

10 180042

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA**

**ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES DE *Salicornia bigelovii* POR  
EFECTO DE LA BACTERIA PROMOTORA DE CRECIMIENTO  
VEGETAL *Bacillus amyloliquefaciens***

**TESIS**

**EFRAIN OLIVAS AVENDAÑO**

**NOVIEMBRE DE 2017**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

**ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES DE *Salicornia bigelovii* POR EFECTO DE LA  
BACTERIA PROMOTORA DE CRECIMIENTO VEGETAL *Bacillus  
amyloliquefaciens*.**

**TESIS**

Sometida a consideración del  
Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

**EFRAÍN OLIVAS AVENDAÑO**

Como requisito parcial para obtener  
el título de Ingeniero Agrónomo

Noviembre de 2017

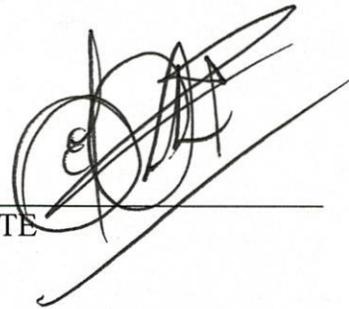
Esta tesis fue realizada bajo el consejo particular aprobada y aceptada como requisito parcial para obtención del grado de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**CONSEJO PARTICULAR:**

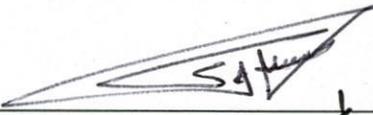
**DIRECTOR:**

DR. EDGAR OMAR RUEDA PUENTE



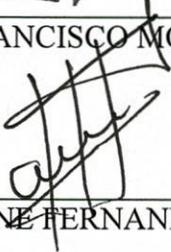
**ASESOR:**

DR. SERGIO FRANCISCO MORENO SALAZAR



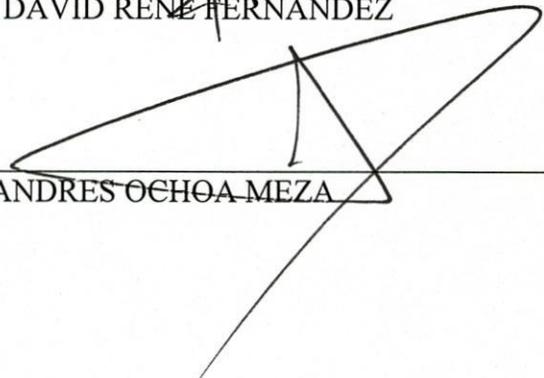
**ASESOR:**

M.C. DAVID RENE FERNANDEZ



**ASESOR:**

DR. ANDRES OCHOA MEZA



## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de Sonora por proporcionarme las herramientas necesarias para culminar mis estudios profesionales.

A mis maestros-amigos por los consejos, enseñanzas y experiencias compartidas que de alguna forma nos involucramos en distintos trabajos.

A mi maestro Dr. Rueda Puente un agradecimiento muy especial por su tiempo para poder culminar una etapa más dentro de lo profesional.

Agradezco a todos los profesores del Departamento de Agricultura y Ganadería por brindarme su apoyo y enseñarme todo lo que ellos saben.

A mis compañeros de generación que pasamos gratos momentos.

A todos ellos, le agradezco todo, que Dios los bendiga.

## **DEDICATORIA**

A mis padres: Enrique Olivas Higuera y Alma Angélica Avendaño Pérez, por sus ejemplos y el apoyo que siempre me han brindado.

A mis hermanos, por estar a mi lado siempre y otorgarme todo su apoyo y confianza.

A mi Esposa Andrea Rosalía Jiménez Herrera, por ser mi motivación diaria en la vida. Pido a la vida para que el amor que te tengo siempre se mantenga intacto como hasta ahora. Mi admiración y respeto para Ti.

Dedico esta obra a mi hija Angélica Paola Olivas Jiménez agradeciéndole a ella y a la vida POR TENER MI BELLA HIJA. ¡Dios me la bendiga siempre!

## CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
LITERATURA REVISADA	3
La salinidad	3
Uso de las aguas salinas con fines agrícolas	4
Clasificación de las plantas con base en su respuesta a salinidad	6
Efecto de la salinidad en el suelo	7
Factores que favorecen el proceso de salinización	8
Efecto de la salinidad y el sodio sobre las plantas	8
Las glicófitas y halófitas	11
Las halófitas como recursos promisorios de suelos áridos salinos	11
<i>Salicornia bigelovii</i> , hábitat y desarrollo	12
Descripción de <i>Salicornia bigelovii</i>	12
Importancia agroindustrial	13
Los microorganismos en la naturaleza	13
Ciclos bioquímicos: ciclo del nitrógeno	14
El nitrógeno en las plantas	15
Bacterias promotoras de crecimiento vegetal	15
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	17
Estudios de inoculación de bacterias promotoras de crecimiento de plantas en semillas de otros cultivos	17
Hormonas sintetizadas por las bacterias promotoras de crecimiento en plantas	18
Auxinas	18
Giberelinas	19
Citocininas	19
Esquejes	19
Ácido Indolbutírico: hormona o regulador en el enraizamiento en esquejes	23
MATERIALES Y MÉTODOS	25
Área de estudio	25
Colecta de material vegetativo de <i>Salicornia bigelovii</i>	26
Selección y corte de las estacas	27
Sustrato	28
Preparación del inóculo de <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	28
Preparación del AIB	30
Diseño experimental	30
Variables respuesta	31
RESULTADOS Y DISCUSION	33
Longitud radicular final en esquejes de <i>Salicornia bigelovii</i> , con la inoculación de <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> y ácido indol butírico (AIB).	33
CONCLUSIONES	38
LITERATURA CITADA	39

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

	Pág.
<b>Cuadro 1</b> Los métodos de multiplicación vegetativa más habituales	22
<b>Cuadro 2</b> Tratamientos a base de la bacteria <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Ba) y Acido indolbutírico (AIB).	31
<b>Cuadro 3</b> Longitud radicular en esquejes de <i>Salicornia bigelovii</i> tratados con <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Ba) y el ácido indolbutírico (AIB).	35
<b>Cuadro 4</b> Peso fresco y seco de raíz de sistema radicular de esquejes de <i>Salicornia bigelovii</i> a los 180 días de tratamiento.	36
<b>Cuadro 5</b> Número y longitud de los nuevos brotes en esquejes de <i>Salicornia bigelovii</i> a los 180 días de tratamiento.	36
<b>Cuadro 6</b> Bacterias adheridas (UFC/mL) de <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> al sistema radicular de plántulas de <i>Salicornia bigelovii</i> a los 180 días de tratamiento	37
<b>Figura 1</b> Imagen panorámica del Departamento de Agricultura y Ganadería-DAG-Universidad de Sonora.	25
<b>Figura 2</b> Colecta de material vegetativo de <i>Salicornia bigelovii</i> (a) y traslado al Laboratorio de Salinidad (b) en el Departamento de agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora.	26
<b>Figura 3</b> Esquejes obtenidos de brotes surgidos en el 4° o 5° tallo lateral, de <i>Salicornia bigelovii</i> .	27
<b>Figura 4</b> Corte en forma de cruz en la base de los esquejes obtenidos de brotes, surgidos en el 4° o 5° tallo lateral, de <i>Salicornia bigelovii</i> .	28
<b>Figura 5</b> Preparación de bolsas de poliuretano a base de arena	29
<b>Figura 6</b> Ubicación de las macetas rellenas a base de arena, en el vivero de producción de plantas del Departamento de Agricultura y Ganadería.	29
<b>Figura 7</b> Preparación del inóculo.	30

## RESUMEN

El aprovechamiento de las halófitas representa una alternativa con potencial económico para la agricultura del desierto y zonas costeras; tal es el caso de la especie *Salicornia bigelovii*. Esta planta se encuentra bien adaptada y ampliamente distribuida en las costas del pacífico mexicano. A pesar de lo anterior, el éxito en el establecimiento de parcelas comerciales, en estas regiones, se ha visto limitado por los bajos porcentajes de germinación que presenta la especie. La propagación por esquejes representa una opción viable y rápida de solución a esta problemática. La formación de raíces funcionales es una etapa fundamental en la propagación por esquejes, lo cual se ha logrado mediante la aplicación de reguladores de crecimiento. Algunas bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), aparte de fijar nitrógeno atmosférico, pueden producir o actuar como inductores en la síntesis de fitohormonas (como AG, AIA y AIB). A la fecha no existen estudios acerca del efecto de las BPCV como inductoras del desarrollo de raíces en esquejes de *Salicornia bigelovii*. En base a lo anterior, en la presente investigación se evaluó el efecto de la inoculación de *Bacillus amyloliquefaciens* y la aplicación de ácido indolbutírico (AIB) como agentes promotores de raíces en esquejes de *Salicornia bigelovii*. Se aplicaron dos concentraciones celulares de la bacteria:  $1 \times 10^5$  y  $1 \times 10^8$  UFC/mL y dos concentraciones de AIB: 750 y 1000 ppm. Como variables respuesta se midieron: la longitud, el peso fresco y el peso seco total de la raíz; así como el número de células bacterianas adheridas al sistema radicular. Los resultados indican que existe una interacción entre la concentración de la bacteria y la concentración de AIB. El tratamiento más eficiente fue el de 750 ppm de AIB y  $1 \times 10^8$  UFC/mL. Estos resultados indican que es factible lograr la propagación de *Salicornia* mediante esquejes; no obstante, se recomienda ampliar el estudio considerando el uso de cámaras de ambiente controlado a fin de analizar el efecto de la temperatura, radiación y HR, además del uso de diferentes soluciones nutritivas, llevando las plantas hasta producción.

Palabras Clave: esqueje, brotación, *Salicornia*, halófitas, zonas áridas, AIB, BPCV.

## INTRODUCCIÓN

Los suelos salinos pueden ser mejorados mediante la siembra de cultivos tolerantes a sales como lo son las halófitas, que tienen un hábitat natural salino. Las halófitas son plantas que están altamente adaptadas para crecer en medios salinos que superan los 100 mM de NaCl.

*Salicornia bigelovii* es una halófito que se desarrolla en la costa del Pacífico de México; presenta una gama de ecotipos con variación fenotípica y un clima adecuado para su desarrollo, que se demuestra por su abundancia y distribución. Actualmente existe un marcado interés en su estudio con el fin implementar su cultivo en las regiones costeras áridas y semiáridas, debido a su potencial agroindustrial, principalmente en la producción de aceites vegetales, verdura para consumo humano y como forraje para consumo animal. Sin embargo, su cultivo presenta algunas desventajas, entre las que figura el bajo porcentaje de germinación.

Una alternativa de solución al bajo porcentaje de germinación, es la propagación por esquejes. Esta técnica consiste en separar una parte de una planta madre del tallo (raíz, hoja o tallo) y colocarla en condiciones ambientales favorables para inducir la formación de raíces y biomasa aérea, produciendo así una nueva planta independiente, que será genéticamente similar a la planta de la cual procede.

La importancia de la técnica de propagación por esquejes, radica en la posibilidad de obtener y manejar una gran cantidad de plantas, en un espacio limitado; además de que la planta progenitora suele multiplicarse con exactitud, sin una variación genética significativa.

No obstante, a pesar de que esta técnica proporciona una metodología rápida para la multiplicación masiva de plantas difíciles de germinar, su aplicación está limitada por la dificultad para formar raíces funcionales.

Ciertos reguladores de crecimiento vegetal han sido utilizados con éxito en la inducción de raíces en esquejes de diversas especies, principalmente leñosas, estimulando la división celular y la iniciación de raíces; compuestos tales como el ácido naftalenacético (ANA), ácido indolacético (AIA) y ácido indolbutírico (AIB), han resultado excepcionalmente activos como generadores de raíces, produciendo un rápido crecimiento de numerosas raíces cortas y gruesas. No obstante, la respuesta al producto depende ampliamente de la variedad, la concentración y del tiempo de aplicación.

Por otra parte, numerosas investigaciones han demostrado que algunas bacterias pueden estimular el crecimiento vegetal por su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fosfatos, producir sideróforos y producir o actuar como inductores en la síntesis de ciertas fitohormonas (por ejemplo AIA, AIB y/o Giberelinas). A estos microorganismos se les ha denominado: bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV).

Hasta la fecha, los estudios acerca de la interacción *Salicornia* con BPCV, han estado dirigidos principalmente a conocer sus efectos en algunas etapas fenológicas de la planta, principalmente en la germinación, estimulación de la floración e impactos en la proteína, así como en la calidad lipídica de las semillas.

En base a lo anterior y con la finalidad de enriquecer la información acerca de la interacción entre *Salicornia bigelovii* y *Bacillus amyloliquefaciens*, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la inoculación de la bacteria promotora de crecimiento *Bacillus amyloliquefaciens* y el ácido indolbutírico (AIB), en esquejes de *Salicornia bigelovii* en la inducción a la formación del sistema radicular de la planta. Basados en la siguiente hipótesis: la BPCV *Bacillus amyloliquefaciens* favorece el enraizamiento de esquejes de *Salicornia bigelovii*, en combinación con AIB.

## LITERATURA REVISADA

### La salinidad

Se estima que alrededor de un 30% de los terrenos irrigados en el mundo tienen problemas de salinidad. Todos los suelos contienen sales de varios tipos y en diferentes cantidades, ya que son esenciales para el crecimiento normal de las plantas. Sin embargo, los problemas surgen cuando se rebasan ciertos límites de concentración salina; de tal manera que se consideran suelos salinos, aquellos cuya acumulación de sales solubles ocasiona daños en el desarrollo de las plantas, calidad de cultivo o rendimiento. Es usual que los suelos del tipo salino, sódico y salino sódico aparezcan juntos en una zona salina, cada uno ocupando un sitio topográficamente divergente. Los suelos sódicos se forman en el centro de las cuencas mientras que los salinos se localizan más hacia su periferia. Allison *et al.* (1980), consideraron como suelos salinos a aquellos que contienen sales arriba del 0.1% del peso del suelo seco. El nivel crítico de salinidad para las plantas es de 0.5%.

Prasad y Power (1997), distinguen tres tipos de suelos salinos desde el punto de vista pedológico:

- 1) Solonchak primario: son suelos de regiones áridas y semiáridas en los que el desarrollo del perfil es pobre y son deficientes en materia orgánica.
- 2) Solonchak secundario: suelos con perfil desarrollado que son afectados por salinidad únicamente en una etapa tardía de su formación, este tipo de suelos puede estar sobrepuesto a cualquier tipo de suelos puede estar sobre puesto a cualquier tipo de suelo regional.
- 3) Solonchak oculto: aquellos suelos de las regiones áridas y semi-áridas en los que las sales se han acumulado en el subsuelo formando un horizonte típico de sal en el perfil. Los horizontes superiores de tales suelos están libres de sales.

Allison *et al.* (1980), indican que una clasificación de suelos con una aplicación práctica y basada en las propiedades químicas, es aquella que considera dos parámetros; la conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio intercambiable, generando 4 tipos de suelos:

- 1) Suelos normales: los que presentan conductividad eléctrica (CE) menor de 4 dS/m a 25°C y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) menor a 15.
- 2) Suelos salinos no sódicos: aquellos cuya CE del extracto de saturación es mayor de 4 dS/m a 25°C con un PSI menor de 15%. Generalmente la reacción del suelo es menor de 8.5. Las características químicas de los suelos salinos quedan determinadas principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes.
- 3) Suelos sódicos no salinos: aquellos cuyo PSI es mayor a 15 y la CE es menor de 4 dS/m a 25°C. El pH varía generalmente de 8.5 a 10.
- 4) Suelos salino-sódicos: que son aquellos cuya conductividad eléctrica es mayor de 4 dS/m a 25°C y el 15% de sodio intercambiable. Siempre que contenga un exceso de sales, su apariencia y propiedades son similares a los suelos salinos no sódicos.

### **Uso de las aguas salinas con fines agrícolas**

Moya (1998), afirma que en muchas de las zonas áridas del mundo existen grandes almacenamientos de agua que no se utilizan para riego debido a su alto contenido de sales. Estas aguas son capaces de producir la salinización del suelo, con los consiguientes efectos dañinos sobre el desarrollo de las plantas; sin embargo, es bueno mencionar que cualquiera que sea la fuente de agua para riego esta se obtienen con una cierta cantidad de sales solubles y sólo es cuestión de tiempo para que la salinidad se incremente a no ser que se tomen medidas preventivas, ya que el agua de riego no es otra cosa que una solución que cuando entra en contacto con el suelo y durante su paso, genera una serie de reacciones físico-químicas.

En el riego de cultivos, Moya (1998) basado en sus experiencias, afirma que mediante el riego con aguas salinas se incrementa la presión osmótica de la solución del suelo, pero no indefinidamente si se aplica un lavado durante el riego y se cuenta con lavado producido por las lluvias.

Gran parte de la salinización del suelo, se debe al proceso de evapotranspiración, ya que una parte importante del agua que se aplica como riego se pierde durante este proceso, quedando la mayor parte de las sales acumuladas a varias profundidades, lo que produce diferentes perfiles de la distribución, que dependen del contenido de sal del agua aplicada y la cantidad de agua extraída por las raíces de las plantas a las distintas profundidades. El propio Moya (1998), menciona que el daño causado a los cultivos por el caso de aguas salinas se debe a causas complejas, entre las que destacan las siguientes: 1) alta concentración de sales solubles; 2) naturaleza de las sales; 3) valores altos de la relación de absorción de sodio (RAS); 4) lluvia; 5) aplicación de una cantidad de agua insuficiente para efectuar el lavado y 6) relación de bicarbonato con respecto de calcio y magnesio.

Si bien hasta la fecha no se ha podido utilizar el agua de mar en cultivos convencionales, si se tienen datos de experimentos (Gleen *et al.*, 1979, 1980; Mota, 1980), donde se han regado algunas plantas halófitas de uso potencial, con agua de mar, sin que al parecer exista daño alguno sobre las plantas o los suelos; particularmente en éstos últimos se requieren nuevas investigaciones que definan si en zonas costeras donde los suelos presentan texturas arenosas no existen problemas de acumulación de sales, así como el drenaje natural de esos suelos ayuda a que no suba el nivel freático.

En la recuperación de suelo, De la Peña (s.f.), quien estudió el efecto de las sales solubles en el agua de riego, sobre el incremento de cationes, concluye que el intercambio de cationes en el suelo mediante el cual el  $\text{Ca}^{++}$  es reemplazado por el  $\text{Na}^+$ , no es significativo si el contenido de  $\text{Ca}^{++}$  en el agua es cercano al 35% o más del total de cationes y hasta determinado momento puede ser reversible.

Según Prasad y Power (1997), existe un consenso sobre la afectividad del uso de las aguas salinas como método de recuperación de suelos salino-sódicos, siempre y cuando haya una fuente de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , ya sea en el agua de riego o en el suelo. Es posible que bajo condiciones de sodicidad, la única fuente de cationes divalentes sean los carbonatos de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  insolubles y solo en la etapa final de desalinización, cuando el pH y las concentraciones de sodio se han reducido drásticamente por lavado, los valores bajos de  $\text{Ca}^{++}$

y  $Mg^{++}$  resultan suficientemente efectivos para inducir un valor de RAS pequeño y alcanzar su correspondiente equilibrio con un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) menor de 15%; que es el valor que se reporta como límite, en el cual, el sodio intercambiable pueda afectar el desarrollo de las plantas (De la Peña, s.f.).

### **Clasificación de las plantas con base en su respuesta a salinidad**

Más de las cuatro quintas partes de la superficie del planeta están cubiertas con una solución salina, que contiene entre otros componentes, aproximadamente 0.5 M de NaCl. Sólo unos cuantos grupos de plantas superiores pueden soportar tales condiciones; la mayoría de las especies terrestres están incapacitadas para tolerar aún la décima parte de la concentración salina del océano sin sufrir serios trastornos en su balance de agua, nutrientes o metabolismo (Prasad y Power, 1997).

Hasta principios del siglo XIX el nombre “halófito” fue dado a conocer para ese grupo de plantas tolerantes a la salinidad. Se define como planta halófito o planta salina a aquella que crece y completa su ciclo de vida en hábitats con un alto contenido de sales. Plantas que comúnmente ocupan dichos nichos ecológicos no salinos y aparecen en áreas salinas por períodos cortos se les llama pseudohalófitas o falsas halófitas (Squires, 1994).

Una de las primeras clasificaciones de plantas de hábitats salinos, las divide en tres grupos: 1) acuática-halinas; 2) terrestre-halinas y 3) aero-halinas. A su vez el segundo grupo se subdivide en: a) higrohalinas, b) mesohalinas y c) xeroalinas; y el tercer grupo en a) plantas de hábitats afectados por brisa marina y b) plantas afectadas por polvo de sales (Squires, 1994).

Graetz (1995), indica otra clasificación basándose en el contenido salino del hábitat: 1) oligohalino, al hábitat que contiene de 0.01 a 0.1% de NaCl; 2) mesohalino, aquel que contiene de 0.1 a 1.0% de NaCl. Las plantas toman el nombre del hábitat donde más frecuentemente aparecen.

Tomando en consideración el límite de salinidad propuesto de 0.5% de NaCl, Allison *et al.* (1980), clasifican a las halófitas como: 1) Miohalófitas a las plantas que crecen en hábitats de baja salinidad (menos de 0.5% de NaCl) y 2) Euhalófitas a las plantas que crecen en hábitats con alta concentración salina. Las Euhalófitas fueron divididas en tres categorías: a) Mesohalófitas a las plantas que crecen en hábitats con un rango de salinidad de 0.5 a 1.0%; b) mesoeuhalófitas a las que crecen en hábitats con un rango de salinidad que va desde 0.5% a más; c) euhalófitas a las plantas que crecen en hábitats con un mínimo de salinidad de 1% (Allison *et al.*, 1980).

### **Efecto de la salinidad en el suelo**

La composición y concentración del agua de riego puede producir cambios significativos en la composición de la solución del suelo; esto a su vez afecta la composición de la fase adsorbida, produciendo cambios en la geometría de los poros, debido a la expansión y dispersión de las arcillas, dando como consecuencia una disminución en la conductividad hidráulica (Graetz, 1995).

Para el caso de la arcilla saturada con  $\text{Na}^+$ , la presión de expansión es función del contenido de humedad y cada cristal de arcilla se comporta como una unidad simple e independiente. Medina (1996), cuando aplicó  $\text{Ca}^{++}$  encontró que apareció una estructura en paquetes, formados por varias unidades cristalinas; de esta manera en el sistema arcilla- $\text{Ca}^{++}$  se reduce a la superficie activa interactuante, disminuyéndose la expansión a una escala macroscópica. También se ha demostrado que la expansión del sistema arcilla- $\text{Ca}^{++}$  no es afectado por la adición de una pequeña cantidad de  $\text{Na}^+$  intercambiable y que su efecto no alcanza a perjudicar la conductividad de las arcillas a bajos porcentajes de sodio en la doble capa difusa. La dispersión de las partículas de arcilla es otra causa de la reducción en la conductividad hidráulica, debido a que al producirse un desarreglo hay bloqueo de poros a través de los cuales se produce el flujo (Medina, 1996).

La permeabilidad de un suelo, en equilibrio con el agua de riego de una determinada calidad, está determinada por la concentración de los electrolitos o por los cationes intercambiables en el complejo. Esto fue establecido por Medina (1996), quien trabajó con

sistemas homoiónicos, usando muestras saturadas de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , encontrando que en los suelos saturados con  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  no se presentó cambio alguno.

### **Factores que favorecen el proceso de salinización**

Medina (1996), indica que el proceso de salinización de un suelo está condicionado por: a) Aguas de mala calidad. El uso de aguas salinas apresura el proceso de sales disueltas, máxime cuando los riegos se aplican sin las correspondientes láminas de riego de sobre-riego o excedentes que sirven para arrastrar a través del perfil las sales fuera del área donde se desarrolla el sistema radicular. b) Mal drenaje. Si la permeabilidad es baja por causa de las arcillas finas y/o capas cementadas con carbonatos de calcio o sílice, facilitan la formación de mantos freáticos elevados. c) Aguas freáticas superficiales. Cuando estas aguas son estáticas y con altos contenidos salinos se favorece el proceso de salinización con el ascenso capilar de las sales. Este proceso es más rápido en zonas de climas áridos donde la evaporación es intensa y las precipitaciones bajas. d) El clima: La alta evaporación y bajas precipitaciones, evitan el lavado natural de las sales. e) Topografía. Las topografías accidentales y la evaporación geológicas y edafológica facilita la formación de acuíferos y represamientos superficiales que incrementan el proceso de salinización.

### **Efecto de la salinidad y el sodio sobre las plantas**

Desde el punto de vista de la productividad, la salinidad del suelo resulta un problema indeseable, sin embargo la salinidad no es incompatible con la vida de las plantas. Rodríguez (1996), encontró que muchos cultivos importantes para la agricultura presentan cierta respuesta a condiciones de salinidad debidas a NaCl, resultando casi imposible predeterminedar los efectos de las altas concentraciones sobre las plantas cultivadas. Se observó que la tolerancia a sales y el ajuste osmótico a medios salinos tienden a ocurrir en una gran variedad de plantas, tanto en halófitas como en glicófitas. Sin embargo, estas dos clases de plantas responden en forma diferente cuando están sujetas a condiciones de salinidad.

La salinidad tiene la facultad de limitar el desarrollo de las plantas en su anatomía y morfología, lo cual se manifiesta por una reducción en su talla y en la producción de materia

seca. Concentraciones cercanas a 50 Mm de NaCl inhiben el crecimiento de plantas glicófitas y mayores concentraciones retardan el crecimiento en halófitas (Rodríguez, 1996).

Con el fin de explicar los fenómenos de la salinidad sobre el desarrollo de las plantas cultivadas, han sido propuestos diferentes modelos de los cuales los más sobresalientes son los tres siguientes:

Modelo de la “aprovechabilidad” del agua: De acuerdo a este modelo, las sales solubles en los suelos disminuyen la energía libre del agua del suelo disminuyendo a su vez la aprovechabilidad del agua para las plantas afectando el crecimiento de las mismas. Esto originó que formulara su “teoría de la sequía fisiológica” la cual postula que bajo condiciones salinas las plantas sufren deshidratación. En suelos salinos y sódicos, la concentración de solutos es alta y consecuentemente el potencial osmótico es alto; por lo tanto es necesario realizar más trabajo para extraer el agua del suelo, esto es, la disponibilidad de agua para las plantas o en otras palabras el potencial del agua es bajo. Las diferencias en el potencial de agua son las que dan como consecuencia el movimiento de ésta en un sistema; de este modo, para inducir un gradiente orientado hacia el interior de la planta en el potencial de agua y extraerla del medio ambiente, las plantas tienen que mantener un potencial de agua en sus tejidos a un nivel más bajo que el del medio. De acuerdo al modelo anterior, una planta en condiciones de salinidad no puede realizar esto y por eso se deshidrata y muere (Rodríguez, 1996).

Modelo de la inhibición osmótica o ajuste osmótico: Este modelo establece que las plantas tienen que ajustar su contenido de solutos hasta lograr una diferencia de presión osmótica favorable entre las células de la planta y el medio en que se están desarrollando. Es precisamente el mantener dichas diferencias, lo que trae como consecuencia el gasto de energía por las plantas dando como resultado una disminución en su desarrollo, se le llamo “mecanismo de ajuste osmótico de la planta”, sugiriendo que la tolerancia a las sales se puede definir como el grado al cual el ajuste osmótico puede hacerse sin sacrificar el desarrollo. La adaptación de las glicófitas a presiones osmóticas debidas al NaCl. El peso fresco de follaje y la raíz de algodón se redujo cuando se incrementaron los niveles de NaCl en la solución de

cultivo. Aunado a esto, las hojas y tallo mostraron un descenso en el potencial osmótico lo que indicó que las concentraciones salinas habían aumentado. En contraste a lo anterior, al examinar el valor de la fotosíntesis en algunas halófitas terrestres encontró que las plantas mantienen un alto valor de fotosíntesis siempre y cuando el agua no fuera limitante. El mantenimiento de este nivel fotosintético bajo condiciones de alta salinidad puede explicar cómo las halófitas mantienen un adecuado crecimiento de condiciones desfavorables (Fernández y Johnston, 1986). Mizrachi (1970) y Evans (1978) encontraron que la diferencia de agua en las hojas trae como consecuencia una rápida acumulación de ácido abscísico, el cual a su vez reduce la transpiración, ya que causa que los estomas se cierren. Esto apoyó más la conclusión a que había llegado en el sentido de que la citoquina se redujo con el aumento en la concentración salina del medio, lo que también trajo como consecuencia el cierre estomático.

Modelo de la toxicidad específica. Este modelo sostiene que la salinidad ejerce un detrimento sobre el desarrollo de las plantas a través de la toxicidad de uno o más iones presentes en concentraciones elevadas, lo que ocasiona, cambios de actividad metabólica. El exceso de iones puede afectar la fisiología de las plantas en las siguientes formas: 1) actuando como metabolito; 2) fijando o precipitando los metabolitos; 3) catalizando la descomposición de elementos esenciales; 4) afectando la permeabilidad de la membrana y 5) reemplazando elementos esenciales, evitando así que completen su función.

La tolerancia a condiciones de salinidad puede conseguirse en glicófitas y halófitas a través de un alto grado de selectividad en la absorción de iones. La absorción selectiva de iones puede limitar el nivel de iones tóxicos en la planta, ya que pequeños aumentos de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  parecen obstruir el crecimiento adecuado. Los incrementos de  $\text{K}^+$  en la solución de cultivo, pueden disminuir la absorción de  $\text{Na}^+$  por las plantas manteniendo por tanto un crecimiento adecuado en contraste con plantas cultivadas bajo condiciones salinas que muestran un alto contenido de  $\text{Na}^+$  debido a un nivel reducido de  $\text{K}^+$  (Aguilera y Martínez, 1996).

### **Las glicófitas y halófitas**

Las plantas han evolucionado en un medio terrestre desprovisto de grandes concentraciones de sal: es por esto que las plantas rechazan cualquier entorno salino. La sal de la tierra pasaría de la raíz de la planta a las hojas. Pero la sal no se evapora como si lo hace el agua en el proceso de transpiración (evaporación) que realizan habitualmente. Es por esto que la sal acaba acumulándose en las hojas y cristalizando en cristales de cloruro de sodio. La sal acaba concentrándose, por tanto, en raíces y hojas y provocando la muerte de la planta. El sodio resulta altamente tóxico para el citoplasma de la planta. La vacuola del citoplasma es el compartimento donde se acumulan las reservas y los desechos generados. Es aquí donde se acumularían los restos de sodio, pudiendo tolerar una cantidad limitada de sal de la que llega a las hojas, por otra parte se encuentran las plantas "halófitas" que distribuyen el sodio del suelo por toda la planta y que soportan importantes concentraciones de sal en su cuerpo. La distribución de sal se realiza por raíz, tallo y hojas y acumulan la mayor parte de ella en sus vacuolas. Las plantas halófitas si soportan la sal y pueden incluso ser regadas con agua marina, siendo esta función la que diferencia a las halófitas (especies tolerantes a la salinidad) de las glicófitas (plantas sensibles a la salinidad), (Donahue *et al.*, 1981; López, 1995; Daubenmire, 1999).

### **Las halófitas como recursos promisorios de suelos áridos salinos**

Las halófitas son plantas que se desarrollan en hábitats salinos, donde debido a sus propiedades fisiológicas pueden absorber y mantener grandes cantidades de sales a una concentración de 0.01 S/cm = una parte por mil, mediante el proceso de regulación osmótica y el almacenamiento de sales en sus tejidos (Greenway y Munns, 1980). Otra vía de tolerancia a las sales de las halófitas es mediante el control, al nivel radicular, del paso de iones de sodio, mientras que en las glicófitas la toxicidad de los iones, cuando están presentes en la solución de suelo, no puede ser mitigada debido a que el sodio en especial antagoniza al potasio e inhibe numerosos procesos fisiológicos. En algunas halófitas, existen procesos fisiológicos como el de filtración a nivel radicular, o exclusión de iones sodio, a nivel foliar por medio de sistemas especializados (glándulas de excreción) y adicionalmente, el secuestro de iones tóxicos a nivel vacuolar (Mass y Grieve, 1990).

### ***Salicornia bigelovii*, hábitat y desarrollo**

*Salicornia bigelovii* Torr. es una planta halófila que pertenece a la familia Chenopodiaceae (Scout, 1977 citado por Moreno, 2001). Esta especie emergió como un cultivo potencial después de una selección de una gran cantidad de especies halófitas llevada a cabo en el Laboratorio de Investigaciones del Medio Ambiente de la Universidad de Arizona. La mayor parte de los trabajos se realizaron en Puerto Peñasco y Bahía de Kino, en Sonora (Glenn *et al.*, 1991).

Estudios relacionados con su distribución indican que *Salicornia bigelovii* comúnmente se desarrolla en las costas y hábitat salinos, marismas de Europa, África y Norte de América. Asimismo, indican que se le encuentra más allá de la marisma principal (zona intermareal inferior) de Europa, mientras que en América del Norte se encuentra distribuida en la zona superior de intermareas (Yensen *et al.*, 1980; Yensen, 2001).

En México, es común que se desarrolle a lo largo de las costas del Golfo de México, en hábitat sujetos a inundaciones periódicas debidas al ciclo de mareas (CICESE, 2000). Jones (1998), menciona que *Salicornia bigelovii* puede tolerar salinidades mayores de 35000 ppm, que es la del agua de mar (Yensen *et al.*, 1980).

### **Descripción de *Salicornia bigelovii***

Se conoce como una hierba erecta anual, de 10-50 cm de altura, con la mayoría de las ramificaciones por arriba del tallo principal, “como candelabro”; tallos unidos (de 1-2.5 cm de largo por 2-3 mm de grueso) con el tallo principal simple y con ramas laterales opuestas; hojas opuestas y reducidas a una escama muy corta, ancha, triangular, redondeada “con una punta mucronada (abruptamente puntiaguda); flores perfectas, en racimos de tres y sobre espigas cilíndricas de 2-10 cm de largo por 4-6 mm de grueso, florece de julio a noviembre; el fruto es una semilla angular pubescente (peluda) de 1-1.5 mm de largo (Muñiz, 1974; Wiggins, 1980; Glenn *et al.*, 1991; Gallawa 1996; Yensen, 2001). *Salicornia bigelovii* es una planta anual, con hojas no aparentes fusionadas a los suculentos tallos verdes que en la parte Terminal formando la espiga donde se encuentran las semillas (Gleen *et al.*, 1980).

### **Importancia agroindustrial**

*Salicornia bigelovii* es una planta de gran interés, ya que se le ha encontrado un promisorio potencial agroindustrial y económico (Mota, 1980). La importancia agroindustrial de la misma, reside en su capacidad de producción de forrajes, aceites vegetales y alimentos para consumo humano esencialmente ensaladas y harinas. Las semillas son relativamente nutritivas y son altas en contenido de aceite y proteína, pero deben procesarse para extraer las saponinas que le dan el sabor amargo, las cuales son solubles al aceite. Las semillas molidas en rodillos producen un triturado relativamente libre de aceite y alto en proteína que puede usarse como concentrado en la alimentación animal (Yensen, 2001); los brotes jóvenes de *Salicornia* cuando tienen menos de un par de pulgadas de alto (5 cm), pueden usarse para aderezar ensaladas. Las plántulas más grandes, pueden ser freídas revolviéndolas y sumergiéndolas en mantequilla derretida con jugo de limón. Éstas son comidas estirándolas entre los dientes, dado que el centro es fibroso. Cuando los brotes alcanzan de 3-4 pulgadas (8-10 cm) se tornan amargas.

### **Los microorganismos en la naturaleza**

Los hábitats naturales de los microorganismos son extremadamente diversos. Cualquier hábitat que sea adecuado para el crecimiento de organismos superiores, también lo es para el crecimiento de microorganismos. Pero, además, hay muchos hábitats donde, debido a las extremas condiciones físicas o químicas, no se encuentran organismos superiores; sin embargo, en ellos pueden existir microorganismos que, en algunos casos, incluso crecen mejor allí. Los microorganismos habitan las superficies de organismos superiores y algunos pueden incluso vivir en el interior de plantas y animales. En dichos hábitats sus poblaciones pueden ser muy numerosas y ser muy beneficiosas para la planta o el animal en relación a su nutrición (Madigan *et al.*, 1999).

Las bacterias tienen una función esencial en la biosfera como descomponedores, que degradan moléculas orgánicas en sus componentes. Junto con los hongos, son los recicladores de la naturaleza. Sin estos microorganismos, todo el carbono, nitrógeno, fósforo y azufre disponibles se agotarían, pues quedarían atrapados en los restos de plantas y

animales muertos. La vida pronto dejaría de existir debido a la falta de materias primas para la síntesis de nuevos componentes celulares. Las bacterias viven en películas de agua sobre los constituyentes del suelo, alrededor de su superficie se ubican iones producto de su metabolismo y del intercambio iónico con partículas del medio. Del suelo seleccionan además componentes de la materia orgánica para sintetizar su propio protoplasma. En general las bacterias contribuyen a la fertilidad del suelo porque convierten componentes insolubles en solubles-asimilables, que liberan como sustancias orgánicas e inorgánicas (López, 1992).

### **Ciclos bioquímicos: ciclo del nitrógeno**

El nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ), que constituye el 79% de los gases de la atmósfera, es un reservorio importante ( $3.8 \times 10^{15}$  toneladas) de dicho elemento de incorporación lenta y difícil (Atlas y Bartha, 2002). Varias de las reacciones clave de óxido-reducción del nitrógeno que tienen lugar en la naturaleza, las llevan a cabo casi exclusivamente microorganismos, por lo que la participación de estos, en el ciclo del nitrógeno es de gran importancia. Desde el punto de vista de la termodinámica, el nitrógeno gaseoso, es la forma más estable de este elemento, y a la que revierte el nitrógeno en condiciones de equilibrio. Esto explica que el reservorio más importante de nitrógeno de la Tierra sea la atmósfera (Madigan *et al.*, 1999).

Las bacterias son importantes también en la agricultura al fijar nitrógeno. En este proceso, cambian el nitrógeno atmosférico a una forma que puede ser asimilada por las plantas y animales (debido a que estos últimos consumen plantas), producir compuestos esenciales, como proteínas y ácidos nucleicos (Solomon *et al.*, 1998). El nitrógeno puede participar en los sistemas biológicos sólo cuando ha sido “fijado”, es decir, cuando se combina con el hidrogeno y el oxígeno, capacidad que en la naturaleza encontramos únicamente en unas cuantas bacterias (Ondarza, 2000).

Las proteínas vegetales pueden seguir uno de dos caminos desde el punto de vista metabólico: transformarse en proteínas animales o, al morir el vegetal, transformarse en compuestos de amonio y otros productos de desecho no nitrogenados. Siguiendo el camino de las proteínas animales, éstas se transforman en urea, amoniaco o ácido úrico, sobre los cuales actúan las nitritobacterias o las bacterias putrificantes para producir nitratos o

nitrógeno molecular con los que, finalmente, se reinicia el ciclo. Al morir el animal, actúan las bacterias putrificantes que producen amonio. En el otro caso, de los vegetales muertos, los compuestos de amonio son atacados por otras bacterias que producen nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ), si son del tipo desnitrificante, o nitratos si actúan las nitrobacterias. Dentro del ciclo del nitrógeno es muy importante la participación de las bacterias (González y Medina, 1995).

### **El nitrógeno en las plantas**

Las necesidades de nitrógeno por parte de las plantas son muy elevadas. El nitrógeno se usa para la formación de aminoácidos esenciales que forman parte de las proteínas necesarias para la planta, así como para formar enzimas o complejos enzimáticos que van a dar lugar a una gran cantidad de procesos esenciales para la vida. Por otra parte el nitrógeno es fundamental para formar las ligninas, que aparecen en las células adultas de las plantas leñosas. También forman parte de las auxinas que son las hormonas encargadas de estimular el desarrollo de las yemas y los brotes florales. Existen ciertas bacterias y hongos capaces de transformar nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral fácilmente utilizable por las plantas (Carretero *et al.*, 2002).

Por otra parte, a pesar de que las plantas toman la mayoría de nutrientes directamente del suelo o de la atmósfera, para obtener otros nutrientes necesitan ayuda, especialmente en el caso del nitrógeno. La fuente principal de nitrógeno es el nitrógeno gas ( $N_2$ ) y otros compuestos del nitrógeno presentes en la atmósfera. Las plantas no pueden obtener nitrógeno gaseoso directamente de la atmósfera; primero debe fijarse en una forma que sea asimilable.

Esta tarea la llevan a cabo unos grupos específicos de bacterias, tanto en ambientes terrestres como acuáticos (Smith y Smith, 2000).

### **Bacterias promotoras de crecimiento vegetal**

En años recientes, se ha retomado el interés de utilizar bacterias promotoras de crecimiento en la producción de cultivos. Estas bacterias se han aplicado a semillas, tubérculos o raíz, y son capaces de colonizar las raíces de las plantas y estimular el

crecimiento y rendimiento de cultivos. Se conoce un gran número de especies bacterianas de vida libre o asociativa, que fijan  $N_2$ , pero sólo algunas destacan por su potencial como biofertilizantes o promotoras de crecimiento. Entre los géneros más conocidos están *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia* y *Azospirillum*. Los microorganismos con efecto benéfico en las plantas pueden tener un potencial considerable como agentes biocontroladores y biofertilizantes. Se distinguen tres grandes grupos: a) microorganismos fijadores de nitrógeno, b) hongos micorrízicos y c) bacterias promotoras de crecimiento. Este último grupo de bacterias es conocido como (Bacterias promotoras de crecimiento de plantas) fue definido como bacterias habitantes de la raíz que estimulan significativamente el crecimiento de plantas (Kloepper *et al.*, 1992; Jiménez *et al.*, 2001).

En cuanto al efecto positivo sobre el crecimiento por las plantas, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), pueden actuar de manera directa o indirecta:

- 1) Mecanismos directos. Ocurren cuando los metabolitos producidos por algunas cepas de las bacterias son utilizadas como reguladores de crecimiento o precursores de estos por parte de la planta.
- 2) Mecanismos indirectos: los metabolitos producidos de las BPCV pueden funcionar como determinantes antagónicos, involucran aspectos de control biológico, suprimen o inhiben el crecimiento de microorganismos perjudiciales para el desarrollo de la planta, vía de producción de sideróforos, antibióticos, acción de enzimas líticas (glucanasas y quitinasas) o inducción de mecanismos resistencia.

La conjugación de ambos mecanismos de acción ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento de plantas; se ha observado un incremento en la emergencia, el vigor y el peso de plántulas, un mayor desarrollo en sistemas radiculares y un incremento hasta de 30% en la producción de algunos cultivos de interés comercial (Kloepper *et al.*, 1992; Jiménez *et al.*, 2001).

### ***Bacillus amyloliquefaciens***

*Bacillus amyloliquefaciens* es una bacteria que presenta amplia distribución en la rizósfera de varios pastos tropicales, silvestres y cultivados, cereales y leguminosas, en suelos tropicales, subtropicales y templados de todo el mundo. Estos microorganismos pueden encontrarse en la filósfera o en la rizósfera y se caracterizan por adherirse a la superficie de raíz y no formar nódulos (Hartmann y Zimmer, 2000; Fallik *et al.*, 2000).

Las bacterias del género *B. amyloliquefaciens* poseen la capacidad de fijar N<sub>2</sub> atmosférico, lo cual proporciona a las plantas nitrógeno asimilable y de promover la liberación de hormonas, como ácido indolacético (AIA) y auxinas, lo que da como resultado una estimulación para la ramificación de las raíces y desarrollo de pelos radiculares (33-40%), adicionales. Además, se ha sugerido que están involucradas en una mejor absorción de minerales y agua por parte de la planta lo que contribuye al crecimiento y aumento del rendimiento de las plantas (Kapulnik *et al.*, 1981; Khammas *et al.*, 1989; Bashan y Holguin, 1997 y Hartmann y Zimmer, 2000), y es por lo anterior que es considerada como una bacteria promotora del crecimiento de plantas.

### **Estudios de inoculación de BPCV en semillas de otros cultivos**

El uso de inoculantes incluye la selección y multiplicación de microorganismos benéficos para las plantas, tanto de aquellos que protegen a la planta contra el ataque de patógenos, plagas y malezas, como de aquellos que le proporcionan nutrimentos. Los promotores de crecimiento vegetal, pueden tener un potencial considerable como agentes de biocontrol y biofertilizantes, y que producen hormonas de crecimiento que pueden aprovechar las plantas (Bashan *et al.*, 2002).

Estudios relacionado con la inoculación en semillas de lechuga, indican que de 30 cepas inoculadas, 76.6% incrementaron la germinación, 10% no tuvieron efecto y el 13.3% la redujeron. Las cepas que mostraron efectos benéficos en la germinación fueron *Hafnia alves* (P-3, P-25, P-27) con 57.4% superior al testigo. Al respecto, Chanway *et al.* (1989) evaluaron el efecto de la inoculación con nueve cepas de bacterias de los géneros *Pseudomonas* sp. y *Serratia* sp. en dos especies de leguminosas y encontraron efectos positivos ( $\alpha=0.05$ ) en la

germinación de lenteja (*Lens esculenta*) causados por la inoculación de las cepas, con incrementos de hasta 38.9% con la mejor cepa en comparación con el testigo (sin inocular); no así en el cultivo de chícharo (*Pisum sativum*), en el cual no detectaron efectos significativos; datos similares a los encontrados por Díaz *et al.* (2001).

### **Hormonas sintetizadas por las bacterias promotoras de crecimiento en plantas**

Entre las fitohormonas que han sido caracterizadas en la interacción de plantas y microorganismos figuran las auxinas, citocininas y giberelinas, ya que han exhibido propiedades fuertes de regulación del crecimiento en plantas y cada uno con su estructura particular y activos a muy bajas concentraciones dentro de la planta (Lira, 2003). Entre los principales grupos de hormonas vegetales se citan las siguientes:

#### **Auxinas**

La auxina mejor conocida es el ácido indolacético. Determina el crecimiento de la planta y favorece la maduración del fruto. La manera en que las auxinas hacen crecer a la planta es por medio del aumento del volumen celular provocado por absorción de agua. Aunque la auxina se encuentra en toda la planta, las más altas concentraciones se localizan en las regiones meristemáticas en crecimiento activo. Se le encuentra tanto como molécula libre o en formas conjugadas inactivas. Cuando se encuentran 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. La auxina es transportada por medio de un mecanismo dependiente de energía, alejándose en forma basipétala desde el punto apical de la planta hacia su base (Fernández y Johnston, 1986; Lira, 2003). Las auxinas actúan también en el alargamiento celular y la curvatura de los tallos hacia la luz, con el estímulo luminoso, la auxina se desplaza hacia el lado oscuro del tallo, con lo que aumenta la concentración de la hormona en ese lado. En estas células, la mayor concentración de auxina estimula el transporte de  $H^+$  del citoplasma a la pared celular. La acidez que se origina activa una enzima de la pared celular que rompe los enlaces puente entre las moléculas de celulosa, con lo que la plasticidad de la pared se ve aumentada. El agua que entra por ósmosis

en la vacuola celular hace aumentar la turgencia y la célula se alarga. Las células situadas en el lado iluminado no se alargan y, como resultado, el brote se curva hacia la luz (Lira, 2003).

### **Giberelinas**

Determinan el crecimiento excesivo del tallo e inducen la germinación de la semilla. El ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) fue la primera de esta clase de hormonas en ser descubierta. Las giberelinas son sintetizadas en los primordios apicales de las hojas, en puntas de las raíces y en semillas en desarrollo. La hormona no muestra el mismo transporte fuertemente polarizado como el observado para la auxina, aunque en algunas especies existe un movimiento basipétalo en el tallo. Su principal función es incrementar la mitosis o tasa de división celular (Lira, 2003).

### **Citocininas**

Incrementan el ritmo de crecimiento celular y transforman unas células vegetales en otras. Las citocininas son hormonas vegetales naturales que estimulan la división celular en tejidos no meristemáticos. Inicialmente fueron llamadas quininas, sin embargo, 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). Son producidas en las zonas de crecimiento, como los meristemas en la punta de las raíces. Este tipo de bacterias, pueden utilizarse de varias maneras, como un sustituto parcial de la fertilización química. La inoculación con bacterias en plantas cultivadas en el campo, han dado incrementos en el rendimiento total que varían del 10 al 30%. Algunos trabajos reportan valores extremadamente altos, 50-270% sobre plantas controles no inoculadas (Lira, 2003).

### **Esquejes**

El esqueje es un tipo de propagación (no reproducción) asexual (Mangiarua, 2008), el cual consiste en separar de la planta madre una porción de tallo, raíz u hoja que posteriormente se coloca en determinadas condiciones favorables que inducen a la formación de raíces, obteniéndose un nueva planta independiente que en la mayoría de los casos es idéntica a la planta madre.

Vozmediano (1982), indica que existen tipos de esquejes (Cuadro 1), según la parte de la planta de que proceden, se clasifican en: a) esquejes caulinares con yemas, que necesitan únicamente un nuevo sistema radicular, dado que su sistema aéreo está potencialmente presente en la yema. Según la naturaleza de la madera, los esquejes caulinares se subdividen en: leñosas, semileñosas o herbáceas, b) esquejes de raíz que deben dar lugar a una nueva copa a partir de una yema adventicia y c) esquejes de hojas que deben formar tanto un nuevo aparato radicular como aéreo.

La propagación por estacas consiste en cortar brotes, ramas o raíces de la planta, las cuales se colocan en una cama enraizadora, con el fin de lograr la emisión de raíces y brotación de la parte aérea, hasta obtener una nueva planta. No todas las partes vegetativas de la planta sirven para estacas, las de fácil enraizamiento se obtienen de las ramas tiernas. La emisión de raíces en plantas que no tienen esta facultad o que el brote de raíces es deficiente, se puede inducir con el uso de productos hormonales.

Las condiciones ambientales son factores importantes que se deben considerar y controlar. El buen desarrollo de los esquejes tiene que ver con los siguientes factores: agua, aire, temperatura luz y el suelo. a) Agua; es un requerimiento básico ya que ayuda a la planta a mantener su turgencia y al transporte de los nutrientes a través del xilema de la planta. La humedad requerida en el sustrato para lograr el enraizamiento del esqueje depende de la capacidad de la especie para absorber el agua y de las características físicas que ésta posea. Altos niveles de humedad pueden inhibir la formación de raíces, ya que la humedad se estanca y, por lo tanto, la disponibilidad de oxígeno se reduce, produciendo pudrición. Agua con alta concentración de sales ocasiona toxicidad y muerte del esqueje. b) Aire; el oxígeno también es importante para el buen funcionamiento de la raíz, al igual que el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ya que este último activa los nutrientes del suelo y regula el potencial de hidrogeno (pH) por medio del ácido carbónico que se forma al reaccionar el  $\text{CO}_2$  con el agua. c) Temperatura; la formación de raíces es un proceso complejo que involucra la participación de diferentes procesos bioquímicos. La condición óptima de temperatura, se define como aquella que el desarrollo de raíces se lleva a cabo en un corto período de tiempo. La respuesta

a la temperatura depende de las especies, variedades y sustratos y varía entre 15 y 30 °C, y se reduce el tiempo de ésta, siendo los límites máximos entre 32 y 40 °C. d) Luz; la intensidad y calidad de luz influyen en el desarrollo del esqueje por el proceso llamado fotosíntesis, para lograr que el desarrollo de la planta y las raíces sea más rápido. e) Suelo o sustrato; es el medio de soporte para el desarrollo del esqueje libre de cualquier patógeno. Durante el crecimiento de la raíz provee de humedad, nutrientes y un adecuado intercambio de aire. Asimismo, permite el acondicionamiento del esqueje hasta la formación de una planta para su trasplante.

### **Cuadro 1.** Los métodos de multiplicación vegetativa más habituales

---

Estacas o esquejes	<p>Una estaca en un fragmento de tallo con yemas (o esqueje) de consistencia leñosa que se separa de un árbol o de un arbusto y se introduce en el suelo o en un sustrato para que arraigue en él y forme una nueva planta. Se trata de una clonación: la estaca es genéticamente idéntica a la planta madre. Las estacas o esquejes se dividen en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Esqueje leñoso o estaca</li> <li>➤ Esqueje herbáceo, por ejemplo: rosales, azaleas</li> <li>➤ Esquejes de hoja</li> </ul>
Acodos	<p>Consiste en provocar la emisión de raíces de un vegetal y posteriormente separar un fragmento de este las nuevas raíces emitidas, convirtiéndose en una nueva planta.</p>
División	<p>Este método se lleva a cabo en aquellas plantas que de modo natural emiten proliferación con brotes y raíces, separando estas, las cuales constituirán nuevas plantas.</p>
Injertos	<p>Es un caso mixto en que una parte obtenida mediante semilla (patrón) proporciona raíces, mediante que un fragmento separado de otra planta, unido al anterior, proporcionara la parte aérea (injerto).</p> <p>Los tipos de injertos son varios, el método de propagación aconsejable dependerá del tipo de planta y la época en que se realice y son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Injerto de aproximación. Se emplea en árboles que son difíciles de injertar por otros de los sistemas</li> <li>➤ Injerto de hendidura. Es de las más empleadas tanto en arboles perenes como caducifolios</li> <li>➤ Injerto a la inglesa. Este tipo de injerto tanto el patrón como el injerto tienen los diámetros iguales o muy aproximados</li> <li>➤ Injerto a la plancha. Se usa en árboles y arbustos ornamentales espacialmente los de hoja perene</li> <li>➤ Injerto de yema. El injerto de yema en T o de escudete es el más utilizado para producir árboles frutales. Se injertan yemas de variedades de árboles sobre patrones obtenidos de semilla (principalmente) o bien, patrones obtenidos de estacas.</li> </ul>
Cultivo <i>in vitro</i>	<p>Mediante técnicas especializadas de laboratorio se obtienen nuevas plantas de unas pocas células de meristemas</p>

---

Fuente: Vázquez-Yanes *et al.* (1997).

### **Ácido Indolbutírico: hormona o regulador en el enraizamiento en esquejes**

El ácido indol-3-butírico, también llamado ácido indolbutírico o ácido 1H-indol-3-butanoico (AIB), es un compuesto natural, sólido cristalino en condiciones estándar de presión y temperatura (25 °C y 1 atm), de color blanco a amarillo claro, de fórmula molecular  $C_{12}H_{13}NO_2$ . A presión atmosférica se funde a 125 °C, y se descompone antes de la ebullición. Se le considera un regulador del crecimiento vegetal y corresponde a la familia de las auxinas, donde forma parte de muchos productos comerciales utilizados para facilitar el enraizamiento de estacas de especies hortícolas y frutales (Epstein y Ludwig-Müller, 1993).

Inicialmente se conoció al AIB como un producto de síntesis solamente. Posteriormente, se informó su aislamiento a partir de hojas y de semillas de maíz, y de otras especies. En maíz el AIB se sintetiza *in vivo*, siendo el ácido indolacético uno de sus precursores. Este producto químico también puede ser extraído de diferentes especies de sauces del género *Salix* (Ludwig-Müller, 2000).

Hopkins *et al.*, (2008), señalan que el uso de AIB es relativamente reciente, y de manera frecuente se publican resultados en todas partes del mundo de pruebas experimentales desarrolladas en el enraizamiento de esquejes con el uso de esta hormona, que se vende comúnmente para su uso doméstico como un polvo blanco con diferentes concentraciones, que van desde 100 ppm (partes por millón) hasta 1000 ppm y más. El mismo autor considera que la concentración útil de AIB es muy amplia dependiendo de cada especie; en los casos donde no se tenga información lo mejor es tratar de enraizar las estacas o esquejes con diferentes concentraciones y además utilizar algunas sin auxinas como testigo (Rout, 2006).

En cultivo de tejidos vegetales *in vitro*, el AIB y otras auxinas se utilizan para iniciar la formación de raíces en un procedimiento llamado micropropagación. La micropropagación de las plantas es una técnica de multiplicación o propagación asexual que se basa en la potencialidad organogenética de las células vegetales, que consiste en cultivar *in vitro* sobre sustratos apropiados, células aisladas, porciones de meristemas, ápices vegetativos al comienzo de su desarrollo o microestaquillas. Las muestras pequeñas de plantas utilizadas se llaman explantes o esquejes. Las auxinas se pueden utilizar para causar la formación de masas

de células indiferenciadas llamadas callos. La formación de los callos se utiliza a menudo como un primer paso en el proceso de micropropagación, dado que mediante la exposición a ciertas hormonas con carácter de auxinas, las células del callo pueden ser inducidas para formar otros tejidos tales como raíces (Goyal *et al.*, 2012)..

El AIB es usado con frecuencia para propiciar el enraizamiento de estacas. En un estudio en *Camellia sinensis*, se midió el efecto de tres diferentes auxinas, ácido indolbutírico, ácido indolacético y ácido 1-naftalenacético en la formación de raíces. Según los autores, el AIB produjo un mayor rendimiento de raíces en comparación con las otras auxinas (Noor *et al.*, 2009). En un estudio con *Jatropha curcas*, Zolman *et al.* (2008), indican que es una especie en la que se registra un mejor enraizamiento de las estacas con adición de AIB (mayor longitud de las raíces, número de raíces, porcentaje de estacas enraizadas, y peso seco de las raíces). Sin embargo los mismos autores mencionan que no siempre el efecto sobre el enraizamiento resulta estadísticamente significativo.()

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Campo Experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, situado en las coordenadas: 29°00'48" Latitud Norte y 111°08'07" Longitud Oeste, a una altura de 150 metros sobre el nivel del mar y 21 kilómetros hacia el oeste de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México (Fig. 1).



**Figura 1.** Imagen panorámica del Departamento de Agricultura y Ganadería- DAG- Universidad de Sonora.

De acuerdo con los criterios de la clasificación climática de Köppen, modificados por García (1981), el área donde se encuentra ubicado el Departamento de Agricultura tiene una temperatura media anual de 25 °C. Durante casi todo el año las temperaturas son calurosas se cuenta con tres meses de extremo calor. Lluvia principalmente entre julio y septiembre, mayormente en forma de chubascos con fuertes rachas de viento. El invierno (entre diciembre y febrero) es agradable, con noches frescas y días tibios; no escarcha ni nieva.

### Colecta de material vegetativo de *Salicornia bigelovii*

Plantas de *Salicornia bigelovii* en etapa de prefloración, fueron colectadas de un área natural ubicada en la Latitud 28° 40' 35.24" N, Longitud 111° 55'44.21" O, a una altura entre 2 y 10 msnm, en Bahía de Kino, Sonora. La altura promedio que presentaban las plantas fue de  $40 \pm 5$  cm. Las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y trasladadas al Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora (Figura 2). Las muestras fueron obtenidas a partir de plantas con tallos y ramas leñosas, con diámetro de 1 cm.



**Figura 2.** Colecta de material vegetativo de *Salicornia bigelovii* (a) y traslado al Laboratorio de Salinidad (b) en el Departamento de agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora.

### Selección y corte de las estacas

Antes de la preparación de las muestras, se desinfectaron las manos y las herramientas como tijeras de podar y navaja, usando una solución acuosa de hipoclorito de sodio al 1%. Los esquejes fueron obtenidos a partir de brotes originados en el 4° o 5° tallo lateral, cortando unos  $15 \pm 2$  cm del mismo; los cortes fueron realizados por la mañana, con el fin de evitar la deshidratación de las plantas. Los esquejes fueron obtenidos haciendo un corte en el tallo justo por debajo de cada nudo (Figura 3), además de realizar un corte en forma de cruz en la base de cada esqueje (Figura 4), y proceder a sumergir la parte basal del corte en las soluciones correspondientes a cada tratamientos, de acuerdo al diseño experimental planteado.



**Figura 3.** Esquejes obtenidos de brotes surgidos en el 4° o 5° tallo lateral, de *Salicornia bigelovii*.



**Figura 4.** Corte en forma de cruz en la base de los esquejes obtenidos de brotes, surgidos en el 4° o 5° tallo lateral, de *Salicornia bigelovii*.

### **Sustrato**

Se usó arena tamizada en un cedazo de 1 mm de apertura de malla. La arena se colocó en bolsas de polietileno negro, de 30 cm de altura y diámetro de 20 cm (Fig. 5). Las bolsas se ubicaron en el vivero del Departamento de Agricultura y Ganadería, para luego proceder a la plantación de las estacas, previamente tratadas.

### **Preparación del inóculo de *Bacillus amyloliquefaciens***

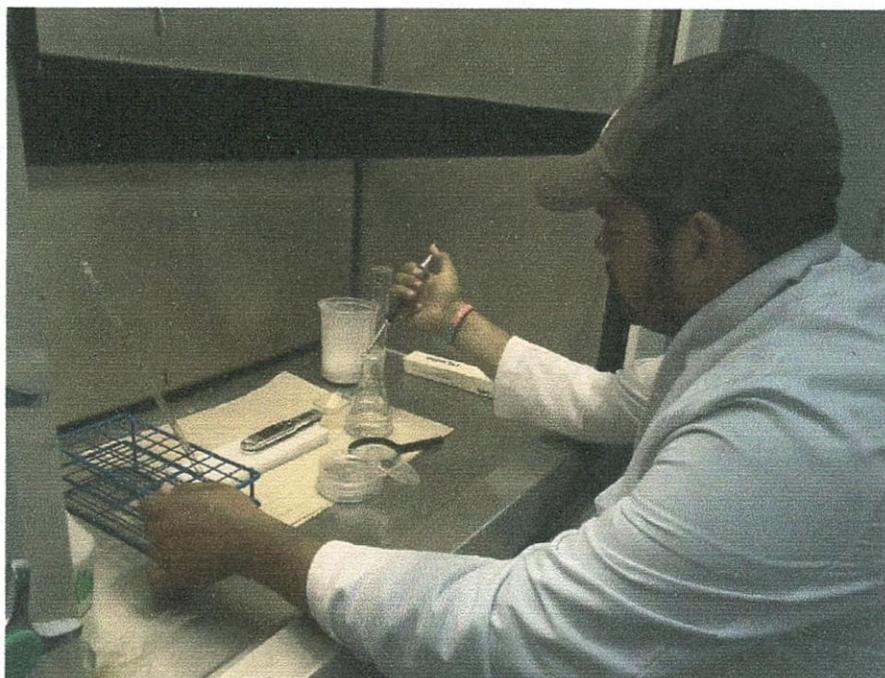
El cultivo bacteriano, se realizó en medio nutritivo líquido hasta alcanzar la fase de crecimiento exponencial (aproximadamente 5 h). La concentración final del inóculo se obtuvo ajustando su lectura de absorbancia entre 0.8 y 1.0 a 540 nm (equivalente a una concentración de  $1 \times 10^5$  y  $1 \times 10^8$  UFC/mL): Esto se realizó empleando un espectrofotómetro Modelo 415, Fisher Scientific LTD (Fig. 7).



**Figura 5.** Preparación de bolsas de poliuretano a base de arena.



**Figura 6.** Ubicación de las macetas rellenas a base de arena, en el vivero de producción de plantas del Departamento de Agricultura y Ganadería.



**Figura 7.** Preparación del inóculo.

### **Preparación del AIB**

Se utilizó un producto comercial sólido con un contenido de 80% de AIB. Se preparó el AIB a 750 y 1000 ppm, colocando 0.937 y 1.25 gr, respectivamente, en 1 Kg de talco agrícola. Posteriormente fue mezclado con una batidora doméstica; para proceder a tratar los esquejes.

### **Diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente al azar con nueve tratamientos (Cuadro 2) con cinco repeticiones. En cada repetición se incluyó 5 esquejes. En total se evaluaron 225 unidades experimentales.

La base donde se realizó el corte en forma de cruz de cada esqueje fue sumergida en la suspensión bacteriana y/o en la de AIB, según su tratamiento. Los tratados con la bacteria se sumergieron durante 15 minutos y los tratados con AIB durante 10 segundos. Posteriormente los esquejes se clavaron en el sustrato, introduciéndolos hasta una tercera parte de su longitud y apretando la arena con los dedos, para reducir la cantidad de aire atrapado y así disminuir la deshidratación del esqueje. Durante el experimento las temperatura promedio en el vivero osciló entre  $26 \pm 3$  °C durante los tres primeros meses, en el cuarto mes fue de  $32 \pm 5$  y de  $36$  °C en los dos meses posteriores. Los riegos fueron efectuados diariamente con la finalidad de mantener una Humedad relativa ambiental alta.

**Cuadro 2.** Tratamientos a base de la bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* (Ba) y Acido indolbutírico (AIB).

<b>Tratamiento</b>
1. Ba concentración $1 \times 10^5$ UFC/mL
2. Ba concentración $1 \times 10^8$ UFC/mL
3. AIB concentración 750 ppm
4. AIB concentración 1,000 ppm
5. Ba concentración $1 \times 10^5$ UFC/mL + AIB concentración 750 ppm
6. Ba concentración $1 \times 10^5$ UFC/mL + AIB concentración 1000 ppm
7. Ba concentración $1 \times 10^8$ UFC/mL + AIB concentración 750 ppm
8. Ba concentración $1 \times 10^8$ UFC/mL + AIB concentración 1000 ppm
9. Testigo (inmersión en agua destilada)

UFC/mL: Unidades Formadoras de Colonia por mililitro.

ppm: partes por millón.

### **Variables respuesta**

Las variables evaluadas fueron tasa radicular y longitud final radicular, peso fresco (mg) y seco de raíz (mg), el número y la longitud de brotes por esqueje y el número de Unidades Formadoras de Colonias por mililitro (UFC/mL) fijadas. Para la longitud final radicular fue medida apoyándose con el uso de un vernier y regla milimétrica al cabo de 180 días. 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. Adicionalmente se contó el número de brotes por esqueje y se midió la longitud de los brotes en cada tratamiento usando una regla milimétrica. Para

conocer el número de bacterias adheridas a la raíz, se tomaron cinco esquejes de cada tratamiento y fueron agitados durante 10 segundos en tubos de ensayo en una solución salina estéril de 0.85% de NaCl. De la suspensión se tomó 0.1 mL y se sembró por estrías en cuadrantes en cajas Petri conteniendo medio de cultivo "Rennie". Las cajas sembradas se incubaron durante 36 horas a una temperatura de 28 °C. Posteriormente, se contabilizaron las colonias de bacterias existentes.

### **Análisis estadístico**

Se realizó un Análisis de varianza de una sola vía y la separación de medias de las variables respuesta se realizó mediante la prueba de Rangos Múltiples de Duncan al 0.05%. Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico de cómputo SAS (SAS, 2001).

## RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a la metodología anteriormente planteada, los resultados se muestran a continuación.

### **Longitud radicular en esquejes de *Salicornia bigelovii*, con la inoculación de *Bacillus amyloliquefaciens* (Ba) y ácido indol butírico (AIB).**

Los resultados sobre la longitud de las raíces se observan en el Cuadro 3. A los 30 días después de su trasplante, ninguno de los esquejes mostró desarrollo de raíces en todos los tratamientos. La presencia de raíces en esquejes en tratamientos con Ba y AIB se observó a partir de los 60 días de evaluación. En ese mismo periodo, las unidades experimentales del testigo (tratamiento con agua) no mostraron desarrollo radicular. Los tratamientos sobresalientes fueron: Ba a una concentración de  $1 \times 10^8$  UFC/mL + AIB a 750 ppm (2.2 cm) y Ba a  $1 \times 10^5$  UFC/mL + AIB a 750 ppm (2.1 cm). Estas tendencias se mantuvieron a los 90, 120 y 150 días, en todos los casos el desarrollo radicular fue mayor en los esquejes tratados que en el testigo. Al concluir los 180 días de experimento, los mejores tratamientos fueron Ba a  $1 \times 10^8$  + AIB 750 ppm y Ba a  $1 \times 10^5$  UFC/mL + AIB 750 ppm (17.9 y 17.5 cm, respectivamente, ( $P < 0.05$ )). No se observó diferencia significativa entre los niveles de la concentración de Ba ( $1 \times 10^8$  y  $1 \times 10^5$  UFC/mL), en combinación con AIB. Sin embargo, si se observó diferencia significativa entre los niveles de Ba, siendo el tratamiento más efectivo el de mayor concentración (15.4 contra 12.3 cm). Un comportamiento similar se observó entre los niveles de AIB aunque no se detectó diferencia significativa. Por su parte el testigo obtuvo los valores significativamente más bajos de desarrollo radicular (alrededor de 400% menor con relación al valor más alto obtenido).

Los resultados obtenidos concuerdan con Bashan y Holguin (1997), donde indican que el uso de bacterias de tipo promotor vegetal, induce a la promoción de sistema radicular, debido a la síntesis de fitohormonas liberadas. Lira (2003), indica que las hormonas,

específicamente las giberelinas y auxinas en los ápices vegetales son sintetizadas; aunado a la producción de estas mismas por las bacterias, el efecto en la tasa y longitud final radicular es exhibido ya que intrínsecamente se incrementa la tasa de división celular (Fallik *et al.*, 2000).

#### **Peso fresco y seco de raíz en esquejes de *Salicornia bigelovii*.**

Los resultados de peso fresco del sistema radicular desarrollado en los esquejes *Salicornia bigelovii* se resumen en el Cuadro 4. Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ). Los mejores tratamientos fueron: *Bacillus amyloliquefaciens* (*Ba*) en ambas concentraciones ( $1 \times 10^5$  y  $1 \times 10^8$  UFC/mL) inoculados conjuntamente con el AIB a una concentración de 750 ppm (511.8 y 522, respectivamente). En un segundo orden, fueron se ubicaron los tratamientos de *Ba* con el AIB a 1000 ppm (418.2, 436.3, y 433.9 mg respectivamente). Los tratamientos con solo AIB tuvieron valores significativamente mayores al testigo, pero inferiores a los tratamientos combinados. Este comportamiento también se observó en los datos de peso seco.

#### **Número y longitud de los nuevos brotes en esquejes de *Salicornia bigelovii*.**

Se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el número de brotes desarrollados en los esquejes sometidos a diferentes tratamientos (Cuadro 5). *Ba* en ambas concentraciones y en combinación con las dos concentraciones de AIB produjeron mayor cantidad de brotes que los tratamientos donde la bacteria y el AIB fueron aplicados por separado. No obstante, en lo que respecta a la longitud de los brotes, no se observaron diferencias significativas entre las variables a los distintos niveles evaluados. Por otro lado, se observó que el testigo presentó una longitud promedio significativamente menor en comparación con los demás tratamientos.

**Cuadro 3.** Longitud radicular en esquejes de *Salicornia bigelovii* tratados con *Bacillus amyloliquefaciens* (Ba) y el ácido indolbutírico (AIB).

Tratamiento	Longitud radicular (cm)								
	Día 30	Día 60	Día 90	Días 120	Día150	Día 180			
1. Ba concentración $1 \times 10^5$ UFC/mL	0	0.9±0.8	3.2±1.9	7.2±2.6	9.1±2.7	12.3 ± 1.9 c			
2. Ba concentración $1 \times 10^8$ UFC/mL	0	1.3±0.6	4.6±2.1	6.7±2..8	10.1±2.0	15.4± 1.8ab			
3. AIB 750 ppm	0	0.9±0.4	3.3±0.7	5.9±1.8	8.6±2.9	11.5± 1.3c			
4. AIB 1000 ppm	0	0.7±0.3	4.3±1.3	6.1±1.8	9.3±2.6	10.5± 1.5cd			
5. Ba $1 \times 10^5$ UFC/mL + AIB 750 ppm	0	2.1±0.4	4.2±2.1	6.7±2.3	12.8±2.8	17.5± 1.9a			
6. Ba $1 \times 10^5$ UFC/mL + AIB 1000 ppm	0	1.6±0.9	3.2±1.8	6.2±2.1	9.2±3..1	14.4± 2.1ab			
7. B. $1 \times 10^8$ UFC/mL + AIB 750 ppm	0	2.2±1.1	3.0±1.2	7.1±2.8	11.2±1.8	17.9± 1.6a			
8. Ba $1 \times 10^8$ UFC/mL + AIB 1000 ppm	0	1.9±0.5	2.9±0.8	5.9±1.3	9.9±1.9	15.4± 2.1ab			
9. Testigo	0	0	0.8±0.2	1.9±0.4	2.3±1.2	3.4± 2.9e			

La media corresponde a cinco repeticiones de cada tratamiento.

Las literales en el día 180, indican diferencia significativa con  $P < 0.05$ .

**Cuadro 4.** Peso fresco y seco de raíz de sistema radicular de esquejes de *Salicornia bigelovii* a los 180 días de tratamiento.

Tratamiento	Peso fresco (mg)	Peso seco(mg)
<i>Ba</i> concentración $1 \times 10^5$ UFC/mL	348.5± 111.9c	36.2± 22.6c
<i>Ba</i> concentración $1 \times 10^8$ UFC/mL	436.3± 187.1ab	45.7± 12..8ab
AIB 750 ppm	319.3± 125c	34.5± 11.8c
AIB 1000 ppm	309.3± 151.3cd	30.1± 11.9cd
<i>Ba</i> $1 \times 10^5$ UFC/mL + AIB 750 ppm	511.8± 109a	52.2± 11.8a
<i>Ba</i> $1 \times 10^5$ UFC/mL + AIB 1000 ppm	418.2± 131.8ab	46.2± 12.1ab
<i>B.</i> $1 \times 10^8$ UFC/mL + AIB 750 ppm	522.0± 133a	54.9± 12.8a
<i>Ba</i> $1 \times 10^8$ UFC/mL + AIB 1000 ppm	433.9± 110.1ab	44.9± 11.3ab
Testigo	98.8± 30.2e	10.9± 3.4e

*Ba* = *Bacillus amyloliquefaciens*. La media corresponde a cinco repeticiones de cada tratamiento. Las literales indican diferencia significativa con  $P < 0.05$ .

**Cuadro 5.** Número y longitud de los nuevos brotes en esquejes de *Salicornia bigelovii* a los 180 días de tratamiento.

Tratamiento	Peso fresco (mg)	Peso seco(mg)
<i>Ba</i> concentración $1 \times 10^5$ UFC/mL	2± 2c	16.2± 2.6a
<i>Ba</i> concentración $1 \times 10^8$ UFC/mL	6± 2ab	15.7± 2.8a
AIB 750 ppm	2± 2c	14.5± 1.8a
AIB 1000 ppm	2± 2cd	12.1± 1.9ab
<i>Ba</i> $1 \times 10^5$ UFC/mL + AIB 750 ppm	8± 3a	12.2± 1.8ab
<i>Ba</i> $1 \times 10^5$ UFC/mL + AIB 1000 ppm	6± 2ab	16.2± 2.1a
<i>Ba</i> $1 \times 10^8$ UFC/mL + AIB 750 ppm	8± 2a	14.9± 2.8a
<i>Ba</i> $1 \times 10^8$ UFC/mL + AIB 1000 ppm	6± 2ab	14.9± 1.3a
Testigo	1± 1de	10.9± 3.4bc

*Ba* = *Bacillus amyloliquefaciens*. La media corresponde a cinco repeticiones de cada tratamiento. Las literales indican diferencia significativa con  $P 0.05\%$ .

Aunque en ciertos estudios el efecto de las BPCV en el desarrollo de ciertas especies de plantas no ha sido favorable (Diaz *et al.*, 2001), el efecto inducido en otras especies es considerable, lo cual sugiere su uso como agentes biofertilizantes e incluso de biocontrol (Bashan *et al.*, 2002).

#### **Adherencia de *Bacillus amyloliquefaciens* al sistema radicular de *Salicornia bigelovii*.**

Los resultados del número de unidades formadoras de colonias ( $\text{Log}_{10}$  UFC/mL) se resumen en el Cuadro 6. En relación a esta variable, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores oscilaron entre 1380 y 1740 UFC/mL.

La adherencia de *Bacillus amyloliquefaciens* en las raíces de *Salicornia bigelovii* concuerda con la existencia de los factores: atracción, adhesión y anclaje, involucrados en la interacción planta-microorganismo propuestos en trabajos previos (Arsac *et al.*, 1990; Haahtela *et al.*, 1990; Turyanitsa *et al.*, 1995; El-Khawas y Adachi, 1999).

**Cuadro 6.** Bacterias adheridas (UFC/mL) de *Bacillus amyloliquefaciens* al sistema radicular de plántulas de *Salicornia bigelovii* a los 180 días de tratamiento.

Tratamiento	$\text{Log}_{10}$ UFC/mL
<i>Ba.</i> concentración $1 \times 10^5$ UFC/mL	$1380 \pm 438a$
<i>Ba</i> concentración $1 \times 10^8$ UFC/mL	$1410 \pm 289a$
<i>Ba</i> $1 \times 10^5$ UFC/mL + AIB 750 ppm	$1675 \pm 275a$
<i>Ba</i> $1 \times 10^5$ UFC/mL + AIB 1,000 ppm	$1740 \pm 543a$
<i>Ba</i> $1 \times 10^8$ UFC/mL + AIB 750 ppm	$1545 \pm 298a$
<i>Ba</i> $1 \times 10^8$ UFC/mL + AIB 1,000 ppm	$1530 \pm 639a$

*Ba* = *Bacillus amyloliquefaciens*. La media corresponde a cinco repeticiones de cada tratamiento. Las literales, indican diferencia significativa con  $P < 0.05$ .

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la presente investigación permiten concluir que el uso de esquejes es una alternativa para la multiplicación de plantas de *Salicornia bigelovii*.

*Salicornia* es una especie medianamente difícil de enraizar, siendo capaz de generar raíces adventicias sin la aplicación de bacterias promotoras del crecimiento ni reguladores de crecimiento. Sin embargo, quedó demostrado que al aplicar *Bacillus amyloliquefaciens* conjuntamente con ácido indolbutírico, a las concentraciones evaluadas en el presente trabajo, el desarrollo radicular puede incrementarse hasta en 400%. Asimismo, la interacción de *Bacillus amyloliquefaciens* y con ácido indolbutírico, promueven la producción de brotes fotosintéticos hasta en un 800%.

Se recomienda realizar más evaluaciones sobre propagación de *Salicornia bigelovii* mediante la técnica de esquejes; considerando sobretodo aspectos ambientales (rango de temperaturas, radiación y humedad relativa, entre otros), usando cámaras de enraizamiento y diferentes soluciones nutritivas y tratar de llevar los experimentos hasta la etapa de producción.

## LITERATURA CITADA

- Aguilera, M., y R. Martínez, 1996. Relaciones agua suelo planta atmósfera. Ed. Universidad Autonoma Chapingo. pp. 96-101.
- Arsac, J., C. Lamothe., y J. Fages. 1990. Growth enhancement of Maize (*Zea Mays*) through *Azospirillum lipoferum* inoculation: effect of plant genotype and bacterial concentration. *Agronomie*. 10: 640-654.
- Allison, L., J. Brown., H. Haryward y L. Richards. 1980. Suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa. México. pp. 3-5.
- Atlas, R. y R. Bartha. 2002. Ecología microbiana y Microbiología ambiental. Cuarta edición. Ed. Addison Wesley. p p. 411-413.
- Bashan, Y. y G. Holguin. 1997. Azospirillum-plant relationship: environmental and physiological advances. *Journal Microbiology*. 43:103-121.
- Bashan, Y., J. Hernandez., L. Leyva. and M. Bacilio. 2002. Alginate microbeads as inoculat carriers for plant growth-promoting bacteria. *Biology and Fertily of soils*. 35:359-368.
- Carretero, I., C. Doussinague., y E. Villena. 2002. Técnico en Agricultura. Tomo I. Ed. Cultural, S.A. pp. 24, 25, 68.
- Chanway, C., R. Hynes., y L. Nelson. 1989. Plant growth-promoting soil bacteria: An emerging technology for reforestation. *For. Sci.* 43: 99-112.
- CICESE. 2000. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Baja California Coastal Wetlands Inventory. p. 45-55.
- Daubenmire, D. 1999. Ecología vegetal. Ed. Limusa. México. pp. 66-67.
- De la Peña, I. s.f. Salinidad de los suelos agrícolas. Su origen, clasificación, prevención y recuperación. SARH, Bol. Tec. No. 10. pp. 104-110.

- Díaz, P., R. Ferrera., J. Almarez, y G. Alcántar. 2001. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. . Terra 19(4) : 327-335.
- Donahue, R., R. Miller y J. Shickuna. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. Prentice-Hall International. Colombia. p. 128, 266-267.
- El-Khawas, H., y K., Adachi. 1999. Identification and quantification of auxins in culture media of *Azospirillum* and *Klebsiella* and their effects on rice roots. Biology and Fertility of Soils. 29:377-381.
- Evans, H., G. Stacey, y R. Burris. 1978. Biological nitrogen fixation. Chapman and Hall. Nueva York.
- Fallik, E., S. Saring., y Y. Okon. 2000. Azospirillum/Plant Associations. Ed. CRC Press. Florida. E.U.A. pp. 57-58.
- Fernandez, G., y M. Jhonston. 1986. Fisiología vegetal experimental. Ed. Servicio Editorial IICA. San José, Costa Rica. pp. 262-265, 140-143.
- Gallawa, P. 1996. First International Technical Seminar for *Salicornia*. Halophyte Enterprises. Planetary Design Corporation, Génesis, Kino Bay, Sonora, México. pp. 3-33.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de clasificación climática. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 300 p.
- Gleen, P., P. Yensen ,y R. Fontes.1979. Survey and evaluation of Sonora desert marsh halophytes for crop-potential. Environmental research Laboratory. University of Arizona. p.20.
- Gleen, P., R. Fontes y P. Yensen.1980. Seawater irrigation pf halophytes corpsin the Sonora desert. Environmental research Laboratory university of Arizona. p.11.
- González, A. y N. Medina. 1995. Ecología. Ed. McGraw-Hill. pp. 207-208.
- Graetz, H. 1995. Suelos y Fertilización. Ed. Trillas. pp. 42-44.
- Greenway, H. y R. Munns. 1980. Mechanisms of Salt Tolerance in non Halophytes. Annual Review Plant Physiology. 31:149-190.

- Hartmann, A., y W. Zimmer. 2000. *Azospirillum/Plant Associations*. Ed. CRC Press. Florida. E.U.A. pp. 23-24.
- Haahtela, K., R., Ronkko, T., Laaskso, P., Williams, y T., Korhonen. 1990. Root-associated *Enterobacter* and *Klebsiella* in *Poa pratensis*: Characterization of an iron-scavenging system and a substance stimulating root hair production. *Molecularr Plant-Microbe Interaction* 3: 358-365.
- Jiménez, D., C. Virgen., F. Tabares, y V. Olalde-Portugal. 2001. Bacterias promotoras de crecimiento de plantas: agro-biotecnología avance y perspectiva. p. 395-400.
- Jones, R. 1998. Irrigating crops with seawater. Scientific American fetaure article. Research Laboratory Tucson, Arizona, p. 20.
- Kapulnik, Y., Y. Okon. y J. Kigel. 1981. Effects of temperature, nitrogen fertilization and plant age on nitrogen fixation by *Setaria italica* inoculated with *Azospirillum brasilense* (strain cd). *Plant Physiology*. 68:340-343.
- Khammas, K., E. Ageron. P. Grimont. y P. Kaiser. 1989. *Azospirillum irakense* sp. Nov. a nitrogen-fixing bacterium associated with the roice roots and rhizosphere soil. *Microbiology*. 140: 679-693.
- Kloepper, J., B. Schippers., y P. Barkker. 1992. Proposed elimination of the term endorhizosphere. *Phytopathology* 82: 726-727.
- Lira, R. 2003. *Fisiología vegetal*. Ed. Trillas. México. pp. 199-204, 211-212.
- López, G. 1992. *Microbiología agrícola*. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. p. 17.
- López, M. 1995. *Resistencia de las plantas*. Ed. Trillas. México. pp. 24-29, 29-30.
- Ludwig-Müller. 2000. Occurrence and in vivo biosynthesis of indole-3-butyric acid in corn (*Zea mays* L.). *Plant Physiol* 97: 765-770
- Madigan, M., M. Martinko y J. Parker. 1999. *Biología de los Microorganismos*. Octava edición revisada. Ed. Prentice Hall España. pp. 535,571.
- Mangiarua (2008). Como hacer un esqueje. (en línea). Consultado 28 feb. 2016. Disponible en: <http://bonsai-baires-esquejes.blogspot.com/>
- Mass, E., y C. Grieve. 1990. Salt Tolerance of Plants at Different Grow Stages. *Proceedings of the International Conference, Tardo, Jam, Pakistan*. p. 20.

- Medina, J. 1996. Riego por goteo. Ediciones mundi-prensa. pp.167-184.
- Mizrachi, Y. 1970. abscisic acid and transpiration in leaves in relation to osmotic root stress plant physiol. 46,169-171.
- Moreno, I. 2001. Biorrecuperación de suelos usando *Salicornia bigelovii* Torr. en invernadero. Tesis de Licenciatura?. pp. 8-9.
- Mota, V. 1980. Halofitas en el siglo XXI. Primera Reunion Nacional sobre Ecología, manejo y domesticación de las plantas utiles del desierto. p.16.
- Moya, J. 1998. Riego Localizado y Fertirrigación. Ediciones Mundi-prensa. pp. 23-31.
- Muñiz, P. 1974. A Flora of Southem California. Univ. of Calif. Press, Berkeley. p. 1086.
- Ondarza, R. 2000. Ecología el hombre y su ambiente. Ed. Trillas. p. 134.
- Prasad, R., y J. Power. 1997. Soil Fertility Management for Sustaintable Agriculture. Ed. Lewis Publishers. pp. 100-101.
- Rennie, R. 1981. A single medium for the isolation of acetylene reducing dinitrogen-fixing bacteria from soil. Canadian Journal Microbiology. 27:8-14.
- Rodríguez, F. 1996. Fertilizantes Nutrición Vegetal. Ed. AGT Editor S.A. México. pp. 27-30, 44-46.
- SAS Institute. 2001. SAS/STAT user's guide. Version 6.12 SAS, Institute, Cary, N.C. U.S.A.
- Smith, L. y M, Smith. 2000. Ecología. Ed. Addison Wesley. España. p. 113.
- Solomon, E., L. Berg., D. Martin y C. Villee. 1998. Biología *de Ville*. Cuarta edición. Ed. McGraw-Hill Interamericana. p. 495.
- Squires, V. 1994. Overview of problems and prospect for utilizing halophytes as a resource for livestock and for rehabilitation of degraded lands. Ed. Kluwer. Academic Publishers. Netherlands. pp. 2-6.

Turyanitsa, A., A., Petak, M., Nichik. y V., Petrosova. 1995. Capacity of *Klebsiella* bacteria to fix atmospheric nitrogen and to produce plant growth hormones. Mikrobiol. Zh. 57: 28-34.

Wiggins, I. 1980. Flora of Baja California. Stanford University Press. p. 1025.

Yensen, N. 2001. Halófitas del Golfo de California y sus usos. Ed. Universidad de Sonora. México. p. 176-177.

Yensen, N., A. Yensen, y D. Yensen. 1980. Intertidal ants from the Gulf of California, México. Annl. Ent. Soc. Amer. 73 (3): 266-269.