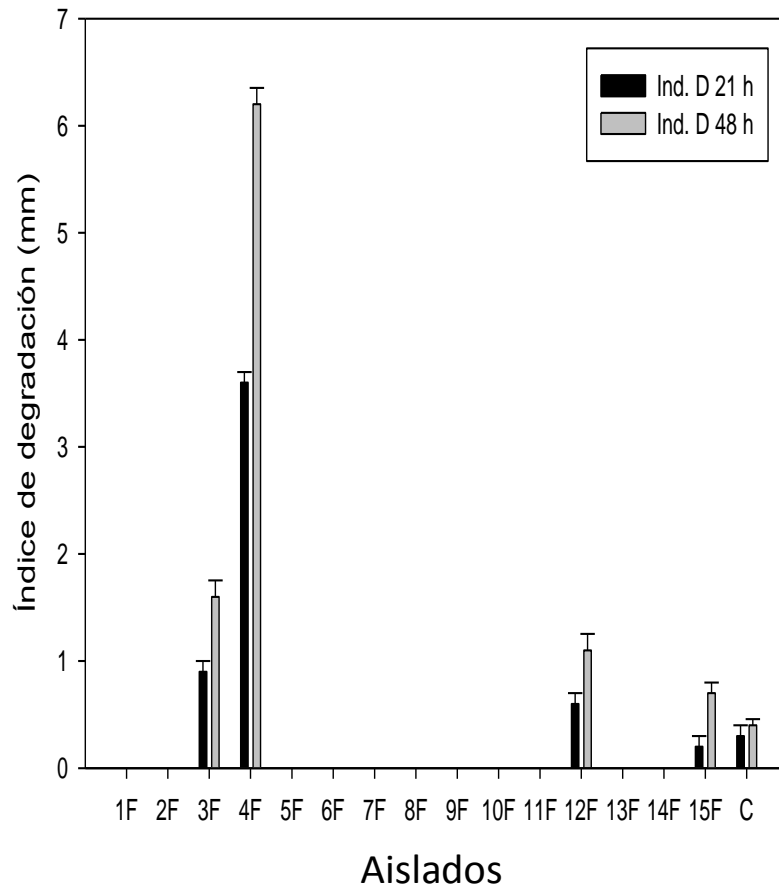


Figura 4. Colonias bacterianas aisladas de Orégano (*L. palmeri*), para la prueba de producción de sideróforos, mostrando promedios de diámetro de crecimiento radial colonial a las 21 y 48 h de incubación.

Tabla 4. Efecto en la germinación (%), tasa de germinación y longitud radicular de *Lippia palmeri* por la inoculación por *Bacillus amilolyquefasciens* en semilla de orégano vs Ácido giberélico, bajo condiciones de salinidad.

Tratamientos	NaCl (M)	Germinación (%)	Longitud radicular (mm)	Tasa de germinación		
				Inicio de la germinación (d)	Días en que se logró el % más alto de germinación	Término de la germinación (d)
Agua destilada	0	35	3.4	5	18-22	26
Agua destilada	0.06	12.5	3.34	10	25-28	28
Agua destilada	0.12	5	3.55	12	12	12
AG ₃	0	37.5	3.80	2	13-25	15
AG ₃	0.06	32.5	2.59	4	15-18	18
AG ₃	0.12	22.5	2.56	6	16-19	19
B. a.	0	22.5	6.25	3	14-18	30
B. a.	0.06	7.5	4.60	7	15-18	18
B. a.	0.12	15	3.65	5	20-25	26

AG₃: Ácido giberélico a 200 ppm.; B.a.: *Bacillus amilolyquefasciens*; d: días

CAPITULO 2

Capítulo 2. Estado del arte de la evaluación en el desarrollo fenológico de estacas de *L. palmeri* (parte basal y parte inmadura de la estaca), establecidas en condiciones de invernadero, bajo la inoculación de bacterias halotolerantes asociadas a *L. palmeri* (*B. amyloliquefaciens*); enraizador comercial y ácido indolbutírico a 1500 ppm; así como una combinación entre ellas y comparadas con tratamientos testigo.

**Effects of plant growth promoting halobacteria *Bacillus amyloliquefaciens*
Inoculation on Rooting and Plant Biomass in Oregano (*Lippia palmeri* S. Wats)
Cuttings.**

F. R. Méndez-Mayboca, F. J. Wong-Corral, C. L. Del Toro Sánchez, J. Borboa-Flores, M.M. Ortega-Nieblas, B.F. Bringas Burgos, B. Murillo-Amador y E.O. Rueda-Puente

Dr. EDGAR OMAR RUEDA PUENTE

Dr. FRANCISCO JAVIER CORRAL WONG

Researchers - Universidad de Sonora

Date: sunday, 12 March / 2021 5:22 a. m.
Subject: [NBHA] Submission Acknowledgement

Dear Dr. EDGAR OMAR RUEDA PUENTE and FRANCISCO JAVIER CORRAL WONG

Thank you for your manuscript entitled "***Effects of plant growth promoting halobacteria Bacillus amyloliquefaciens Inoculation on Rooting and Plant Biomass in Oregano (Lippia palmeri S. Wats) Cuttings***", submitted to our journal *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*
<https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha>

Thank you for considering this journal as a venue for your work.

The paper will follow the editorial procedures, we will let you know when the first results will be available.

If you have any questions, please contact us.

Best regards,

Radu E. SESTRAS
Editor-in-Chief
[Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca](https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha)

Efectos de la halobacteria promotora del crecimiento vegetal *Bacillus amyloliquefaciens* en el enraizamiento y biomasa vegetal de estacas de orégano (*Lippia palmeri* S. Wats)

Effects of plant growth promoting halobacteria *Bacillus amyloliquefaciens* Inoculation on Rooting and Plant Biomass in Oregano (*Lippia palmeri* S. Wats) Cuttings

Título corto: Inoculación de *Bacillus amyloliquefaciens* en estacas de orégano

F. R. Méndez-Mayboca¹, F. J. Wong-Corral^{1*}, C. L. Del Toro Sánchez¹, J. Borboa-Flores¹, M.M. Ortega-Nieblas^{2†}, B.F. Bringas Burgos², B. Murillo-Amador³ y E.O.

Rueda-Puente^{4*}

¹Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83000. (mendezmayboca@gmail.com, francisco.wong@unison.mx, carmen.deltoro@unison.mx, jesus.borboa@unison.mx).

²Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83000 (magdalena.ortega@unison.mx, bfbb88@gmail.com) †QEPD.

³Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S. México. (bmurillo04@cibnor.mx). ⁴Departamento de Agricultura y Ganadería-Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. CP. 83000. (erueda04@santana.uson.mx).

*autor para correspondencia: erueda04@santana.uson.mx; francisco.wong@unison.mx

RESUMEN

Se aislaron bacterias rizosféricas de la raíz de plantas autóctonas de *Lippia palmeri*, con la finalidad de conocer acerca de la interacción entre estacas de orégano silvestre y la inoculación de halomicroorganismos benéficos. Se realizó el experimento para evaluar el efecto de *Bacillus amyloliquefaciens* (BA), ácido indol butírico (AIB) y un enraizador comercial como agentes promotores de raíces en estacas de *L. palmeri* en condiciones de invernadero. Se realizaron 12

tratamientos en dos tejidos (estaca parte basal-EB y estaca parte inmadura-EI) y se tomaron las variables de peso fresco y seco de follaje, peso fresco y seco de raíz y altura de la planta. Los resultados muestran que el tratamiento a base de BA 1×10^8 UFC/mL, arrojó valores superiores y significativo en las variables: altura media de las plantas (37.98 cm), longitud radicular (16.88 cm), así como en el peso seco aéreo (2.36 gr) de las plantas; estos valores muestran 10 veces superior que el tratamiento control; los resultados menos favorables fueron con el tratamiento a base de AIB concentración 1500 ppm presentando una altura promedio de la planta de 10.8 cm, una longitud de la raíz de 6.51 cm, así como el peso seco promedio de hojas de 0.85 gr. El tratamiento control presentó una altura promedio de la planta de 2.7 cm, una longitud de raíz de 2.8 cm, así como el peso seco de hojas de 0.29 gr. Este es el primer informe de *B. amyloliquefaciens* como promotora de crecimiento en estacas de *L. palmeri*; los resultados revelan el potencial y su uso como inoculante que promueve el enraizamiento de estacas y crecimiento de la planta.

Palabras clave: Halotolerante, zonas áridas, biofertilizante, propagación, BPCV

SUMMARY

Rhizospheric bacteria were isolated from the root of native *Lippia palmeri* plants, in order to learn about the interaction between wild oregano cuttings and the inoculation of beneficial halomicroorganisms. The experiment was carried out to evaluate the effect of *Bacillus amiloliquefaciens* (BA), indole butyric acid (IBA) and a commercial rooting agent as root promoting agents in cuttings of *L. palmeri* under greenhouse conditions. There were 12

treatments in two tissues (basal part-EB stake and immature part-EI stake) and the variables of fresh and dry foliage weight, fresh and dry root weight and plant height were taken. The results show that the treatment based on BA 1×10^8 CFU / mL, yielded higher and significant values

in the variables: mean height of the plants (37.98 cm), root length (16.88 cm), as well as in the dry weight aerial (2.36 gr) of the plants; These values show 10 times higher than the control treatment; the less favorable results were with the treatment based on AIB concentration 1500 ppm, presenting an average height of the plant of 10.8 cm, a root length of 6.51 cm, as well as the average dry weight of leaves of 0.85 gr. The control treatment presented an average plant height of 2.7 cm, a root length of 2.8 cm, as well as the dry weight of leaves of 0.29 gr. This is the first report of *B. amyloliquefaciens* as a growth promoter in cuttings of *L. palmeri*; The results reveal the potential and its use as an inoculant that promotes the rooting of cuttings and plant growth.

Index words: Halotolerant, arid zones, biofertilizer, plant propagation, PGPB

INTRODUCCIÓN

Las plantas pertenecientes a *Lippia* spp. se desarrollan en zonas áridas y semiáridas (Rzedowski 1988). El orégano mexicano (*Lippia palmeri* S. Wats, familia: Verbenaceae) se distribuye al noroeste de México y suroeste de Estados Unidos, esta planta aromática se utiliza ampliamente como especia, alternativa medicinal y actualmente es de gran interés para la ciencia ya que posee una gran cantidad de aplicaciones funcionales (Rzedowski 1988; Gutiérrez-Grijalva *et al.*, 2017; Orona-Castillo *et al.*, 2017; García-Romo *et al.*, 2018; Celaya-Michel *et al.*, 2019). Las especies del género *Lippia* sp. son de gran relevancia económica en el mercado mexicano local e internacional, en donde se comercializan las hojas secas de estas plantas. (García-Pérez *et al.*, 2012; Granados-Sánchez *et al.*, 2013; Orona-Castillo *et al.*, 2017). Los suelos de zonas áridas son poco fértiles con bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno (N) y fósforo (P), lo cual es un factor limitante para el desarrollo de las plantas (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011; Chávez-Ambríz *et al.*, 2016), lo cual ha repercutido para que el productor de orégano en el desierto sonorense, incremente o agudice un problema abiótico como es la salinidad en los suelos.

Algunas comunidades microbianas pueden contribuir a la nutrición y el crecimiento de las plantas mediante actividades bioquímicas como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfatos y la producción de ácido indolacético (Carvalho-Costa y Soares de Melo, 2012; Villegas-Espinoza *et al.*, 2014; Chávez-Ambríz *et al.*, 2016). Los microorganismos que presentan estos efectos sobre las plantas son definidos como Rizobacterias Promotores del Crecimiento Vegetal (PGPR por sus siglas en inglés). Recientemente, ha crecido el interés por conocer los mecanismos de adaptación de los microorganismos capaces de habituarse a diferentes factores ambientales (salinidad, temperatura, sequía entre otros) y de contaminación de nuestro planeta. (Sahli *et al.*, 2020; Menéndez-Serra *et al.*, 2020; Gornish *et al.*, 2020; Gezgin *et al.*, 2019; Rozpondek *et al.*, 2017). Por lo anterior, los diferentes ámbitos industriales como biotecnología, agricultura, alimentaria, medicina, etc. continuamente buscan la manera de aprovechar estos mecanismos. Sin

embargo, las investigaciones que involucren la inoculación PGPR en plantas aromáticas son muy reducidos (Tahami *et al.*, 2017; Mishra *et al.*, 2017; Dehghani-Bidgoli *et al.*, 2019; Kutlu *et al.*, 2019). En la última década se ha visto un interés en el aislamiento, detección, preservación y caracterización de halomicroorganismos benéficos para las plantas procedentes de ambientes extremos y así promoverlos como futuros biofertilizantes en el desarrollo vegetal de ambientes desérticos.

Entre los productores agrícolas en el desierto de Sonora, destaca una comunidad indígena COMCAAC, la cual es un pueblo amerindio en el noroeste del estado mexicano de Sonora (Bahía de Kino). Su número de habitantes ~4 000 personas, tienen usos, costumbres, tradiciones y lengua propios; tienen autoridades tradicionales propias, que se eligen por voto, y se respeta su jerarquía a la par de las leyes civiles mexicanas; se autodenominan "Seris" (caminante de dunas). Actualmente la comunidad se dedica a la agricultura, frecuentemente con técnicas avanzadas y con prácticas sustentables. En la actualidad y con base a los apoyos federales de la nación y en aras de producir subproductos a base de orégano (aceite, hoja seca triturada, etc.), están demandando se les proponga un sistema de producción de orégano con el uso de biofertilizantes.

Con base a lo anterior y con la finalidad de enriquecer la información acerca de la interacción entre orégano silvestre y la inoculación de halomicroorganismos benéficos, en la presente investigación se evaluó el efecto de *Bacillus amyloliquefaciens*, ácido indol butírico (AIB) y un enraizador comercial como agentes promotores de raíces en estacas de *L. palmeri*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

La investigación se realizó en el vivero del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, situado en las coordenadas geográficas 110°58'3.15" Long. Oeste y 29°04'55.5" Lat. Norte, a 160 metros sobre

el nivel del mar, en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México; lugar donde permanecieron las estacas hasta la formación de hojas y raíces.

Colecta del material vegetal de *Lippia palmeri*

Se utilizaron estacas de plantas de *L. palmeri* silvestre en etapa de prefloración y libres de plagas; procedentes de la zona árida indígena de los COMCÁAC (indígenas Seris) a 140 km al oeste de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. Este lugar se ubica entre Lat. 112° 07' 14,9" N y Long. 112° 07' 15,3" O a 46 metros sobre el nivel del mar. Predominan suelos tipo franco-arenosos y arenosos, pobres en nitrógeno y materia orgánica, con clima seco árido-desértico (BWh) (según la clasificación climática de Köppen) con temperatura media anual de $43,2 \pm 12$ °C y precipitación media de 123 mm.

Selección y colecta de las estacas

Durante el mes de noviembre se estableció un experimento de enraizamiento, recolectándose estacas de plantas de *L. palmeri* con tallos leñosos, con una altura promedio de 130 ± 20 cm. Las muestras colectadas fueron envueltas en papel periódico húmedo y colocadas dentro de bolsas de plástico debidamente etiquetadas y trasladadas en hielera al laboratorio.

Para la preparación de las muestras, se desinfectaron las manos, tijeras de poda de 8" (Truper®) y navaja de 10,24 cm (Vitorinox Swiss Army®) utilizando una solución acuosa de hipoclorito de sodio al 2%(Cloralex®). De los tallos colectados se obtuvieron 2 tipos de estacas: unas delgadas cortadas de la parte aérea del arbusto, denominadas estacas de la parte inmadura (EI) del tallo, con un diámetro promedio de 2,87 mm. También se consideraron estacas más gruesas, las cuales se

obtuvieron de la parte basal del arbusto, las cuales llamamos estaca de la parte basal (EB) de los tallos; con un diámetro de 4,55 mm (Figura 5); la longitud para ambos tipos de estacas fue de 25-30 cm (Figura 6 a). Una vez obtenidos los dos tipos de estacas, se realizó un corte en forma de cruz (Figura 6 b) en la base de cada estaca para posteriormente sumergir la parte basal del corte en los diferentes tratamientos de acuerdo al diseño experimental planteado (Tabla 5).

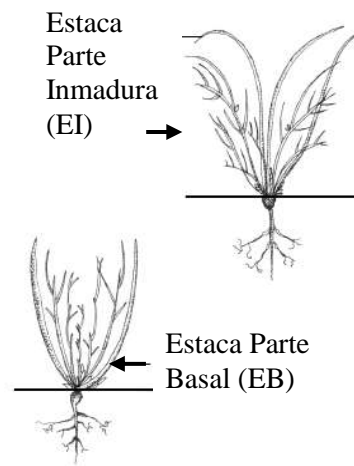


Figura 5. Parte de la planta de *L. palmeri* donde se cortaron las estacas; se consideraron la parte inmadura (EI) del tallo, con diámetro promedio de 2,87 mm y la parte basal (EB) del arbusto con un diámetro promedio de 4,55 mm.



Figura 6. A) estacas con longitud promedio de 25-30 cm. B) corte en forma de cruz en la base de la estaca de *L. palmeri*.

Preparación del sustrato

Se utilizó turba de musgo Sphagnum (Peat moss Premier ®); progresivamente se agregó y mezcló con agua potable, hasta homogenizar la humedad en todo el sustrato. Posteriormente se llenaron bolsas de polietileno negro de 30 x 15 cm con peat moss, se colocaron 5 estacas por bolsa, para cada tratamiento se utilizaron 3 bolsas y 15 estacas. Se cortaron 180 estacas, 90 de (EI) y 90 de (EB). Se aplicaron riegos cada 5 días manteniendo una temperatura ambiental de 28 ± 2 °C y un 80% de Hr.

Preparación del inóculo

Los inóculos se realizaron con una cepa nativa de *Bacillus amyloliquefaciens*, aislada de raíces de orégano (*Lippia palmeri*) (Méndez-Mayboca *et al.*, 2021) y cultivada en caldo nutritivo (Becton, Dickinson and Company) incubada durante 18h a 150 rpm a $30^{\circ}\text{C} \pm 1$ (Infort HT) hasta obtener una concentración de 10^8 U.F.C. mL⁻¹, determinado por densidad óptica a través de espectrofotómetro (espectro maestro FISHER SCIENTIFIC 415), tomando la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 540 nm.

La concentración microbiana inoculada en la estaca fue la de 1×10^8 UFC· mL, las cuales se sumergieron durante 15 min; para el tratamiento de AIB 1500 ppm y el enraizador comercial llamado Raizal 400® cuya base es un complejo auxínico de 400 ppm y macronutrientes primarios.

Diseño experimental y tratamientos de esquejes

Se utilizó un diseño completamente al azar con 12 tratamientos en 2 tejidos diferentes (EB y EI) (Tabla 5) por triplicado con 5 repeticiones cada uno, evaluándose

un total de 180 unidades experimentales. Se realizó un ANOVA de una sola vía y la comparación múltiple de medias utilizando la prueba de Duncan, con un nivel de significancia al 95%. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico INFOSTAT (INFOSTAT 2017).

Tabla 5. Tratamientos inoculados con *B. amyloliquefaciens* (Ba), ácido indol butírico (AIB) y Raizal 400®.

Table 5. Treatments inoculated with *B. amyloliquefaciens* (Ba), indole butyric acid (AIB) and Raizal 400®.

Tratamientos		
1	EI	AIB concentración 1500 ppm
2	EI	Ba 1×10^8 UFC/mL
3	EI	Testigo (Inmersión en agua destilada)
4	EI	Enraizador Raizal 400®
5	EI	Ba 1×10^8 UFC/mL + AIB concentración 1500 ppm
6	EI	Ba 1×10^8 UFC/mL + Raizal 400®
7	EB	AIB concentración 1500 ppm
8	EB	Ba 1×10^8 UFC/mL
9	EB	Testigo (Inmersión en agua destilada)
10	EB	Enraizador Raizal 400®
11	EB	Ba 1×10^8 UFC/mL + AIB concentración 1500 ppm
12	EB	Ba 1×10^8 UFC/mL + Raizal 400®

UFC/mL: Unidades Formadoras de Colonia por mililitro

EI: Estaca de parte inmadura de la planta

EB: Estaca de parte basal de la planta

ppm: partes por millón

Variables respuesta

Al cabo de 180 días de iniciado el ensayo, se evaluaron las variables: longitud radicular final, peso fresco (gr) y seco de raíz (gr), el número de brotes por esqueje, diámetro de copa, peso fresco y seco de hojas (gr). Para medir longitud radicular se utilizó un vernier (Mitutoyo america corporation) y regla milimetrada de 30cm (Maped®). El peso fresco de la raíz se pesó después de cortar la parte aérea de los esquejes a partir de la base del tallo. El peso seco se obtuvo después de deshidratar las raíces a 80 °C en una estufa (Shel Lab modelo 1380 FM, EUA). Los pesos fueron utilizando una balanza de precisión digital (Ainsworth CR-603D). También se contaron el número de brotes por esqueje y se midió la longitud de los brotes en cada tratamiento usando la regla milimetrada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indican que los tratamientos que fueron inoculados con la cepa halotolerante de *B. amyloliquefaciens*, tuvieron un efecto positivo en las variables de crecimiento en estacas de orégano. Los valores promedios superiores obtenidos para la altura de la planta, fueron para el tratamiento BA 1×10^8 UFC/mL y el tratamiento a base de BA 1×10^8 UFC/mL + Enraizador Raizal 400® en estacas inmaduras obtenidas de la planta madre (EI), así como los tratamientos Enraizador Raizal 400® en estacas leñosas (EL) obtenidas de la base de la planta madre. Con relación a la longitud radicular final, altura de las plantas rendimiento fresco de raíz y hojas, el número de brotes por esqueje, diámetro de copa, peso fresco y seco de hojas, los valores más altos se volvieron a repetir con el tratamiento BA 1×10^8

UFC/mL en EI (Tabla 7); por su parte el tratamiento AIB concentración 1500ppm en EI arrojó los valores más bajos en el experimento (Tabla 6, 7).

Tabla 6. Longitud radicular, diámetro de copa y número de brotes en estacas inmaduras y leñosas de oregano, tratadas con ácido indol butírico, enraizador comercial y *Bacillus amilolyquefasciens* 1x10⁸ UFC/mL.

Table 6. Root length, crown diameter and number of shoots in immature and woody cuttings of oregano, treated with indole butyric acid, commercial rooting agent and *Bacillus amilolyquefasciens* 1x10⁸ UFC/mL.

TRATAMIENTOS			LR final (cm)	DC (cm)	NB por planta
1	El	AIB concentración 1500ppm	6.51	12.14	4.86
2	El	BA 1x 10 ⁸ UFC/mL	16.94	35.76	6.57
3	El	Testigo (Inmersión en agua destilada)	2.80	5.90	2.00
4	El	Enraizador Raizal 400®	8.44	16.59	3.38
5	EL	BA 1x 10 ⁸ UFC/mL + AIB concentración 1500 ppm	0.00	0.00	0.00
6	EL	BA 1x 10 ⁸ UFC/mL + Enraizador Raizal 400®	11.16	23.08	4.75
7	EL	AIB concentración 1500ppm	0.00	0.00	0.00
8	EL	BA 1x 10 ⁸ UFC/mL	8.55	16.78	3.88
9	EL	Testigo (Inmersión en agua destilada)	3.45	8.50	3.00
10	EL	Enraizador Raizal 400®	10.10	20.19	3.22
11	EL	BA 1x 10 ⁸ UFC/mL + AIB concentración 1500ppm	8.90	14.30	3.00
12	EL	BA 1x 10 ⁸ UFC/mL + Raizal 400®	14.05	32.90	4.00

Estacas inmaduras obtenidas de la planta madre (El); estacas leñosas (EL) obtenidas de la base de la planta madre. LR final: longitud radicular; DC: diámetro de copa; NB: número de brotes; BA: *Bacillus amilolyquefasciens*; ácido indol butírico (AIB)

Con el tratamiento BA 1×10^8 UFC/mL se encontró un aumento significativo en la altura media de las plantas (37,98 cm), la longitud promedio de la raíz (16.88 cm), así como los pesos secos aéreo promedio (2.36 gr) de las plantas. El tratamiento 2 fue 10 veces mejor que el tratamiento control; los resultados menos favorables fueron con el tratamiento 1 presentando una altura promedio de la planta de (10.8 cm), la longitud de la raíz (6.51 cm), así como el peso seco promedio de hojas (0.85gr), sin embargo, fue mejor que el control, el cual presentó una altura promedio de la planta de (2.7 cm), la longitud de la raíz (2.8 cm), así como el peso seco de hojas (0.29 gr). Este es el primer informe de *B. amyloliquefaciens* como promotora de crecimiento en estacas de *L. palmeri* y nuestros resultados revelan el potencial y su uso como inoculante que promueve el crecimiento de la planta.

Tabla 7. Altura de planta, peso fresco de hoja, peso seco de hoja y porcentaje de humedad en hoja en estacas inmaduras y leñosas de orégano, tratadas con ácido indol butírico, enraizador comercial y *Bacillus amilolyquefasciens* 1x10⁸ UFC/mL.

Table 7. Plant height, fresh leaf weight, leaf dry weight and percentage of leaf moisture in immature and woody cuttings of oregano, treated with indole butyric acid, commercial rooting agent and *Bacillus amilolyquefasciens* 1x10⁸ UFC/mL.

		TRATAMIENTOS	Altura de la planta	PF hoja (gr.)	PS hoja (gr.)	% de humedad hoja	PF Raíz (gr.)	PS Raíz (gr.)
1	EI	AIB concentración 1500ppm	10.80	2.34	0.85	36.38	0.14	0.05
2	EI	BA 1x 10 ⁸ UFC/mL	37.30	6.82	2.16	31.58	0.39	0.13
3	EI	Testigo (Inmersión en agua destilada)	2.70	0.91	0.29	31.87	0.06	0.02
4	EI	Enraizador Raizal 400® BA 1x 10 ⁸ UFC/mL + AIB concentración 1500 ppm	16.28	2.13	0.76	35.53	0.19	0.07
5	EL	BA 1x 10 ⁸ UFC/mL + Enraizador Raizal 400®	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	EL	AIB concentración 1500ppm	24.21	4.13	1.52	36.74	0.24	0.08
7	EL	BA 1x 10 ⁸ UFC/mL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	EL	Testigo (Inmersión en agua destilada)	15.73	4.61	1.54	33.63	0.20	0.07
9	EL	Enraizador Raizal 400® BA 1x 10 ⁸ UFC/mL + AIB concentración 1500ppm	10.50	1.50	0.47	31.64	0.60	0.19
10	EL	BA 1x 10 ⁸ UFC/mL	20.19	2.45	0.83	33.95	0.21	0.07
11	EL	Testigo (Inmersión en agua destilada)	13.80	1.75	0.53	30.17	0.20	0.06
12	EL	Enraizador Raizal 400® BA 1x 10 ⁸ UFC/mL + AIB concentración 1500ppm	32.35	4.05	1.36	33.55	0.33	0.11

Estacas inmaduras obtenidas de la planta madre (EI); estacas leñosas (EL) obtenidas de la base de la planta madre. PF: peso fresco de hoja; PS: peso seco de hoja; PF: peso fresco raíz; BA: *Bacillus amilolyquefasciens*; ácido indol butírico (AIB).

Tahami *et al.* (2017), estudiaron dos biofertilizantes comerciales en plantas de albahaca (*Ocimum basilicum* L) para ver su efecto en la producción de aceite esencial. Los tratamientos fueron inoculación de semillas con biofertilizantes 1- Nitroxin® (*Azotobacter sp.* y *Azospirillum sp.*), 2- Biophosphorus® (*Bacillus sp.* y *Pseudomonas sp.*), 3 - Mezcla de Nitroxin® y Biophorus® y el Control sin inoculación. Los resultados de la mayor altura de planta, número de ramas, materia seca e índice de área foliar, además de presentar efecto positivo en el rendimiento fueron con Nitroxin®. Mientras que el máximo número de ramas, fue con Nitroxin® y Biophosphorus®. La producción de semillas fue mayor con Biophosphorus®. El porcentaje más alto de aceite esencial se observó en el control. En contraste con los resultados que obtuvieron, Sifola y Barbieri (2006), aseguran que los diferentes niveles de aplicación de nitrógeno aumentaron el rendimiento del aceite esencial de albahaca.

Kutlu *et al* (2019), aislaron *Bacillus megaterium*, *B. subtilis*, *Paenibacillus polymyxa*, *Pseudomonas putida* y *P. fluorescens* de suelos agrícolas y los utilizaron como biofertilizantes en cultivo de orégano turco (*Origanum onites*), además utilizaron fertilizante mineral NP y un control sin inocular PGPR; encontraron aumento en la altura de la planta, el diámetro de la copa, peso fresco, peso seco y rendimiento de aceite esencial comparado con el control; las concentraciones de N, P y K de las hojas de *O. onites* y el contenido de clorofila aumentaron, el componente principal del aceite esencial también cambió. De acuerdo con Kutlu *et al* (2019), confirman los beneficios de utilizar PGPR como biofertilizantes para lograr un cultivo sustentable de

orégano orgánico. Por su parte, Mishra *et al.* (2017), realizaron una investigación inoculando PGPR en plantas de cilantro (*Coriandrum sativum*) para evaluar el rendimiento del cultivo en condiciones de campo abierto en una región semiárida de la India, de un total de seis aislamientos obtenidos, dos de ellos (*Bacillus aerophilus* y *B. megaterium*) mostraron resultados positivos en cuanto al aumento de la longitud de la raíz, del follaje, peso de la raíz, peso del follaje, así como aumento significativo del rendimiento de la semilla y del aceite esencial para todos los inoculantes en comparación con los controles, estos beneficios se pueden atribuir a la producción de AIA, solubilización de fósforo, capacidad de fijar nitrógeno. Ellos afirman que *B. aerophilus* y *B. megaterium* presentan potencial para promover el crecimiento específicamente en cultivos orgánicos de *C. sativum*.

Conforme a Dehghani-Bidgoli *et al* (2019), quienes inocularon *Pseudomonas fluorescence* en plantas de romero (*Rosmarinus officinalis*), Uno de los principales compuestos de aceites esenciales es: Felandreno, el cual mostró una tendencia en aumento con el tratamiento 4 (10 g / L de NaCl) inoculado con PGPR, aumentando los porcentajes de rendimiento y composición con mayores porcentajes de salinidad y a su vez disminuyo con los aumentos de los niveles de salinidad en los tratamientos sin inoculación de *Pseudomonas fluorescence*. Por lo anterior, concluyeron que los niveles de salinidad moderados pueden mejorar los parámetros de crecimiento de la planta, la cual puede afectarse al aumentar los niveles de salinidad, también se demostró que con la aplicación de PGPR, el rendimiento de aceite esencial de *R. officinalis* mejoro incluso en condiciones de salinidad. posiblemente los factores bióticos y abióticos influyan en los diferentes mecanismos

e interacciones entre las plantas y bacterias benéficas, con esta investigación se confirma que el uso de las PGPR ayuda a mejorar el rendimiento del aceite esencial en condiciones normales y de salinidad.

Desde la perspectiva de Santoro *et al* (2015), quienes aislaron tres cepas nativas de PGPR (*Pseudomonas putida*) provenientes de un campo de cultivo de menta (*Mentha piperita*) Con los resultados obtenidos de esta investigación en las plantas inoculadas con PGPR, se encontró aumento de peso seco, longitud, follaje y número de hojas comparado con los controles. Se concluye que las cepas nativas, tienen un gran potencial como bio-fertilizante para mejorar la productividad en cultivos de plantas aromáticas, además que constituyen la mejor opción para la inoculación, debido a su adaptación al medio ambiente representan una gran ventaja de competencia sobre otras cepas no nativas.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que el tratamiento a base de BA 1×10^8 UFC/mL, arrojó los valores superiores y significativos en las variables: altura media de las plantas, longitud radicular, así como en el peso seco aéreo de las plantas; estos valores muestran 10 veces superior que el tratamiento control en esquejes inmaduros u obtenidos de la parte aérea de la planta madre. Para lograr mayor efectividad en el desarrollo de la estaca; se recomienda seguir indagando en la búsqueda de nuevos consorcios bacterianos, aisladas tanto de raíz como de suelo y así asegurar el mayor prendimiento de las estacas. Debido a la importancia de las plantas aromáticas y sus productos en las industrias de alimentos y medicamentos, se concluye evadir el uso de insumos químicos en la propagación vegetal, a su vez la sustitución de productos

de origen sintético por biofertilizantes, reducirá la degradación ambiental y contribuirá a la producción saludable y sostenible de las plantas medicinales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología por el apoyo en la Beca Nacional 234741 para el nivel de Doctorado en la Universidad de Sonora en Hermosillo, Sonora, México.

LITERATURA CITADA

Bogdan S, Deya C, Romagnoli R (2015). Evaluation of thymol to antifungic control on paint films. *Materia-Rio de Janeiro* 20(3): 699-704. DOI: 10.1590/S1517-707620150003.0073.

Borboa-Flores J, Ortega-Nieblas M M, McCaughey-Espinoza D, Robles-Burgueño M R, Serna-Félix M, Cinco-Moroyoqui F J, Wong-Corral F J, Rueda Puente E O (2016). Características de la germinación de *Lippia palmeri* (Wats) proveniente de regiones silvestres del desierto de Altar, Sonora, México. *IDESIA (Chile)* 34(4):37-42. DOI: 10.4067/S0718-34292016005000021.

Carvalho Costa F E, Soares de Melo I (2012). Endophtytic and rhizospheric bacteria from *Opuntia ficus-indica* mill and their ability to promote plant growth in cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *African Journal of Microbiology Research* 6 (6): 1345-1353.

Celaya-Michel H, Castellanos-Villegas A E (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* 29(3): 343-356.

Celaya-Michel H, Mc Caughey-Espinoza D, Rodríguez J C, Bautista-Olivas A L, Castellanos-Villegas A E, Hinojo-Hinojo C, Sosa-Castañeda J, Barrera-Silva M A. 2019. Desempeño post-trasplante de 17 leñosas forrajeras nativas de Sonora, México. *Agrociencia* 53(3): 371-380.

Chávez-Ambriz LI A, Hernández-Morales A, Cabrera-Luna J A, Luna-Martínez L, Pacheco-Aguilar J R (2016). Aislados de *Bacillus* provenientes de la rizósfera de cactus incrementan la germinación y la floración en *Mammillaria spp.* (*Cactaceae*).

Dehghani Bidgoli R, Azarnezhad N, Akhbari M, Ghorbani M (2019). Salinity stress and PGPR effects on essential oil changes in *Rosmarinus officinalis* L. Agriculture & Food Security 8: 1-7. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0246-5>

Fischer Possamai M C, Dos Santos I C, Silva E, Schneider G, Zilda C, Goncalves J E, Soares A A, Germano R M, Fanin M, de Sa T C, Otutumi L K (2019). In vitro bacteriostatic activity of *Origanum vulgare*, *Cymbopogon citratus*, and *Lippia alba* essential oils in cat food bacterial isolates. Semina Ciencias Agrarias 40(6): 3107-3122. DOI:10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl2p3107

García-Beltrán J M, Espinosa C, Guardiola F A, Esteban A (2018). In vitro effects of *Origanum vulgare* leaf extracts on gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) leucocytes, cytotoxic, bactericidal and antioxidant activities. Fish & Shellfish immunology 79: 1-10. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.05.005

García-Pérez E, Castro-Álvarez F F, Gutiérrez-Urbe J A, García-Lara S (2012). Revisión de la producción, composición fitoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano. Revista mexicana de ciencias agrícolas 3(2): 339-353.

García-Romo J S, Yépiz-Gómez M S, Plascencia-Jatomea M, Santacruz-Ortega H C, Burgos-Hernández A, García De León J R, Cinco-Moroyoqui F J, Borboa-Flores J (2018) Compounds with *in vitro* antibacterial activity from hydrosol of *Lippia palmeri* and morphometric changes on *Listeria monocytogenes*. Biotecnia 20(3): 35-42.

Gezgin Y, Kazan A, Ulucan F, Yesil-Celiktasa O (2019). Antimicrobial activity of propolis and gentamycin against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in a 3D thermo-sensitive hydrogel. Industrial Crops & Products 139: 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111588>

Granados-Sánchez D, Martínez-Salvador M, López-Ríos G F, Borja-De la Rosa A, Rodríguez-Yam J A (2013). Ecología, aprovechamiento y comercialización del orégano (*Lippia graveolens* H. B. K.) en Mapimí, Durango. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente 19(2): 305-321. DOI: <https://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.05.035>

Gornish E S, Franklin K, Rowe J, Barberán A (2020). Buffelgrass invasion and glyphosate effects on desert soil microbiome communities. Biological Invasions. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02268-8>

Gutiérrez-Grijalva E P, Angulo-Escalante M A, León-Félix J, Heredia J B (2017). Effect of *In vitro* digestion on the total antioxidant capacity and phenolic content of 3 species of oregano (*Hedeoma patens*, *Lippia graveolens*, *Lippia palmeri*). Journal of Food Science 82(12):2832-2839. Doi: 10.1111/1750-3841.13954

Kutlu M, Cakmakci R, Hosseinpour A, Karagöz H (2019). The use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)'s effect on essential oil rate, essential oil content, some morphological parameters and nutrient uptake of Turkish oregano. Applied Ecology And Environmental Research 17:1641-1653

Menéndez-Serra M, Ontiveros V J, Triadó-Margarit X, Alonso D, Casamayor E O (2020). Dynamics and ecological distributions of the Archaea microbiome from in land saline lakes (Monegros Desert, Spain). FEMS Microbiology Ecology 96(3) DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa019>

Mishra B K, Dubey P N, Aishwath O P, Kant K, Sharma Y K, Vishal M K (2017). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on coriander (*Coriandrum sativum*) growth and yield under semi-arid condition of India. Indian Journal of Agricultural Sciences 87: 607–12

Rzedowski J (1988). Análisis de la distribución geográfica del Complejo *Prosopis* en Norteamérica. Acta botánica mexicana (3):7-9.

Rodríguez-García I, Silva-Espinoza B, Ortega-Ramírez L A, Leyva J M, Siddiqui M W, Cruz-Valenzuela M R, González-Aguilar G A, Ayala-Zavala J F (2016). Oregano Essential Oil as an Antimicrobial and Antioxidant Additive in Food Products. Critical reviews in food science and nutrition 56(10): 1717-1727. DOI: <https://10.1080/10408398.2013.800832>

Rozpondek K, Rozpondek R, Pachura P (2017). Analysis of toxicity of bottom sediments of water reservoir poraj in terms of heavy metals contamination. Acta Scientiarum Polonorum-Formatio Circumiectus 16(2): 33-43. DOI: <http://dx.doi.org/10.15576/ASP.FC/2017.16.2.33>

Ortega-Nieblas M M, Robles-Burgueño M R, Acedo-Félix E, González-León A, Morales-Trejo A, Vázquez-Moreno L (2011). Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de orégano (*Lippia palmeri* S. WATS). Revista Fitotecnia Mexicana 34: 11-17.

Orona Castillo I, Salvador Almazán A J, Espinoza Arellano J J, Vázquez C (2017) Recolección y comercialización del orégano (*Lippia spp*) en el semi-desierto

mexicano, un caso de estudio: reserva ecológica municipal sierra y cañón de Jimulco, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 41:684-695. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14153918003>

Sahli K, Gomri M A, Esclapez J, Gómez-Villegas P, Ghennai O, Bonete M J, León R, Kharroub K (2020). Bioprospecting and characterization of pigmented halophilic archaeal strains from Algerian hypersaline environments with analysis of carotenoids produced by *Halorubrum* sp. BS2. *Journal of Basic Microbiology* :1-15. DOI:10.1002/jobm.202000083

Santoro M V, Capellari L R, Giordano W, Banchio E (2015). Plant growth-promoting effects of native *Pseudomonas* strain on *Mentha piperita* (peppermint): an in vitro study. *Plant Biology* 17: 1218–1226. DOI:10.1111/plb.12351

Shreve F, Wiggins I L (1964). *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Vol. 2. Stanford University Press. USA. 1255 p.

Sifola M I, Barbieri G (2006). The Growth: yield and the essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. *Scientia Horticulture* 108: 408–413.

Tahami M K, Jahan M, Khalilzadeh H, Mehdizadeh M (2017). Plant growth promoting rhizobacteria in an ecological cropping system: A study on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil production. *Industrial Crops & Products* 107: 97-107. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.05.020

Tabassum N, Khan M A (2020). Modified atmosphere packaging of fresh-cut papaya using alginate based edible coating: Quality evaluation and shelf life study. *Scientia Horticulturae* 259: 108853. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108853

Villegas-Espinoza J A, Rueda-Puente E O, Murillo-Amador B, Puente M E, Ruiz-Espinoza F H, Zamora-Salgado S, Beltrán Morales F A (2014). Bacterias promotoras de crecimiento de plantas autóctonas y su efecto en *Prosopis chilensis* (Molina) Stunz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 5(6):1041-1053.

Youssefi M R, Moghaddas E, Tabari M A, Hosseini S M, Farash B R H, Ebrahimi M A, Mousavi N N, Fata A, Filippo Maggi P R, Dall'Acqua S, Benelli G. Sut S (2019). *In Vitro* and *In Vivo* effectiveness of carvacrol, thymol and linalool against *Leishmania infantum*. *molecules* 24 (11): 2072. DOI: 10.3390/molecules24112072

CAPITULO 3

Capítulo 3. Estado del arte del potencial de cultivo que poseen las plantas aromáticas en zonas áridas, se incluyen experiencias internacionales, nacionales y regionales. Se incluye una reseña sobre los beneficios de estas plantas y sus amplios usos en los diversos ámbitos sociales, industriales y de investigación; a su vez, como el conocimiento en nuestro país aún es limitado. Con el objetivo de presentar alternativas de cultivo que se ajusten a las condiciones de aridez y escasez de agua propias del estado de Sonora. Se presenta una alternativa al uso tradicional de fertilizantes químicos y como mejorarían los cultivos utilizando Halo-Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (HBPCV), las cuales pueden mitigar el efecto de la salinidad y mejorar la calidad nutricional de plantas aromáticas, a través de la fijación de nitrógeno atmosférico y proporcionarlo en forma asimilable a la planta, además de proveer fitohormonas y fosforo asimilable.

Aromatic plants an alternative to agricultural production in arid-desert areas

F.R. Méndez-Mayboca, C.L. Del Toro-Sánchez, F.J. Wong-Corral, J. Borboa-Flores, B. Murillo-Amador, E.O. Rueda-Puente

[ITEA] Envío recibido

Albina Sanz Pascua <recyt@recyt.fecyt.es>

Vie 02/04/2021 09:32 AM

Para: EDGAR OMAR RUEDA PUENTE <erueda04@santana.uson.mx>
EORP EDGAR OMAR RUEDA PUENTE:

Hemos recibido su manuscrito "**Plantas aromáticas una alternativa a la producción agrícola en zonas áridas desérticas; Aromatic plants an alternative to agricultural production in arid-desert areas**" para ITEA-Información Técnica Económica Agraria.

Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<https://recyt.fecyt.es/index.php/ITEA/author/submission/79061>

Nombre de usuario: edgar

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros.

Gracias por
tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Albina Sanz Pascua
ITEA-Información

<http://www.aida-itea.org/>

<http://recyt.fecyt.es/index.php/ITEA>

[Mensaje enviado a través de RECYT, por favor no responda directamente, si necesita contactar con la persona que le envió este mensaje identifiquese en <http://recyt.fecyt.es/> y hágalo desde la plataforma. Para cualquier duda escriba a info-recyt@fecyt.es]

[This message was sent from RECYT, please do not respond to this email. If you would like to contact the person who sent this message, please log in to <http://recyt.fecyt.es> and email him from there. If you have any questions don't hesitate to email us at info-recyt@fecyt.es]

Plantas aromáticas una alternativa a la producción agrícola en zonas áridas desérticas

Aromatic plants an alternative to agricultural production in arid-desert areas

F. R. Méndez-Mayboca^{1*}, F. J. Wong-Corral^{1*}, C. L. Del Toro Sánchez¹, J. Borboa-Flores¹, B. Murillo-Amador² y E.O. Rueda-Puente^{3*}

¹Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83000. (mendezmayboca@gmail.com, francisco.wong@unison.mx). ²Departamento de Agricultura y Ganadería-Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. CP. 83000. (erueda04@santana.uson.mx).

*autor para correspondencia: erueda04@santana.uson.mx; mendezmayboca@gmail.com; francisco.wong@unison.mx

RESUMEN

El presente documento, es una revisión actualizada sobre el potencial de cultivo que poseen las plantas aromáticas en zonas áridas, se incluyen experiencias internacionales, nacionales y regionales. Estas plantas poseen gran importancia y amplios usos en los diversos ámbitos sociales, industriales y de investigación; sin embargo, el conocimiento en nuestro país aún es limitado. El objetivo del presente trabajo es presentar alternativas de cultivo que se ajuste a las condiciones de aridez y escasez de agua propias del estado de Sonora. Se presenta una alternativa al uso tradicional de fertilizantes químicos y como mejorarían los cultivos utilizando Halo-Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (HBPCV), las cuales pueden mitigar el efecto de la salinidad y mejorar la calidad nutricional de plantas aromáticas, a través de la fijación de nitrógeno atmosférico y proporcionarlo en forma asimilable a la planta, además de proveer fitohormonas y fosforo asimilable. Estudios realizados con bacterias en México, están encaminados a cultivos de interés básico, forrajero y hortícola; son nulos aquellos dirigidos a plantas aromáticas y su asociación con BPCV. Por ello es necesario explorar las poblaciones de la rizósfera de plantas de zonas áridas desérticas como lo son las plantas aromáticas.

Palabras clave: orgánico, zonas áridas, bio-fertilizante, bacterias, orégano.

ABSTRACT

This document is an updated review on the cultivation potential of aromatic plants in arid zones, including international, national and regional experiences. These plants are of great importance and are widely used in various social, industrial and research fields; however, knowledge in our country is still limited. The objective of this work is to present cultivation alternatives that adjust to the arid conditions and water scarcity typical of the state of Sonora. An alternative to the traditional use of chemical fertilizers is presented and how crops would improve using Halo-Plant Growth Promoting Bacteria (HBPCV), which can mitigate the effect of salinity and improve the nutritional quality of aromatic plants, through fixation. of atmospheric nitrogen and provide it in assimilable form to the plant, in addition to providing phytohormones and assimilable phosphorus. Studies carried out with bacteria in Mexico are aimed at crops of basic interest, forage and horticulture; those directed to aromatic plants and their association with BPCV are null. For this reason, it is necessary to explore the populations of the rhizosphere of plants in arid desert areas such as aromatic plants.

Key words: organic, arid zones, bio-fertilizer, bacteria, oregano.

INTRODUCCIÓN

Las plantas aromáticas también llamadas “especias”, se caracterizan por poseer principios activos, los cuales están constituidos, total o parcialmente, por esencias. Por lo anterior son ampliamente utilizadas para acentuar el sabor, el olor y el color de los alimentos (Fretes, 2010; Castro-Restrepo *et al.*, 2013). Estudios recientes han descrito su potencial para distintos usos como Antioxidantes, Antimicrobianas (Corella-Bernal, 2013, Naghdi Badi *et al.*, 2017), Insecticida (Arias, 2015; Brito *et al.*, 2017), etc. En nuestro país se han estudiado únicamente 117 especies de plantas aromáticas nativas, en donde la familia *Asteraceae* ha sido la mejor estudiada con un 27% de publicaciones, seguida en orden de importancia con las familias *Lamiaceae*, *Bruseraceae*, *Myrtaceae* y *Verbenaceae*. Dentro de esta última se encuentra la especie aromática mayormente estudiada, el orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth), con 40% de publicaciones sobre caracterización química de sus aceites esenciales y actividad biológica por su potencial de uso para salud humana, veterinaria y tecnología de los alimentos.

Otras especies aromáticas con gran potencial son las del genero *Salvia* (*Lamiaceae*), utilizada como medicinal e inclusive ornamental. A pesar del gran interés y contar con el 85% de estas especies, las cuales son endémicas de nuestro país, los estudios son muy escasos. El atractivo principal de las plantas aromáticas deriva de la producción de metabolitos secundarios, los cuales se producen en aumento cuando la planta se encuentra en condiciones de estrés como lo es la falta de agua, salinidad, etc., por lo que resulta interesante dirigir la mirada hacia las zonas áridas. En la República mexicana, existen muchas regiones que cuentan con zonas áridas, muy áridas y semiáridas, que cubren más del 50% de la superficie total del país (CONACyT 2015). La Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), describe estas zonas áridas a todas las superficies del territorio nacional en donde las precipitaciones anuales son 250 milímetros (mm) máximo y donde las precipitaciones varían de 250 mm hasta 500 mm. como zonas semiáridas.

El objetivo de este trabajo es presentar alternativas de cultivo que se ajusten a las condiciones de aridez y escasez de agua propias del estado de Sonora. Se presenta una alternativa al uso tradicional de fertilizantes químicos y como mejorarían los cultivos utilizando HBPCV, las cuales pueden mitigar el efecto de la salinidad y mejorar la calidad nutricional de plantas aromáticas, a través de la fijación de nitrógeno atmosférico y proporcionarlo en forma asimilable a la planta, además de proveer fitohormonas y fósforo asimilable. Son enormes los retos en este campo del conocimiento y es únicamente a partir de estudios científicos que lograremos aprovechar este capital natural para generar riqueza a partir de plantas aromáticas, así como el establecimiento de agroindustrias que generen productos para el mercado de aromas, sabores y una gran diversidad de aplicaciones industriales.

LAS ZONAS ÁRIDAS

En la actualidad, el 40 por ciento de los suelos del planeta se encuentra en condiciones de aridez; esta cifra es alarmante, sin embargo, lo más impactante es que de este porcentaje, un tercio está habitado por el total de la población mundial. En el 2015 la Agencia Informativa CONACyT, reveló que el 90 por ciento de estas tierras, se localiza en los países subdesarrollados, por lo que se dificulta erradicar su pobreza. Según el reporte “El medio ambiente en México 2013-2014”, publicado por la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y Ojeda-Silvera *et al* (2013), en México, las regiones áridas y semiáridas constituyen un 60% del territorio nacional y de acuerdo con Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2015) en estas tierras habita el 30 por ciento de la población del país.

La agricultura de zonas áridas y sus desventajas. Las zonas áridas del país, cuentan con gran riqueza biológica y numerables bondades, los cultivos que se producen a nivel nacional son: Uva 99%, trigo 75%, avena grano 71%, sorgo forrajero 71%, avena forrajera 65%, alfalfa 59%, melón 58%, chile verde 55%, maíz forrajero 55%, frijol 53%, cebolla 53%, cártamo 52%. (Secretaría de Agricultura y desarrollo Rural, 2016).

Según la OMS, casi el 70% de la población mundial utiliza remedios de plantas; en las últimas décadas, ha crecido el interés para utilizar las plantas como medicamentos, debido a la elucidación de su potencial biológico y una tendencia a una vida más sana y natural. Sin embargo, para su cultivo y de acuerdo con Slupski, *et al* (2010), utilizar grandes cantidades de fertilizantes químicos trae como consecuencia una gran salinización de los suelos agrícolas de zonas áridas, como los presentes en el área noroeste del país. Las zonas áridas tienen un enorme potencial para cultivar plantas aromáticas, sin embargo, existen algunas dificultades para su correcto desarrollo agronómico, como lo es: la falta de agua, las temperaturas extremas, la fertilidad del suelo, la salinidad y la inclusión salina a los acuíferos.

Hidrológicos. Sin duda, el principal factor limitante en zonas de clima árido y semiárido es la disponibilidad de agua. La agricultura en zonas áridas presenta grandes desafíos, debido a la escasez de agua, suelos pobres con baja cantidad de materia orgánica (Agencia Informativa CONACyT, 2015) y estrés hídrico al que se exponen las diferentes especies vegetales, siendo este factor el principal causante de la muerte en plantas y que ocurre cuando la transpiración excede el agua absorbida por las raíces (Luna-Flores *et al.*, 2012). Por ello, es de suma importancia utilizar alternativas que permitan hacer un uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, implementando una planeación en el manejo del uso racional del agua. Una muy buena alternativa son los cultivos de plantas aromáticas, ya que algunos cultivos como el orégano (*Lippia palmeri* W.) no requieren grandes cantidades de agua y con base en resultados obtenidos por Corrella-Bernal, *et al.* 2008, promete como una alternativa de cultivo, ya que se desarrolla muy bien en condiciones de aridez y altas temperaturas.

Algunos efectos que son provocados por estrés hídrico en la planta son:

Reducción del crecimiento. Este efecto se debe a una pérdida de turgencia; con la que disminuye la cantidad de agua que la planta retiene, a su vez el de las propias células, de modo que disminuye el volumen celular y la turgencia de la célula. La pared celular se vuelve inflexible, limitando así el crecimiento y desarrollo.

Cierre de los estomas de las hojas para evitar la pérdida de agua. Esta respuesta está desencadenada por el ácido abscísico, una hormona vegetal que se produce principalmente en los tejidos vasculares. Cuando el tejido vascular deja de recibir agua de las raíces activa el ácido de su citoplasma, que viajará hasta las hojas estimulando el cierre estomático. Con lo anterior la actividad fotosintética disminuye, así como el intercambio de gases en las hojas y la captación de dióxido de carbono se ve incapacitada. Se detiene la fotosíntesis, con lo cual la planta deja de generar energía, la producción de azúcares queda en pausa y como resultado la planta detiene su metabolismo.

Temperaturas. El óptimo desarrollo de los cultivos de la mayoría de las plantas está relacionado directamente con la temperatura, puede ser alta o baja, dependiendo de la especie y el propósito. Para el caso de las plantas aromáticas, se relaciona con altos rangos de temperatura y con la acumulación de sustancias activas en el suelo. En algunas plantas aromáticas como la manzanilla, para alcanzar niveles máximos en el contenido de aceite esencial se necesita una temperatura constante de 25°C. En el caso de la menta si se aumenta 2 a 3 °C días antes de la cosecha, se observó que se incrementa la producción de aceite esencial. Al parecer las altas temperaturas en este tipo de plantas, están relacionadas con una mayor producción de metabolitos secundarios, otro ejemplo en *Papaver somniferum*, el crecimiento y la formación de morfina requiere altas temperaturas (Moré y Cristobal, 2013). Con lo anterior podemos concluir que existe una relación constante entre las plantas aromáticas y la temperatura para la obtención de productos de interés, por ejemplo, en la formación de esencia, es más alta la obtención de esta, a medida que aumenta la temperatura, sin embargo, las respuestas son muy específicas y varían dependiendo de cada especie.

La temperatura interviene directamente con la respiración vegetal, ya que la tasa de respiración de una célula vegetal disminuye cuando la temperatura desciende hasta detener la respiración casi o completamente alrededor de las temperaturas de congelación. Y viceversa, cuando la respiración aumenta con temperaturas altas, se deteriora el tejido. La energía obtenida de la respiración, almacenada en forma de

ATP, el transporte de metabolitos e iones, la regeneración de proteínas y los procesos de reparación se utiliza para el crecimiento de los órganos vegetales y de la planta. Además de la síntesis de ATP, la respiración genera toda una serie de compuestos de carbono intermediarios que son precursores de la síntesis de aminoácidos y compuestos nitrogenados derivados, ácidos grasos, glicerol, porfirinas, pigmentos carotenoides y flavonoides, también compuestos fenólicos para la síntesis de lignina y polisacáridos para la síntesis de la pared celular.

Las reacciones que forman la respiración incluye la glucólisis, la vía de oxidación de las pentosas fosfato, la β -oxidación de los ácidos grasos, el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, la oxidación del poder reductor por la cadena respiratoria mitocondrial y la fosforilación oxidativa de ADP para la génesis de ATP.

Salinidad. La salinización de los suelos agrícolas son quizá el problema más serio que enfrenta la agricultura en nuestros días (Rodríguez *et al.*, 2014). Ya que son condiciones que limitan la producción agrícola provocando suelos infértiles e improductivos, causando un grave problema en la agricultura mundial (Manzano *et al.*, 2014). De acuerdo con Rodríguez *et al.*, 2014, el aumento de la salinidad se debe al incremento excesivo de la desertificación, a la introducción masiva de sistemas de riego y su manejo inadecuado. La salinización del suelo y el agua son los principales causantes que contribuyen directamente a la desertificación debido a que la salinidad suele desarrollarse mejor en condiciones áridas, lo cual ocurre en el 50% de la superficie de las regiones áridas y semiáridas del mundo. Esta es una de las razones por las que la salinidad y desertificación están interrelacionadas (Palacio *et al.*, 2010). Los suelos con problemas de salinización según Porta *et al.*, 2014, se observan en los cultivos, debido a que demuestran mala germinación, deficiencia en el crecimiento, bajos rendimientos y hasta la muerte de la planta, esto es causado por el exceso de sales cuando rebasa el umbral soportado por la planta.

Los cultivos alternativos son los que permiten complementar o sustituir a los que se producen de manera tradicional y que, al registrar mejores precios por su alta demanda internacional, representan una oportunidad para mejorar la rentabilidad del

campo y el ingreso de los productores agrícolas, algunos ejemplos de ellos en las zonas áridas son el higo, dátíl, la jojoba, el orégano, etc.

PLANTAS AROMATICAS

Importancia. Desde el inicio de la humanidad, el uso de las plantas aromáticas y medicinales ha sido ampliamente utilizado, esto debido a sus múltiples propiedades, tanto culinarias como curativas (Fretes, 2010; Juárez-Rosete *et al.*, 2013). Su aprovechamiento inició con la experimentación de las diversas clases de material vegetal, que de acuerdo a sus atributos únicos ofrecen aromas agradables, potenciando los sabores en los alimentos, brindan mitigación de dolor y alivio de enfermedades (Craker, 2007). Las plantas aromáticas, se caracterizan por poseer principios activos, los cuales están constituidos total o parcialmente, por esencias. Por lo anterior son ampliamente utilizadas para acentuar el sabor, el olor y el color de los alimentos (Fretes, 2010; Castro-Restrepo *et al.*, 2013). Estudios recientes han descrito su potencial para distintos usos como antioxidantes, antimicrobianas (Corella-Bernal, 2013, Naghdi Badi *et al.*, 2017), insecticida (Arias, 2015; Brito *et al.*, 2017), etc. Nuestro país posee una gran biodiversidad vegetal, a la fecha se tienen descritas cerca de 29,000 especies de plantas con flor, sin embargo, a pesar de su importancia del uso de sus hojas y aceites esenciales, el conocimiento de las plantas aromáticas aún es muy limitado (Calvo-Irabien, 2016).

En los últimos años, el interés por estas plantas se ha incrementado, debido a sus amplios usos potenciales en los distintos sectores de la industria, en donde se utilizan como medicinal, alimentaria, así como en la fabricación de perfumes y cosméticos (Heywood, 1999; Sangwan *et al.*, 2001, Bandoni, 2002), de igual manera son muy atractivas para consumidores, recolectores, agricultores, industrias transformadoras, etc (Azizi *et al.*, 2007). También se ha generado un aumento de su uso, para la fabricación de productos nutraceuticos, para fisioterapia y aromaterapia entre muchas más aplicaciones (Juárez-Rosete *et al.*, 2013). En estudios recientes se han encontrado que a estas plantas se les confiere actividad biológica (contra hongos, bacterias, insectos y virus), también como antioxidante (Milos *et al.*, 2000), desinfectantes; insecticida (Sedy *et al.*, 2003); así como su empleo en la medicina

tradicional como antiespasmódico, por tal motivo sus extractos ó aceites esenciales se han convertido en un producto muy atractivo para la exportación.

Arcilla-Lozano *et al.*, 2004, en su estudio sobre las propiedades y actividad biológica de *Origanum vulgare* (orégano mexicano), destaca que el efecto antioxidante que confiere esta planta aromática se debe a que presenta grupos hidroxilo en los compuestos fenólicos. Adicionalmente, Dafarera *et al.*, 2000, afirma que la Organización Mundial de la Salud (OMS), describió que un gran porcentaje de la población mundial (cerca del 80%), utiliza extractos de plantas y sus productos activos como son los terpenoides, para uso de los cuidados primarios de salud. Naghdi Badi *et al.*, 2017, estudiaron la actividad biológica de 10 plantas aromáticas pertenecientes a las familias *Laminaceae*, *Verbenaceae* y *Ranunculaceae*; extrajeron el timol y carvacrol de sus aceites esenciales y encontraron un amplio espectro en su actividad biológica como antimicrobianos, antiinflamatorios, antioxidantes, actividades hepatoprotectoras y antitumorales. Juárez-Rosete, 2013, en su estudio destacó que, en nuestro país, la albahaca es principal hierba aromática que se produce para exportación. Sin embargo, actualmente no se cuenta con una valoración de la situación de las plantas aromáticas en México.

Usos potenciales. Como se mencionó anteriormente, el interés por estas plantas se ha venido incrementado, esto debido a que estudios recientes han demostrado sus usos potenciales y actividad biológica en los distintos sectores industriales y particulares, los cuales resultan muy atractivos para su aplicación culinaria, farmacéutica, así como en otras aplicaciones como Biofertilizantes, Biocontrol y Fitorremediación.

Culinario. Corella-Bernal *et al.* (2013), describe que el potencial culinario de las plantas aromáticas, específicamente el orégano (*Lippia palmeri*) es amplio; esto debido a que es utilizado ampliamente como condimento, muy popular en los diversos estratos sociales y culturas que van desde el nivel regional en donde se utiliza en la elaboración de platillos como salsas, guisos, caldos, ensaladas, etc.,

hasta el internacional en la preparación de platillos como lo es la pizza y como ingrediente importante en la elaboración de embutidos.

Farmacéutico. El uso de las plantas medicinales y aromáticas se remonta desde nuestros antepasados, los cuales usaron sustancias naturales, que encontraban en la naturaleza y las utilizaban para aliviar y curar enfermedades. Según datos proporcionados por la OMS en 2013, se siguen utilizando plantas medicinales y cerca del 80% de la población en el mundo aún confía en las plantas medicinales, debido a los extractos vegetales y compuestos activos que estas poseen (Dafarera *et al.*, 2000). Sin embargo, investigadores especialistas en plantas medicinales como es el caso de Morón-Rodríguez 2008, afirma que se debe de contribuir al uso racional de estos recursos y evitar divulgaciones no éticas de usos de estos recursos terapéuticos. Este mismo autor nos invita a utilizar de forma racional las plantas medicinales y validar su uso en investigaciones que demuestren las acciones farmacológicas, así como la seguridad y la calidad. Recomendación revisar la publicación realizada en el año 2013 emitida por la OMS, titulada “Las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud acerca del uso de los tratamientos tradicionales”.

Otras aplicaciones como Biofertilizante, Biocontrol y Fitorremediación. El uso medicinal y alimentario de las especies aromáticas, ha ganado importancia en el mundo, principalmente por el contenido de aceites esenciales. Esto debido a que la mayoría de los estudios relacionados con estas especies, se han centrado en la caracterización, la extracción y el uso de los aceites esenciales que estas producen (El-Beshbishy; 2012; Yeşiloğlu y Şit, 2012). Sin embargo, se ha puesto poca atención en conocer la respuesta de adaptación en zonas áridas y semiáridas en condiciones de clima y suelo adversas para su desarrollo. En Baja California Sur (BCS), México, se produce la mayor parte de albahaca orgánica en el mundo, además se produce con altos precios en el mercado comercializándose principalmente en fresco (SIAP-SAGARPA, 2009).

Aceites esenciales. En los últimos años hay un renovado interés en los productos naturales y en las plantas como fuente de fármacos, productos farmacéuticos, productos de perfumería, cosméticos y compuestos de aroma utilizados en sabores y fragancias de alimentos. La mayoría de los aromas naturales se obtienen por extracción de aceites esenciales de plantas officinales (Russo *et al.*, 2013). Los aceites esenciales son compuestos volátiles, naturales y complejos caracterizados por un fuerte olor, producido por las plantas como metabolitos secundarios. La composición de aceites esenciales está fuertemente influenciada por factores intrínsecos como especies, cultivares, clones, ecotipos y factores ecológicos como su origen geográfico, también están influenciados por las condiciones climáticas, suelo, factores bióticos y tecnológicos, técnicas de cultivo, tipos de procesos de recolección, condiciones de almacenamiento de las materias primas, tecnologías de procesamiento. Por lo tanto, las plantas silvestres de la misma especie, pero de diferentes orígenes pueden expresar diferentes caracteres y composición química (Russo *et al.*, 2012). La calidad de una planta aromática y especialmente sus propiedades biológicas están correlacionadas con la composición química de sus aceites esenciales (Soliman *et al.*, 2013).

Desde el punto de vista químico, los aceites esenciales se pueden clasificar con base a sus componentes mayoritarios. Los ricos en monoterpenos, se designan aceites esenciales monoterpenoides (hierbabuena, albahaca, salvia, orégano etc.); los ricos en sesquiterpenos son los aceites esenciales sesquiterpenoides (copiaba, pino, junípero, etc). Y por último, los ricos en fenilpropanos son aceites fenilpropanoides (clavo, canela, anís, etc). Esta clasificación es muy general, sin embargo, resulta útil para estudiar los aspectos fotoquímicos de los monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos (Castro-Restrepo, 2015).

Importancia y Usos. Las aplicaciones de los aceites esenciales son múltiples y variadas; se utilizan por sus propiedades aromáticas, en la industria alimentaria, la perfumería y en los productos de limpieza, también por sus propiedades farmacológicas en la industria farmacéutica, por sus múltiples usos como antisépticos, desodorantes, analgésicos, antiinflamatorios, insecticidas y repelentes,

cicatrizantes, etc. También se utilizan como expectorantes, carminativos, estomacales, antiespasmódicos, sedantes, estimulantes, cardíacos, etc.

Importancia del orégano en la producción de aceite esencial y su composición.

En los últimos años hay un renovado interés en los productos naturales y en las plantas como fuente de fármacos, productos farmacéuticos, productos de perfumería, cosméticos y compuestos de aroma utilizados en sabores y fragancias de alimentos. La mayoría de los aromas naturales se obtienen por extracción de aceites esenciales de las plantas aromáticas (Russo *et al.*, 2013). Los aceites esenciales son compuestos volátiles, naturales y complejos caracterizados por un fuerte olor, producido por las plantas como metabolitos secundarios. La composición de aceites esenciales y la cantidad de metabolitos secundarios en las plantas de orégano está fuertemente influenciada por factores climáticos, altitud, época de colecta y su etapa de crecimiento, tipo de suelo, factores bióticos, etc. Por lo anterior mencionado, el conocimiento de dichos factores y su influencia en el cultivo es importante para mejorar su aprovechamiento (Ortega-Nieblas *et al.*, 2016). Por lo tanto, las plantas silvestres de la misma especie, pero de diferentes orígenes pueden expresar diferentes caracteres en fenotipo y composición química (Russo *et al.*, 2012). Sin duda la calidad de una planta aromática dependerá de las expectativas del consumidor final y sus propiedades biológicas están correlacionadas con la composición química de sus aceites esenciales (Soliman *et al.*, 2013).

Los principios activos de la planta de orégano, se encuentran en las hojas y flores, de ellas se obtiene su aceite esencial, que se caracteriza por poseer un olor intenso, color amarillo y se compone por mezclas complejas de mono y sesquiterpenos (Figura 7) (Dafarera *et al.*, 2000).

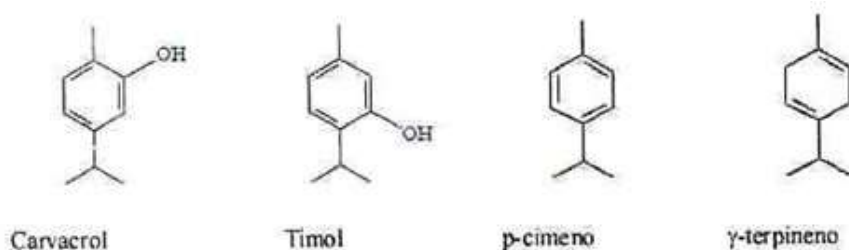


Figura 7. Estructuras químicas de los principales componentes del orégano mexicano. (Arcila-Lozano *et al.*, 2004)

Los compuestos fenólicos encontrados en el aceite esencial de orégano se consideran responsables de inhibir el crecimiento de plagas y toxinas en los alimentos. Los componentes principales en el aceite esencial son el carvacrol, canfotimol, timol, cafeico, flavonoides, pineno, luteolol, apigenol, diosmentol, sesquiterpenos, kaempferol y cimeno entre otros (Figura 1). Todos estos compuestos le confieren propiedades antioxidantes, antifúngicas, antibacterianas y citotóxicas, que han sido asociadas principalmente al carvacrol y timol (Aballa y Rosen, 2001; García-Beltrán *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2019). Se ha demostrado el gran nivel de citotoxicidad para células animales y en células cancerígenas en humanos, lo cual aumenta la importancia en la investigación de enfermedades humanas (De la Chapa *et al.*, 2018). Por otro lado, han realizado estudios de toxicidad en plagas de granos almacenados utilizando el aceite esencial de orégano extraído por hidrodestilación, logrando resultados favorables para el control de estas (Peschiutta, *et al.*, 2016; Szczepanik *et al.*, 2018).

Distribución y clasificación taxonómica de *Lippia Palmeri* W. El género *Lippia* (familia Verbenaceae) incluye aproximadamente 200 especies de hierbas, matorrales y árboles pequeños (Terblanche y Kornelius, 1996). Sin embargo, el término orégano se refiere a alrededor de 40 especies que comparten características similares de olor y sabor. Así mismo, comprenden más de un grupo taxonómico (familias Verbenaceae, Labiatae, y Compositae), lo cual influye en la cantidad y el tipo de sustancias activas que poseen (Silva-Vázquez *et al.*, 2008). *Lippia palmeri*, se distribuye al suroeste de Estados Unidos y noroeste de México, localizándose

principalmente en los estados de Chihuahua, Sonora, Sinaloa y las dos Baja California (Maldonado, 1991; Ortega-Nieblas *et al.*, 2016).

Reino, Plantae; División, Magnoliophyta; Clase, Magnoliopsidae; Orden, Lamiales; Familia, Verbenaceae; Género, Lippia; Especie, *Lippia palmeri* (Sánchez *et al.*, 2007; SEMARNAT, 2007; CONAFOR, 2011)

La importancia de la Nutrición en la producción de plantas aromáticas. La nutrición en la producción de plantas es de suma importancia para obtener buenos rendimientos. La función que ejercen los macro y micronutrientes en los vegetales resulta ser clave para cumplir normalmente con todas sus funciones fisiológicas relacionadas con el óptimo crecimiento, así como para enfrentar diversas situaciones de estrés biótico y abiótico.

La nutrición del suelo y la fertilización en los cultivos, han demostrado un importante avance en los sistemas de producción en los últimos 20 años (García, F. y González-Sanjuan M.F.2013). Por ello es de suma importancia cuidar la aportación de nutrientes en el suelo para lograr los resultados esperados, esto dependerá del objetivo del cultivo y la especie de planta, ya sea la obtención de follaje, frutos, semilla, producción de principios activos, etc (Moré, E. y Cristóbal, R. 2013). Cabe mencionar que en los suelos presentes en zonas áridas los porcentajes de materia orgánica son muy bajos. La materia orgánica del suelo, es la base de la fertilidad del suelo y es un recurso natural muy importante. La materia orgánica incluye todos los compuestos orgánicos del suelo, de los organismos y productos de síntesis microbiana o química resistentes a la descomposición microbiana, contenidos en su mayoría en las sustancias húmicas. La fuente esencial de la materia orgánica es el C fijado durante las reacciones de fotosíntesis, mismas que se reintegran al suelo como residuos de plantas y exudados de raíces. El contenido de materia orgánica varía de menos de 1% en suelos arenosos y desérticos a 4% en los primeros 15 cm de suelos agrícolas minerales a más de 50% en suelos orgánicos. La función de los suelos está determinada en gran parte por su contenido de materia orgánica. La capacidad del suelo para almacenar nutrientes, retención de humedad, liberación de gases de efecto invernadero, resistencia a la degradación física, química y biológica para su

productividad depende en gran medida de la calidad y cantidad de su materia orgánica. Ayala-Niño *et al.* (2018)

Evidentemente el mal uso de la fertilización química provoca daños a la salud ambiental, en el agua genera eutrofización, en el suelo salinización, en el aire contaminación ambiental, ni se diga los daños que causa a la salud humana, por todo este desequilibrio ambiental es necesario la búsqueda de opciones amigable con el medio ambiente y la salud humana, a su vez que minimicen o detengan el problema de la aridez.

BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO EN PLANTAS: UNA ALTERNATIVA DE FERTILIZACIÓN EN ZONAS ÁRIDAS

En años recientes, ha aumentado el interés de utilizar y conocer a las bacterias promotoras de crecimiento en plantas (BPCP, estas bacterias pueden incrementar el crecimiento y la producción de cultivos. Estas bacterias se han aplicado a raíces, semillas y tubérculos; son capaces de estimular el crecimiento, colonizar las raíces y aumentar los cultivos de las plantas. Se han identificado un gran número de especies bacterianas de vida libre o asociativa fijadoras de N₂, sólo algunas destacan por su potencial como biofertilizantes o promotoras de crecimiento. Entre los géneros más estudiados están *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas* y *Azospirillum*. Los microorganismos con efecto benéfico en las plantas pueden resultar potenciales biocontroladores y biofertilizantes (Jiménez *et al.*, 2001).

Las BPCP pueden clasificarse en dos grupos: a) Bacterias promotoras de crecimiento en plantas, los mecanismos que estas bacterias utilizan es a través de su propio metabolismo (solubilizando fosfatos, produciendo hormonas o fijando nitrógeno), afectando directamente el metabolismo de la planta (incrementando la toma de agua y minerales), por medio del crecimiento del sistema completo de raíces, incrementando la actividad enzimática de la planta o “ayudando” a otros microorganismos benéficos de las plantas (Bashan y Holguin, 1998). b) Bacterias promotoras de crecimiento en plantas con capacidad de control biológico, las cuales promueven el crecimiento de la planta eliminando los fitopatógenos.

El efecto positivo que ejercen estas BPCV sobre el crecimiento de las plantas, puede actuar de manera directa o indirecta: 1. Mecanismos directos: suceden cuando los metabolitos producidos por las bacterias son utilizados como reguladores de crecimiento o precursores de estos por parte de la planta y 2. Mecanismos indirectos: los metabolitos producidos de las bacterias pueden funcionar como determinantes antagónicos, interactuando como control biológico, inhiben o eliminan el crecimiento de microorganismos perjudiciales para el desarrollo de la planta, por medio de la producción de sideróforos, antibióticos, acción de enzimas líticas (glucanasas y quitinasas) o por inducción de mecanismos de resistencia. La combinación de ambos mecanismos de acción da como resultado la promoción evidente del crecimiento de plantas; observando un incremento en la emergencia, el vigor, el peso de plántulas, desarrollo en sistemas radicales e incremento hasta de 30% en la producción de algunos cultivos de interés comercial (Moreno-Reséndez *et al.*, 2018).

Fijación de nitrógeno. *Azospirillum* es de los géneros bacterianos más estudiados, ya que todas las cepas silvestres son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, ya sea como bacterias libres o en asociación con plantas a su vez participan en varias transformaciones del ciclo del nitrógeno). Después de la inoculación, hay un incremento en el nitrógeno total de brotes y granos de plantas inoculadas (Moreno-Reséndez *et al.*, 2018)). De aquí que la fijación de nitrógeno fuera el primer mecanismo principal sugerido para explicar el incremento del crecimiento vegetal por *Azospirillum*. La incorporación de nitrógeno atmosférico en la planta huésped por *Azospirillum* se evaluó principalmente por el método de reducción de acetileno. Sin embargo, por medio de estudios se ha comprobado que las plantas obtienen parte de su nitrógeno de la atmósfera. La contribución de la fijación de nitrógeno bacteriana al balance de nitrógeno de las plantas, está fundamentada en el hecho de que la actividad de la nitrogenasa en raíces se incrementa.

Efectos hormonales de BPCV en las plantas. Las fitohormonas, también llamadas hormonas vegetales, son producidas por células vegetales y se encuentran en las hojas de la planta en su mayoría y actúan sobre otras células actuando como

mensajeras químicas. Las hormonas vegetales son capaces de regular una gran cantidad de sucesos fisiológicos en las plantas. Las principales fitohormonas utilizadas por su interés en biotecnología son las auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico, ácido salicílico, etileno, jasmonatos y sus derivados (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019)

Auxinas. El ácido indolacético, es la auxina mejor conocida. Establece la maduración del fruto y el crecimiento en la planta. esto lo realizan por absorción de agua, mediante el aumento del volumen celular. Aun cuando la auxina se encuentra en toda la planta, las concentraciones más altas se localizan en las regiones meristemáticas en crecimiento activo. Se le encuentra como molécula libre o en formas conjugadas inactivas. Cuando están conjugadas, la auxina se encuentra metabólicamente unida a otros compuestos de bajo peso molecular. La concentración de auxina libre en plantas varía de 1 a 100 mg/kg peso fresco (Lira, 2003). Las auxinas actúan en el alargamiento celular y la curvatura de los tallos hacia la luz, con el estímulo luminoso y se desplaza hacia el lado oscuro del tallo, con lo que aumenta la concentración de la hormona en ese lado; también se encargan de promover la división celular en cultivos de callos (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019)

Ácido abscísico. El ácido abscísico o ABA, es una fitohormona que tiene la capacidad controlar o eliminar procesos vegetales que generalmente ocurren de manera natural. El ABA puede ser producido indirectamente por las plantas a partir de la producción de ciertos carotenoides e indirectamente por algunos organismos de tipo fúngicos fitopatógenos a partir del farnesil pirofosfato. El principal papel que desempeña en la planta es la maduración de semillas (Colebrook *et al.*, 2014)

Giberelinas. El principal rol que desempeñan las giberelinas es determinar el crecimiento excesivo del tallo e inducción de la germinación de la semilla. El ácido giberélico (GA₃) es la primera fitohormona giberelina descubierta; las giberelinas son sintetizadas en las puntas de las raíces, en los primordios apicales de las hojas, y en

semillas en desarrollo. La principal función es incrementar la mitosis o tasa de división celular (Salazar-Cerez *et al.*, 2018).

Citocininas. Inicialmente estas fitohormonas fueron llamadas quininas, a pesar de ello y debido al uso anterior del nombre para un grupo de compuestos de la fisiología animal, se adaptó el término citocininas (de citocinesis o división celular). Naturalmente las podemos encontrar en las zonas de crecimiento, como en los meristemas en la punta de las raíces. El principal rol que desempeña en las plantas es el incremento de crecimiento celular y destacan por estimular la división celular en tejidos no meristemáticos (Tian *et al.*, 2017).

Respuesta de BPCV a condiciones de estrés. Las BPCV tienen la capacidad de producir quistes y grumos (agregados visibles), en diferentes condiciones de estrés, mismos que incrementan su supervivencia. Estos fenómenos pueden ser estrés por falta de agua (Bashan *et al.*, 1991), resultado de la edad o condiciones del cultivo (Bleakley *et al.*, 1988). Las células císticas, que son ricas en poli- β -hidroxibutirato (PHB), tienen mayor sobrevivencia que las células sin PHB (Kadouri *et al.* 2003). De acuerdo con Katupitiya *et al.* (1995), encontraron que *Azospirillum* al crecer bajo condiciones de cultivo con la presencia de fructosa y nitratos, se induce la formación de agregados celulares y se promueve la síntesis de polisacáridos extracelulares. *Azospirillum* presentan ventajas en la supervivencia sobre células vegetativas, debido a la presencia de estos quistes. Neyra *et al.* (1995) sugirieron la producción de inóculos de *Azospirillum* o *Rhizobium* compuestos por una mezcla de quistes y células vegetativas (flocúlos) rodeadas por una red de polisacáridos. Dichos flóculos podrían tener potencial en la preparación de inoculantes, debido a la facilidad de reproducción a gran escala, además cuentan con la ventaja de que fácilmente pueden ser separados del medio de cultivo y también de incrementar la supervivencia de las células en su interior (Corrales-Lozada *et al* 2020).

Osmotolerancia. El uso de *Azospirillum*, comúnmente está asociado a condiciones que no son las adecuadas para el crecimiento de la planta (falta de fertilización y

agua) y ocurre principalmente bajo condiciones adaptadas para agricultura de zonas semiáridas; lo anterior debido a que se han encontrado mejores rendimientos bajo estas condiciones. En la agricultura de zonas áridas es frecuente utilizar bacterias de este género ya que se adapta a suelos salinos. El primer descubrimiento de las cepas halotolerantes fue con *A. halopraeference* (Reinhold *et al.*, 1987) y *A. brasilense* (Rai, 1991), actualmente son muy escasos los estudios de osmotolerancia. Las adaptaciones al estrés osmótico, son un mecanismo común en la célula y se refiere a la acumulación intracelular de solutos orgánicos (osmolitos). Ya se han identificado todos los osmolitos que se almacenan en cepas de *A. brasilense* durante el estrés osmótico generado por NaCl. El osmolito encontrado en *A. brasilense* varió de glutamato a prolina mientras la presión osmótica del medio se incrementó. *A. brasilense* es capaz de utilizar glicina betaina como osmoprotector; la asimilación de este compuesto está fuertemente estimulada por el estrés salino y significativamente reducida por un choque osmótico a baja temperatura, y se ha detectado una glicina betaina ligante en el fluido periplásmico de células crecidas en condiciones de alta osmolaridad (Riou *et al.*, 1991). Ya está ampliamente comprobado que la inoculación con *Azospirillum* mitiga el efecto del estrés salino y la toxicidad de los ácidos húmicos en la composta (Osses *et al.*, 2017, Sangoquiza Caiza *et al.*, 2018; Cotrim *et al.*, 2016).

Estimulación directa de crecimiento y desarrollo en plantas. El crecimiento de las plantas es directamente estimulado por las bacterias de vida libre; utilizando un gran número de mecanismos, no solo difieren de un organismo a otro, p.e de *Azospirillum* a *Pseudomonas*, sino que también pueden diferir de una cepa a otra. Muchos fitopatógenos pueden atacar a plantas saludables como a plantas enfermas o estresadas, cualquier manipulación genética que aumente la capacidad de una BPCP para estimular el crecimiento vegetal y/o la salud de la planta debería paralelamente incrementar la capacidad de la bacteria para actuar como un agente de control biológico (Bashan *et al.*, 2007, Ribaudó *et al.*, 2013; Alcantara-Cortes *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

La diversidad de plantas aromáticas que existen en México, es muy amplia, sin embargo, han sido escasamente estudiadas. En general son poco exigentes en cuanto a los requerimientos de cultivo, no obstante, aunque tienen la facilidad de adaptarse, crecerán con mejores rendimientos si se les da el manejo adecuado, también si las condiciones del suelo, disponibilidad de agua y nutrientes son favorables. Sin embargo, tenemos que adaptarnos a nuestras condiciones climatológicas y utilizar alternativas favorables; una de ellas es utilizar microorganismos promotores de crecimiento vegetal, los cuales nos brindaran mejores rendimientos y protección contra patógenos. Por lo anterior y con base al análisis de este estudio, se concluye que las plantas aromáticas son una buena alternativa de cultivo para desarrollar en las zonas áridas; además desde el punto de vista económico, la recolección y la producción de hierbas aromáticas en México representa una actividad rentable, para recolectores, productores y transformadores. La producción de hierbas aromáticas es considerada como un tipo de cultivo alternativo de creciente mercado y con alto valor agregado, si se cuenta con buenas prácticas agrícolas u orgánica. Por otro lado, el buscar otros usos a los subproductos, ya sea artesanal o industrial aumentará su valor agregado.

REFERENCIAS

- Afzal Rizvi, M. y Saeed, A. 2013. Medicinal Plants of Arid Zones Utilization, Cultivation and Conservation. *Hamdard Medicus* 56(4): 53-80.
- Ahemad, M. y Kibret, M. 2014. Mechanisms and applications of plant grow promoting Rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University-Science* 26:1-20.
- Agencia Informativa CONACyT. 2015. México D.F. 11 de agosto. Disponible en: <http://conacytprensa.mx/index.php/centros-conacyt/2854-es-cibnor-referente-en-agricultura-enfocada-a-zonas-arida>
- Angulo, V.; Sanfuentes, E.; Rodríguez, F. y Sossa, K. 2014. Caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de *Eucalyptus nitens*. *Rev. Arg. de Microbiología*. 46(4): 338-347.
- Arias, J. 2015. Toxicidad de polvo, extracto y aceite esencial de fruto de *Schinus molle* L. para el control de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). Editorial: n/a.
- Armenta-Bojórquez A.D., García-Gutiérrez C., Camacho-Báez J.R., Apodaca-Sánchez M.A., Gerardo-Montoya L. y Nava-Pérez E. 2010. Biofertilizantes En El Desarrollo Agrícola De México. *Ra Ximhai* 6(1): 51-56.
- Asgari Lajayera B., Ghorbanpourob M. y Nikabadic S. 2017. Heavy metals in contaminated environment: Destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 145: 377-390.
- Ayala Niño, F., Maya Delgado, Y., Troyo Diéguez, E. 2018. Almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos como servicio ambiental: Un ejemplo en el noroeste de México. *Terra Latinoamericana*, 36(2), 93-104. DOI: <https://dx.doi.org/10.28940/terra.v36i2.334>
- Azizi M., Bos R., Woerdenbag H.J. y Kayser O. 2007. A comparative study of four chamomile cultivars cultivated in Iran. *Acta Horticulturae*; 749: 93-96.
- Bancomext, CEMUE/PAIPYME. 2006. Productos vegetales naturales de uso en cosméticos e higiene personal (nutracéuticos). Consejería Comercial del Bancomext, S.N.C. Italia. 56pp
- Bandoni A. 2002. Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica: su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. *Ciencia y tecnología para el desarrollo (CYTED)* 417 pp.

Bashan Y. y Holguin G. 1998. Proposal for the division of plant growth- promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biol. Biochem.* 30, 1225-1228.

Bashan L E, Holguin G, Glick BR, Bashan Y. 2007. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propositos agricolas y ambientales. In: *Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo.* (Eds.) Ferrera-Cerrato, R., and Alarcon, A. Editorial Trillas, Mexico City, Mexico. pp. 170-224.

Başer HKC. 2005. New trends in the utilization of medicinal and aromatic plants. *Acta Horticulturae* 676: 11-23.

Beltrán, M. 2014. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 101 - 113p.

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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp.* 17: 3509-3519.

Brito H., Aldaz A., Cuenca K., Cuadrado E., Freire S., Moyano A., Lara A., Lupera V., Pinajota O, Reinel A, Telenchano V., Vargas J. y Vasconez A. 2017. Elaboración de repelentes orgánicos a partir de hierbas aromáticas.

Burt S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods. A review. *International Journal of Food Microbiology* 94: 223-253.

Bowles E.J. 2003. *The Chemistry of Aromatherapeutic Oils.* 3rd Ed. Allen & Unwin, Crows Nest, Australia. 236 p.

Calvo-Irabien, L.M. 2016. Plantas aromáticas nativas: realidades y retos. Desde el Herbario CICY 8: 9–11

Cases CMA. 2007. Las plantas aromáticas y medicinales. Descripción de las especies fundamentales. Principios activos. En: *Jornadas técnicas dedicadas a las plantas aromáticas y medicinales.* Brihuega, España. 99.

Castro-Restrepo D., Díaz-García J.J., Serna-Betancur R., Martínez-Tobón M.D., Urrea P.A., Muñoz-Durango K. y Osorio-Durango E.J. 2013. Cultivo y producción de plantas aromáticas y medicinales. Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente, Segunda Edición, Medellín, Colombia. 94pp.

Craker LE. 2007. Medicinal and aromatic plants: future opportunities. In: *Issues in new crops and new uses.* J. Janick y A. Whipkey (eds.). American Society for Horticultural Science Press. Alexandria VA. 248-257.

Corella Bernal, R.A.; Ortega Nieblas, M.M.; Robles Burgueño, M.R.; Borboa Flores, J. y McCaughey Espinoza, D. 2008. El cultivo de orégano *Lippia palmeri* Watson, en el estado de Sonora. 3era Reunión nacional sobre orégano. 22 al 24 de Agosto de 2007. Saltillo, Coahuila. Edición especial No.1, 2008.

Corella-Bernal R.A. y Ortega-Nieblas M.M. 2013. Importancia del aceite esencial y la producción de orégano *Lippia palmeri* Watson en el estado de Sonora. Biotecnia XV (1): 57-64.

Corrales-Lozada, M., Lumbres, V., Iglesias-Osores, S., Carreño-Farfán, C. 2020. Potencialidades de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, aisladas de *Portulaca oleracea* L. en suelos con salinidad. Pastos y Forrajes, 43(2): 93-101.

Corrales Ramírez, L.C., Sánchez Leal, L.C., Arévalo Galvez Z.Y. y Moreno Burbano V.E. 2014. *Bacillus*: género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato. NOVA.12 (21): 165–178

Díaz-Padilla, G., Sánchez-Cohen, I., Guajardo-Panes R.A., Del Ángel-Pérez A.L., Ruíz-Corral, A., Medina-García, G. e Ibarra-Castillo, D. 2011. Mapeo del índice de aridez y su distribución poblacional en México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17 Edición Especial: 267-275.

El-Beshbishy, H. A. y Bahashawn, S. A. 2012. Hypoglycemic effect of basil (*Ocimum basilicul*) aqueous extract is mediated through inhibition of α -amylase activities: an in vitro study. Toxicology and Industrial Health. 28:42-50.

Fereres, E. y Soriano, M. A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. J. Exp. Bot. 58:147-159.

Fretes, F. 2010. Plantas medicinales y aromáticas una alternativa de producción comercial. Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

García, F. y González-Sanjuan M.F.2013. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos?. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 56:2-7. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Glick, B. R., Patten, C. L., Holguin, G. y Penrose, D. M. 1999. Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. Imperial College press. London. 270 pp.

Diódoro Granados-Sánchez^{1*}; Martín Martínez-Salvador²; Georgina F. López-Ríos¹; Amparo Borja-De la Rosa¹; Gabriel A. Rodríguez-Yam. 2013. Ecología, Aprovechamiento Y Comercialización Del Orégano (*Lippia graveolens* H. B. K.) en Mapimí, Durango. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 305-321

González, H. y Fuentes N. 2017. Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Rev. Cienc. Agr.* 34(1): 17 – 31.

Heywood V. Medicinal and aromatic plants as global resources. *Acta Horticulturae* 1999; 500: 21-29.

INEGI Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. 2016. Atlas de México, Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/> consultado el 25/Mar/2016.

Juárez-Rosete, C.R. 2010. Fertilización orgánica e inorgánica en la producción y calidad de aceites esenciales en manzanilla, menta y tomillo (Tesis de doctorado) Estado de México: Colegio de Postgraduados.

Juárez-Rosete, C.R., Aguilar-Castillo J.A., Juárez-Rosete M.E., Bugarín-Montoya R., Juárez-López P. y Cruz-Crespo E. 2013. Hierbas aromáticas y medicinales en México: Tradición e Innovación. *Revista Bio Ciencias*; 2(3): 119-129.

Kämpfer, P., Ruppel, S. Y Reiner, R. 2005. *Enterobacter radicincitans* sp. Nov., a plant growth promoting species of the family Enterobacteriaceae. *Systematic App. Microbiol.* 28: 213-221.

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

Kloepper, J. W., Schroth, M. N. y Miller, T. D. 1980. Effects of Rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. *Phytopathology.* 70:1078-1082.

Koschier, E.H., Nadjafi, F. y Bannayan, M. 2003. Labiate essential oils affecting host selection and acceptance of *Thrips tabaci* Lindeman. *Crop Protection* 22: 929-934.

Lucy, M., Reed, E., Glick, B. R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 86, 1-25.

Luna-Flores, W.; Estrada-Medina, H.; Jiménez-Osornio, J. J. M.; Pinzón-López, L. L. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias *Terra Latinoamericana.* 30 (4): 343-353.

Manzano, B., Rivera, O., Briones, E. y Zamora, T. 2014. Rehabilitación de suelos salinos- sódicos, estudio de caso en el Distrito de Riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Terra Latinoamericana* 32(3) 211pp.

Martínez-Moreno D, Alvarado-Flores R, Mendoza-Cruz M y Basurto-Peña B. 2006. Plantas medicinales de cuatro mercados del estado de Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 79: 79-87.

Masarovičová E y Král'ová K. 2007. Medicinal plants: Past, Nowadays, Future. *Acta Horticulturae*; 49: 19-27.

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. *Biológicas* 17(2): 24–34.

Morón Rodríguez, Francisco J. 2008. Las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud acerca del uso de los tratamientos tradicionales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 13(4).

Moré, E. y Cristobal, R. 2013. Cultivo De Plantas Aromáticas Y Medicinales. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya.

Naghdi Badi H., Abdollahi M., Mehrafarin A., Ghorbanpour, M., Tolyat, M., Qaderi ,A. y Ghiaci Yekta, M. 2017. An Overview on Two Valuable Natural and Bioactive Compounds, Thymol and Carvacrol, in Medicinal Plants. *Journal of Medicinal Plants*. Vol 16. No. 63.

Nieto-Garibay A.; Murillo-Amador B.; Troyo-Diéguez E.; García-Hernández J. L. y Ruiz-Espinoza F. H. 2010. Water stress in two capsicum species with different domestication grade. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12: 353-360

Sangwan N.S., Farooqi A.H.A., Shabih F. y Sangwan R.S. Regulation of essential oil production in plants. 2001. *Plant Growth Regulation*; 34: 3-21.

Sedy, K. A. y Koschier, E. H. 2003. Bioactivity of carvacrol and thymol against *Frankliniella occidentalis* and *Thrips tabaci*. *Journal of Applied Entomology-Zeitschrift Für Angewandte Entomologie*; 127: 313-316.

Singh, J.S. 2013. Plant Growth Promoting Rhizobacteria Potential Microbes for Sustainable Agriculture . *Resonance* 275:281.

Slupski, J., Lisiewska, Z., Kmiecik, W., Gębczyński, P. y Sobczyńska L. 2010. The effect of processing on the amino acid content in green cauliflower. *Agricultural and Food Science*, 19 : 136–143.

Soliman E.A., El-Moghazy, A.Y., El-Din, M.S.M. y Massoud, M.A., 2013. Microencapsulation of essential oils within alginate: formulation and in vitro evaluation of antifungal activity. *Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*, 3: 48-55.

O'hara, G. W., Davey, M. R. y Lucas, J. A. 1981. Effect of inoculation of *Zea mays* with *Azospirillum brasilense* strains under temperate conditions. *Can. J. Microbiol.* 27: 871-877.

Ojeda-Silvera C.M., Murillo-Amador B., Reynaldo-Escobar I.M., Troyo-Diéguez E., Ruiz-Espinoza H. y Nieto-Garibay, A. 2013. Estrés hídrico en la germinación y crecimiento de plántulas de genotipos de albahaca *Ocimum basilicum* L. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 4(2) 229-241.

Ramírez G., Ledesma E. D. y Pino Benítez N. 2006. Géneros de palmas con potencial ornamental en el corregimiento de Raspadura, Municipio de Unión Panamericana, Chocó, Colombia. Lyonia, 10(2) 47-63.

Rennie, R. J. y Rennie, D.A. 1983. Techniques for quantifying N₂ fixation in association with nonlegumes under field and greenhouse conditions. Can. J. Microbiol. 29: 1022-1035.

Rodríguez, C. 2013. Evaluación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum*) variedad santa clara, aislados de residuos lignocelulósicos de higuera (*Ricinus communis*). Rev. Tec. Agro. 24(2): 23-31.

Rodríguez, G., Mata, F., López, B. y Vela, C. 2014. Dinámica de la Salinidad de los suelos. Revista del Departamento el Hombre y Su Ambiente. 1(5) 34:35.

Russo M, Suraci F., Postorino S. y Serra D. 2012. Effectiveness of electronic nose systems to detect bergamot (*Citrus bergamia* Risso et Poiteau) essential oil quality and genuineness. Journal of essential oil research, 24(2), 137-151.

Russo M., Suraci F., Postorino S., Serra D., Roccotelli A. y Agosteo G.E. 2013. Essential oil chemical composition and antifungal effects on *Sclerotium cepivorum* of *Thymus capitatus* wild populations from Calabria, southern. Revista Brasileira de Farmacognosia.

Terry, E., Leyva, A. y Hernández, A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). Rev. Colomb. Biotecnol. 7(2): 47-54.

Tomaino A, Cimino F, Zimbalatti V, Venuti V, Sylfaro V, De Pascale A, 2004. Influence of heating and antioxidant activity and the chemical composition of some spice essential oils. Food Chemistry 89: 549-554.

Ohloff G. 1994. Scent and Fragrances. The fascination of odors and their chemical perspectives. Springer-Verlag, Berlin, 238p.

Okon, Y., y Labandera-González, C. A.. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. Soil Biol. Biochem. 26:1591-1601.

Organización Mundial de la Salud, 2013. Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023. Impresa en Hong Kong SAR, China.

Ortega, R. 1991. Plantación de orégano en bordos con aplicación de pequeñas láminas de riego. In: Estado actual del conocimiento sobre El Orégano en México. Primera Reunión Nacional sobre Orégano. 25- 27 Junio 1990. Bermejillo, Durango. 264-267.

Palacio, S.R., Ramírez, O., Núñez, T. y López C. 2010. Evaluación de la salinidad potencial de aguas para riego en la cuenca del Cauto. Centro de Estudio para Agrosistemas Áridos. Universidad de Holguín. Cuba. 2pp.

Puente, M. y Bashan, Y. 1993. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* strains on germination and seedlings growth of the giant columnar cardon cactus (*Pachycerus pringler*). *Symbiosis*. 15:49-60.

Puente, M.; Holguin, G.; Glick, B. y Bashan Y. 1999. Root-surface colonization of black mangrove seedlings by *Azospirillum halopraeferens* and *Azospirillum brasilense* in seawater. *Microbiol. Ecol.* 29:283-292.

Yeşiloğlu, Y. y Şit, L. 2012. Antioxidant properties of various solvent extracts from purple basil. *Spectrochimica Acta Part A: Mol. and Biomol. Spectroscopy*. 95:100-106.

CONCLUSIONES

Con base a los objetivos planteados, en este trabajo se logró determinar la presencia de 15 aislados bacterianos halotolerantes provenientes de raíz y suelo de *Lippia palmeri* nativo del noroeste de México.

El muestreo realizado, indica que existe una diversidad bacteriana *in situ*. Además, se confirma la presencia de colonias halotolerantes y con producción de sustancias que promueven el crecimiento y la nutrición de la planta.

El aislamiento y caracterización de las cepas *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* y *Bacillus licheniformis*, es el primer informe como una bacteria fijadora de nitrógeno asociada a *L. palmeri*.

De los aislados obtenidos, se seleccionó el mejor (*Bacillus amyloliquefaciens*) por presentar actividad positiva a fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de sideróforos.

El efecto de la salinidad en la germinación de semillas de orégano (*L. palmeri*) afecta negativamente; sin embargo, la inoculación de las cepas de *B. amyloliquefaciens* mitigan el efecto negativo, promoviendo la germinación *in vitro*.

En condiciones *in vitro* y de invernadero, la cepa de *B. amyloliquefaciens* resulto tener interaccion positiva con *L. palmeri*, aumentando la significativamente la altura media de las plantas, longitud radicular y el peso seco aéreo.

Con el presente estudio se demuestra y confirma la asociación benéfica entre semilla y estaca de *L. Palmeri* y *B. amyloliquefaciens*, con ello se contribuye al conocimiento sobre la influencia positiva que ejercen los halobacterias y su potencial

agroecológico, resultando ser una posible alternativa de producción de planta de gran interés social, económico y ecológico.

Como conclusión, nuestro estudio demuestra que la cepa halotolerante asociada (*B. amyloliquefaciens*) y evaluadas en la raíz de *L. palmeri*, pueden utilizarse como biofertilizante con potencial para el desarrollo y producción de orégano nativo en las áreas de Sonora que presentan suelos salinos.