

Enraizamiento de esquejes de *Salicornia bigelovii* (Torr.) por quitosano como un bioproducto de origen marino

Rooting of plant cuttings of *Salicornia bigelovii* (Torr.) by chitosanasa biopproduct of marine origin

Betzabe Ebenhezer López-Corona¹, Iram Mondaca-Fernández¹, Pablo Gortáres-Moroyoqui¹, María Mercedes Meza-Montenegro¹, José de Jesús Balderas-Cortés¹, Cristina Ruiz-Alvarado² y Edgar Omar Rueda-Puente^{3‡}

¹ Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). 5 de Febrero 818 Sur, Col. Centro. 85000 Ciudad Obregón, Sonora, México.

² Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Av. Alvaro Obregón y Julian Carrillo s/n, Col. Nueva. 21100 Ejido Nuevo León, Baja California, México.

³ Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro. 83000 Hermosillo, Sonora, México.

‡ Autor para correspondencia (erueda04@santana.uson.mx)

RESUMEN

El aprovechamiento de halófitas como *Salicornia bigelovii* representa una alternativa con potencial económico para la agricultura del desierto y zonas costeras. No obstante, el éxito en el establecimiento de parcelas comerciales se ha visto limitado por los bajos porcentajes de germinación de la especie. La propagación por esquejes representa una opción viable y rápida a esta problemática. La formación de raíces funcionales es fundamental en la propagación por esquejes y se ha logrado mediante la aplicación de productos químicos reguladores de crecimiento. La aplicación de quitosano en algunos cultivos ha mostrado ser una alternativa en el proceso de germinación y mejores rendimientos de cosecha; sin embargo, con relación a la halófita *S. bigelovii*, son nulos los estudios sobre el efecto del quitosano. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del quitosano de origen marino y el ácido indol butírico como agentes promotores de raíces en esquejes de *Salicornia bigelovii*. Se aplicaron las concentraciones (individual y en conjunto) de quitosano al 100 y 50% y ácido indol butírico a razón de 0.937 y 1.25 g kg⁻¹. Se utilizó un diseño completamente al azar con nueve tratamientos con cinco repeticiones, evaluándose 225 unidades experimentales. Como variables respuesta se midieron: longitud radicular, peso fresco y peso seco total de

la raíz, número y longitud de nuevos brotes. Los resultados indican que el tratamiento más eficiente fue 100% de quitosano + 0.937 g kg⁻¹ de ácido indol butírico, el cual promovió la producción de brotes fotosintéticos hasta en un 800%. Estos resultados demuestran que es factible lograr la propagación de *Salicornia* mediante esquejes utilizando quitosano de origen marino como promotor de crecimiento.

Palabras clave: AIB, fitohormonas, halófitas, micropagación, raíz.

SUMMARY

The use of halophytes such as *Salicornia bigelovii* represents an alternative with economic potential for desert agriculture and coastal areas. However, the success in the establishment of commercial plots has been limited by the low germination percentages of this species. Propagation using plant cuttings represents a viable and rapid alternative to this problem. The formation of functional roots is fundamental in the propagation of plant cuttings and has been achieved through the application of chemical growth regulators. The application of chitosan in some crops has evidenced to be an alternative for the germination process and an enhancer of harvest performance; however, there are no studies that evaluate its effect on the

Cita recomendada:

López-Corona, B. E., I. Mondaca-Fernández, P. Gortáres-Moroyoqui, M. M. Meza-Montenegro, J. J. Balderas-Cortés y E. O. Rueda-Puente. 2019. Enraizamiento de esquejes de *Salicornia bigelovii* (Torr.) por quitosano como un bioproducto de origen marino. *Terra Latinoamericana* 37: 361-369. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.517>

Recibido: 11 de marzo de 2019.

Aceptado: 08 de mayo de 2019.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 37: 361-369.

halophyte *S. bigelovii*. The objective of this research was to evaluate the effect of marine-derived chitosan and indole butyric acid as root-promoting agents in cuttings of *Salicornia bigelovii*. The concentrations (individually and combined) of chitosan at 100 and 50% and indole butyric acid were applied at a rate of 0.937 and 1.25 g kg⁻¹. A completely randomized design of nine treatments and five repetitions was used and 225 experimental units were evaluated. The following variables were measured: root length, fresh weight and total dry weight of the root, and number and length of new shoots. The results showed that the most efficient treatment was 100% chitosan + 0.937 g kg⁻¹ indole butyric acid, promoting the production of photosynthetic shoots up to 800%. These results indicate that it is feasible to achieve the propagation of *Salicornia* by means of cuttings using marine-derived chitosan as a growth promoter.

Index words: IBA, phytohormones, halophytes, micropagation, root.

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 (Flowers y Colmer, 2015). Las halófitas son plantas que están altamente adaptadas para crecer en medios salinos que superan los 100 mM de NaCl.

Salicornia bigelovii es una halófita 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 de implementar su cultivo en las regiones costeras áridas y semiáridas (Beltrán-Burboa *et al.*, 2017), debido a su potencial agroindustrial, principalmente en la producción de aceites vegetales, verdura para consumo humano y como forraje para consumo animal (Rueda *et al.*, 2009). 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 (López-

Corona *et al.*, 2019). 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 (Arbo *et al.*, 2006; López-Corona *et al.*, 2019).

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 (Jordán y Casaretto, 2006).

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 (Jordán y Casaretto, 2006); compuestos tales como el ácido naftalenacético (ANA), ácido indol acético (AIA) y ácido indol butírico (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 productos de origen marino pueden estimular el crecimiento vegetal por su capacidad para proveer o actuar como inductores en la síntesis de ciertas fitohormonas, por ejemplo AIA, AIB o Giberelinas (Silva *et al.*, 2001; Gálvez, 2005¹).

El quitosano es un componente abundante en los organismos de origen marino como los crustáceos; es un compuesto muy abundante en la naturaleza y totalmente amigable con el medio ambiente, gracias a características como su grupo amino, ha sido ampliamente utilizado en diferentes áreas, ya que es biocompatible con muchos sistemas biológicos. En el área de la agricultura el quitosano ha mejorado el proceso de germinación, los rendimientos de la cosecha y adsorción de micronutrientes de diferentes cultivos (Hadwiger *et al.*, 1984; Bhaskara *et al.*, 1999; Guan *et al.*, 2009; López *et al.*, 2012; Peña-Datoli *et al.*,

¹ Gálvez A., M. E. 2005. Efecto de la aplicación de un extracto de algas marinas (*Durvillea antartica*) en el crecimiento vegetativo de plantulas de arandano (*Vaccinium corymbosum*) y ciruelo (*Prunus insititia*). Universidad Católica de Chile, Fac. de Agronomía e Ingeniería Forestal. Tesis (Mag Ec Agr). Santiago de Chile.

2016; Dima *et al.*, 2017; González-Gómez *et al.*, 2017; Molina-Zerpa *et al.*, 2017; Domini, 2018). Así mismo el quitosano estimula el mecanismo de defensa de las plantas y la formación de barreras físicas (Hadwiger *et al.*, 1984; Dima *et al.*, 2014).

Hasta la fecha, los estudios acerca de la interacción *Salicornia* con quitosano de origen marino son nulos, sin embargo, en otros cultivos se han dirigido principalmente a conocer sus efectos en algunas etapas fenológicas de las plantas, principalmente en la germinación, estimulación de la floración e impactos en la proteína, así como en la calidad lipídica de las semillas (Rivero *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2013; González *et al.*, 2014; González *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2015).

Con base a lo anterior y con la finalidad de enriquecer la información acerca de la interacción entre *Salicornia bigelovii* y quitosano de origen marino, el objetivo de la presente investigación consistió en evaluar el efecto de quitosano contra el ácido indol butírico (AIB), en esquejes de *Salicornia bigelovii*, en la inducción a la formación del sistema radicular de la planta.

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" N y 111° 08' 07" O, a una altura de 150 m y 21 km hacia el oeste de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México.

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 35 °C. Durante casi todo el año las temperaturas son calurosas se cuenta con tres meses de extremo calor. Llueve 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 m, en Bahía de Kino, Sonora. La altura promedio que presentaban las plantas fue de 40 ± 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. Las muestras fueron obtenidas a partir de plantas con tallos y ramas leñosas, con diámetro de 1 cm.

Selección y Corte de las Estacas

Antes de la preparación de las muestras, se desinfectaron las manos y las herramientas (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 4º o 5º tallo lateral, cortando unos 15 ± 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, además de realizar un corte en forma de cruz en la base de cada esqueje y proceder a sumergir la parte basal del corte en las soluciones correspondientes a cada tratamiento.

Sustrato

Se utilizó arena tamizada libre de materia orgánica 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. 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 Bioproducto: Quitosano de Origen Marino

Para la obtención del quitosano se utilizaron exoesqueletos de camarón obtenidos en industrias

procesadoras, los cuales se redujeron a un tamaño de partícula menor a 250 µm utilizando un tamiz. El proceso de obtención del quitosano se realizó en diferentes etapas en las que primeramente se extrajo la quitina y posteriormente se obtuvo el quitosano. Se empleó el método químico propuesto por Hernández Cocoletzi *et al.* (2009), donde se utilizaron soluciones de HCl 0.6 N y NaOH al 1 y 50%, con la finalidad de remover lípidos, minerales, pigmentos y proteínas unidos a la quitina; para ello, se llevó a cabo una desmineralización de los exoesqueletos, utilizando HCl 0.6N en una relación 1:11 sólido-líquido a una temperatura de 30 °C durante 3 h. Finalmente, se realizó la desproteinización de la muestra con una solución de NaOH al 1% a una temperatura de 28 °C durante 24 h de agitación constante para asegurar una completa desproteinización. Una vez obtenida la quitina se procedió a la desacetilación utilizando NaOH al 50% en una relación 1:4 sólido-líquido, bajo las siguientes condiciones: primero por 2 h a 60 °C y luego por 2 h a 100 °C. El producto obtenido fue quitosano con un grado de desacetilación de 65%. En cada una de las etapas del proceso, el producto obtenido fue lavado tenazmente con agua destilada hasta obtener un pH neutro.

Para el rendimiento global del proceso de extracción del quitosano en los exoesqueletos, se utilizó la siguiente expresión:

$$RG = \frac{RR}{RT} \times 100 \quad (1)$$

dónde:

RT = rendimiento teórico, cantidad en gramos de la muestra con la que se comenzó el proceso.

RR = rendimiento real, cantidad en gramos del producto final (quitosano).

Las concentraciones de quitosano empleadas en los tratamientos fueron 50 y 100%.

Preparación del AIB (Ácido Indol Butírico)

Se utilizó un producto comercial sólido con un contenido de 80% de AIB. Se preparó el AIB a razón de 0.937 y 1.25 g kg⁻¹, ya que estas concentraciones han sido utilizadas anteriormente en estudios con *Salicornia bigelovii* (Rueda *et al.*, 2009), obteniendo óptimos resultados en desarrollo vegetativo. Se colocó en talco agrícola inerte e inodoro y posteriormente fue

mezclado con una batidora doméstica para proceder a tratar los esquejes.

Diseño Experimental y Tratamiento de Esquejes

Se utilizó un diseño completamente al azar con nueve tratamientos (Cuadro 1), con cinco repeticiones. En cada repetición se incluyó cinco 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 a base de quitosano o en la de AIB, según su tratamiento. Los tratados con quitosano se sumergieron durante 15 min y los tratados con AIB durante 10 seg. 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 la temperatura promedio en el vivero osciló entre 26±3 °C durante los tres primeros meses, en el cuarto mes fue de 32 ±5 y de 36 °C en los dos meses posteriores. Los riegos fueron efectuados diariamente con la finalidad de mantener una adecuada humedad del sustrato, así como una humedad relativa ambiental de 90%.

Variables Respuesta

Al término de los 180 días se evaluaron las variables: tasa radicular y longitud final radicular, peso

Cuadro 1. Tratamientos a base de bioproducto quitosano de origen marino (QUI) y Ácido indol butírico (AIB).

Table 1. Treatments based on marine chitosan biopproduct (QUI) and indole butyric acid (AIB).

Tratamientos
1.- QUI concentración 50%
2.- QUI concentración 100%
3.- AIB concentración 0.937 g kg ⁻¹
4.- AIB concentración 1.25 g kg ⁻¹
5.- QUI concentración 50% + AIB concentración 0.937 g kg ⁻¹
6.- QUI concentración 50% + AIB concentración 1.25 g kg ⁻¹
7.- QUI concentración 100% + AIB concentración 0.937 g kg ⁻¹
8.- QUI concentración 100% + AIB concentración 1.25 g kg ⁻¹
9.- Testigo (inmersión en agua destilada)

fresco (mg) y seco de raíz (mg), el número y la longitud de brotes por esqueje. La longitud final radicular fue medida apoyándose con el uso de un vernier y regla milimétrica. 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, E.U.A.). Adicionalmente se contó el número de brotes por esqueje y se midió la longitud de los brotes en cada tratamiento usando una regla milimétrica.

Análisis Estadístico

Se realizó un Análisis de varianza de una sola vía y la comparación múltiple de medias utilizando la prueba de Tukey, con un nivel de significancia al 95%. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

Rendimiento Global de Quitosano

Para obtener el rendimiento global del quitosano se utilizó la Ecuación 1, descrita con anterioridad; se tomó el peso inicial de la muestra de exoesqueletos de camarón, el cual en estado de polvo se obtuvieron 154.63 g y como peso final se tomó el peso del quitosano seco que fue de 81.22 g.

El quitosano a partir de exoesqueletos de crustáceos es un bioproducto con amplias aplicaciones en agricultura; gracias a sus características es considerado como un material con un amplio campo de aplicaciones. En el presente estudio se obtuvo un rendimiento de 52.5% de quitosano a partir del camarón; éste porcentaje de rendimiento concuerda por lo obtenido por otros autores como Hernández *et al.* (2009); Paz *et al.* (2012) y Taquez y Vargas, 2018²), que obtuvieron rendimientos similares y que consideran este porcentaje de obtención como una transformación sintética eficiente (Hernández *et al.*, 2009).

Longitud Radicular en Esquejes de *Salicornia bigelovii*, Tratadas con Quitosano de Origen Marino (QUI) y Ácido Indol Butírico (AIB).

Los resultados sobre la longitud de las raíces se observan en la Cuadro 2. 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 QUI 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 en esta segunda evaluación (60 días) sobresalieron los tratamientos a base de QUI a una concentración de 100% + AIB a 0.937 g kg⁻¹ (2.4 cm) y QUI a 50% + AIB a 0.937 g kg⁻¹ (2.3 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 QUI a 100% + AIB 0.937 g kg⁻¹ y QUI a 50% + AIB 0.937 g kg⁻¹ (18.1 cm y 17.7 cm, respectivamente, ($P \leq 0.05$). No se observó diferencia significativa entre los niveles de la concentración de QUI (100 y 50%), en combinación con AIB. Sin embargo, si se observó diferencia significativa entre los niveles de QUI, siendo el tratamiento más efectivo el de mayor concentración (15.6 cm contra 12.5 cm). Un comportamiento similar se observó entre los niveles de AIB no detectándose 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 mostraron que el desarrollo radicular inició a partir de los 60 días, además se observó que el tratamiento más efectivo fue 400 veces mejor que el testigo. La quitina y el quitosano han sido ampliamente utilizados en agricultura en cultivos como el maíz (Peña-Datoli *et al.*, 2016), el tabaco (González-Gómez *et al.*, 2017), el arroz (Molina-Zerpa *et al.*, 2017) y la orquídea (Vera Alvarado, 2017³), entre otros, mejorando el enraizamiento y la producción del follaje y encontrándose un mejor desarrollo con la aplicación del quitosano. Así mismo, se ha reportado

² Taquez Bueno, L. A. y G. F. Vargas Torres. 2018. Obtención y evaluación del quitosano a nivel laboratorio para la depuración de aguas residuales industriales provenientes de un laboratorio cosmético. Tesis. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.

³ Vera Alvarado, K. E. 2017. Uso de quitosano en medios de cultivo para el desarrollo en la propagación in vitro de la orquídea *Cattleya* spp. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Cuadro 2. Longitud radicular en esquejes de *Salicornia bigelovii* tratados con quitosano de origen marino (QUI) y ácido indol butírico (AIB).

Table 2. Root length in *Salicornia bigelovii* cuttings treated with marine-derived chitosan (QUI) and indole butyric acid (IBA).

Tratamiento	Longitud radicular (cm)					
	30	60	90	120	150	180
Día						
QUI concentración 50%	0	0.9± 0.8	3.4± 2.1	7.9± 2.8	9.3± 2.9	12.5± 2.1 c
QUI concentración 100%	0	1.5± 0.8	4.8± 2.3	6.9± 3.0	10.3± 2.2	15.6± 2.0ab
AIB 0.937 g kg ⁻¹	0	0.9± 0.6	3.5± 0.9	6.1± 2.0	8.8± 3.1	11.7± 1.5c
AIB 1.25 g kg ⁻¹	0	0.7± 0.5	4.5± 1.5	6.3± 2.0	9.5± 2.8	10.7± 1.7cd
QUI al 50% + AIB 0.937 g kg ⁻¹	0	2.3± 0.6	4.4± 2.3	6.9± 2.5	13.0± 3.0	17.7± 2.1a
QUI al 50% + AIB 1.25 g kg ⁻¹	0	1.6± 0.9	3.4± 2.0	6.4± 2.3	9.4± 3.3	14.6± 2.3ab
QUI al 100% + AIB 0.937 g kg ⁻¹	0	2.4± 1.3	3.2± 1.4	7.3± 3.0	11.4± 2.0	18.1± 1.8a
QUI al 100% + AIB 1.25 g kg ⁻¹	0	2.1± 0.7	3.1± 1.0	6.1± 1.5	10.1± 2.1	15.6± 2.3ab
Testigo	0	0	0.9± 0.4	2.1± 0.6	2.5± 1.3	3.3± 3.1e

QUI = bioproducto quitosano de origen marino; AIB = ácido indol butírico. Diferentes letras en la columna del día 180 indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$). La media corresponde a cinco repeticiones por tratamiento.

QUI = chitosan bioprodut of marine origin; AIB = indole butyric acid. Different letters in the column of day 180 indicate significant difference ($P \leq 0.05$). Mean value corresponds to five repetitions per treatment.

que las semillas que son tratadas con quitosano mejoran su proceso de germinación y además produce mejores rendimientos en la cosecha (Hadwiger *et al.*, 1984; Bhaskara *et al.*, 1999; Guan *et al.*, 2009), por efecto del quitosano pues protege los cultivos de patógenos y plagas ya que activa la respuesta de defensa de la planta, ayuda en la liberación de nutrientes y protege del daño microbiano (López *et al.*, 2012; Dima *et al.*, 2017).

Asimismo, el tratamiento de quitosano en las plantas produce un falso estrés en estas, de manera que confunde el quitosano con la presencia de patógenos, desencadenando una serie de mecanismos de autodefensa, en los cuales la planta está preparada para evitar la afectación por patógenos. El quitosano también activa la formación de barreras físicas, induciendo la acumulación de sustancias fungitoxicas e impidiendo el flujo de nutrientes al patógeno (Lizárraga *et al.*, 2011). En otros estudios con extractos de origen marino (Silva *et al.*, 2001; Gálvez, 2005¹), señalan una inducción a la promoción del sistema radicular, debido a la estimulación de la síntesis de fitohormonas en el vegetal estudiado. Lo anterior sugiere que el quitosano en *Salicornia*, tiene un potencial efecto sobre la síntesis de algunas fitohormonas específicamente del tipo de giberelinas, que están directamente relacionadas al desarrollo radicular de las plantas. En este sentido, Lira,

(2003), señala que las hormonas, del tipo giberelinas y auxinas son sintetizadas en los ápices vegetales, donde el efecto en la tasa y longitud final radicular producido por estas, se debe específicamente al incremento en la tasa de división celular (Fallik *et al.*, 2000). Con base a lo anterior descrito, los señalados autores indican que el quitosano puede ser una alternativa importante en la agricultura; los resultados obtenidos en la promoción radicular en esquejes, específicamente en *Salicornia*, indican que este polímero puede ser utilizado ayudando y mejorando en gran manera a la industria agrícola.

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 3. Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). Los mejores tratamientos fueron el QUI en ambas concentraciones (100 y 50%) conjuntamente con el AIB a una concentración de 0.937 g kg⁻¹ (633 y 622.8 mg, respectivamente). En un segundo orden, se ubicaron los tratamientos de QUI 100 y 50% con el AIB a 1.25 g kg⁻¹ (544.9 y 529.2 mg, respectivamente). Los tratamientos con solo AIB tuvieron valores significativamente mayores al testigo control, pero

Cuadro 3. Peso fresco y seco de raíz de sistema radicular de esquejes de *Salicornia bigelovii* a los 180 días de tratamiento.
Table 3. Fresh and dry root weight of the root system of *Salicornia bigelovii* cuttings after 180 days of treatment.

Tratamiento	Peso fresco	Peso seco
----- mg -----		
QUI concentración 50%	459.5± 122.9 c	38.1± 21.5 c
QUI concentración 100%	547.3± 198.1 ab	47.6± 11.7 ab
AIB 0.937 g kg ⁻¹	420.3± 136.0 c	36.4± 10.7 c
AIB 1.25 g kg ⁻¹	410.3± 162.3 cd	32.0± 10.8 cd
QUI al 50% + AIB 0.937 g kg ⁻¹	622.8± 120 a	54.1± 10.7 a
QUI al 50% + AIB 1.25 g kg ⁻¹	529.2± 142.8 ab	48.1± 11.0 ab
QUI al 100% + AIB 0.937 g kg ⁻¹	633.0± 144 a	56.8± 11.7 a
QUI al 100% + AIB 1.25 g kg ⁻¹	544.9± 121.1 ab	44.8± 10.2 ab
Testigo	109.8± 41.2 e	12.8± 2.3 e

QUI = bioproducto quitosano de origen marino; AIB = ácido indol butírico. Diferentes letras en las columnas indican diferencia significativa con ($P \leq 0.05$). La media corresponde a cinco repeticiones por tratamiento.

QUI = chitosan bioprodut of marine origin; AIB = indole butyric acid. Different letters in the column of day 180 indicate significant difference ($P \leq 0.05$). Mean value corresponds to five repetitions per treatment.

inferiores a los tratamientos combinados. Este comportamiento también se observó en la variable de peso seco.

En plantas de lechuga en condiciones de invernadero y utilizando quitosano como tratamiento, se obtuvo un mayor peso fresco de la parte aérea y de la raíz (Benavides *et al.*, 2001⁴). Así mismo, Ohta *et al.* (1999) reportaron mejora en peso fresco y peso seco de la flor *Eustoma grandiflorum* al utilizar quitosano. En cultivos de tomate se ha utilizado quitosano como tratamiento, teniendo resultados efectivos para peso fresco (Estrada *et al.*, 2013). En otro estudio, se empleó un producto comercial a base de quitosano observándose un incremento significativo en el crecimiento vegetativo (longitud de la planta, número de hojas/planta, área foliar, crecimiento radicular, peso fresco y seco), así como en los atributos de rendimiento (peso de la fruta, rendimiento temprano y total/planta) de la planta de fresa (El-Miniawy *et al.*, 2013). Los resultados obtenidos en nuestro experimento, concuerdan con los previamente citados (Ohta *et al.*, 1999; Benavides *et al.*, 2001⁴; Estrada *et al.*, 2013; El-Miniawy *et al.*, 2013) al obtener que el quitosano tiene un efecto benéfico sobre el crecimiento vegetativo de *Salicornia bigelovii*.

Número y Longitud de los Nuevos Brotes en Esquejes de *Salicornia bigelovii*

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el número de brotes desarrollados en los esquejes sometidos a diferentes tratamientos (Cuadro 4). QUI en ambas concentraciones y en combinación con las dos concentraciones de AIB produjeron mayor cantidad de brotes que los tratamientos donde el QUI 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.

En este estudio el quitosano en ambas concentraciones y en combinación con las dos concentraciones de AIB, produjo un incremento de hasta 800% en la producción de nuevos brotes. En general, en las variables evaluadas, la aplicación de QUI al 100% + AIB a 0.937 g kg⁻¹, fue la más efectiva en comparación con la de 1.25 g kg⁻¹. Lo anterior se debe a que el uso de AIB puede afectar positivamente el desarrollo adecuado de las plantas, lo cual ha sido

⁴ Benavides M., A. R. Alonso-Velasco, J. Romero, A. S. Ledesma y J. M. Raygoza. 2001. La aplicación foliar de quitosano en ácido acético aumenta la biomasa de la lechuga. Avances y Resultados de Proyectos de Investigación 1991-2001: XXX VBBBO NY5: 190-193.

Cuadro 4. Número y longitud de los nuevos brotes en esquejes de *Salicornia bigelovii* a los 180 días después del trasplante.
Table 4. Number and length of new shoots in *Salicornia bigelovii* cuttings at 180 days after transplantation.

Tratamiento	Número	Longitud cm
QUI concentración 50%	3± 3 c	17.1± 2.7 a
QUI concentración 100%	7± 3 ab	16.6± 2.9 a
AIB 0.937 g kg ⁻¹	3± 3 c	15.4± 1.9 a
AIB 1.25 g kg ⁻¹	3± 3 cd	13.0± 2.0 ab
QUI al 50% + AIB 0.937 g kg ⁻¹	9± 4 a	13.1± 1.9 ab
QUI al 50% + AIB 1.25 g kg ⁻¹	7± 3 ab	17.1± 2.2 a
QUI al 100% + AIB 0.937 g kg ⁻¹	9± 3 a	15.0± 2.9 a
QUI al 100% + AIB 1.25 g kg ⁻¹	7± 3 ab	15.0± 1.4 a
Testigo	1± 1 de	10.9± 3.4 bc

QUI = bioproducto quitosano de origen marino; AIB = ácido indol butírico. Diferentes letras en las columnas indican diferencia significativa con ($P \leq 0.05$). La media corresponde a cinco repeticiones por tratamiento.
 QUI = chitosan bioprodut of marine origin; AIB = indole butyric acid. Different letters in the column of day 180 indicate significant difference ($P \leq 0.05$). Mean value corresponds to five repetitions per treatment.

corroborado por autores como Montaldo (1979) y Cueva (2007⁵); sin embargo, los mismos autores señalan que AIB a dosis altas puede ser tóxico para la planta.

Otros estudios y con diferentes cultivos como el girasol, al utilizarse el quitosano como tratamiento en semillas de esta planta, se obtuvo un incremento en los brotes totales y una mayor germinación (Bhaskara *et al.*, 1999). De igual manera, en plantas de orquídea *Cattleya* spp. se obtuvo un mayor número de brotes de la flor en los tratamientos de mayor concentración de quitosano (Vera Alvarado, 2017³). Lo anterior indica que al utilizar el quitosano como bioproducto agrícola, mejora las características generales de *Salicornia* e induce la producción de brotes en la halófita.

CONCLUSIONES

En el presente estudio la extracción y aplicación de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón, promovió la longitud radicular, el número de brotes y el incremento en el peso seco y fresco de esquejes

de *Salicornia bigelovii*. Al aplicar el bioproducto quitosano conjuntamente con ácido indol butírico, a las concentraciones evaluadas, el desarrollo radicular puede incrementarse hasta en 400% y la producción de brotes fotosintéticos hasta en un 800%. Bajo las condiciones en que se desarrolló el estudio, se concluye que el uso de esquejes es una alternativa para la multiplicación de plantas de *Salicornia bigelovii* y que su enraizamiento, se ve favorecido con la aplicación de quitosano y AIB a 0.937 g kg⁻¹.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a CONACYT por el apoyo en la Beca Nacional 332147 para el nivel de Doctorado en el Instituto Tecnológico de Sonora en Obregón, Sonora, México.

LITERATURA CITADA

- Arbo, M. M., M. Silvia Ferrucci y A. M. González. 2006. Morfología de plantas vasculares. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina. www.biologia.edu.ar/botanica. (Consulta: diciembre 20, 2018).
- Beltrán Burboa, C. E., M. E. Arce, O. Bianciotto, G. A. López Ahumada, J. M. Vargas, L. G. Hernández Montiel, J. J. Reyes-Pérez, A. Nieto-Garibay, F. H. Ruiz-Espinoza, F. Ayala Alvarez, R. Cisneros Almazán, F. J. Wong Corral, J. Borboa Flores y E. O. Rueda-Puente. 2017. *Salicornia bigelovii* (TORR.): Un sistema modelo para incorporarse como cultivo agrícola en zonas árido-desérticos. Biotecnia 19: 46-50.
- Bhaskara-Reddy, M. V., J. Arul, P. Angers, and L. Couture. 1999. Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. J. Agric. Food Chem. 47: 1208-1216. doi: 10.1021/jf981225k.
- Dima, J. B., C. Sequeiros y N. Zaritzky. 2017. Síntesis de microesferas de quitosano para encapsular y liberar fertilizante. pp. 595-600. In: IV Jornadas de investigación, transferencia y extensión de la Facultad de Ingeniería. La Plata, Argentina. ISBN: 978-950-34-1453-8.
- Dima, J. B., N. Zaritzky y C. Sequeiros. 2014. Obtención de quitina y quitosano a partir de exoesqueletos de crustáceos patagónicos: Caracterización y aplicaciones. <http://www.bioeconomia.mincyt.gob.ar/wp-content/uploads/2014/12/4-Obtenci%C3%B3n-de-quitina-y-quitosano-a-partir-de-exoesqueleto-de-crust%C3%A1ceos-patag%C3%BDnicos-caracterizaci%C3%B3n-y-aplicaciones-J.-Dima.pdf>. (Consulta: febrero 7, 2019).
- Domini, A. K. 2018. Potencialidades del quitosano para la fresa. Usos en la mejora y conservación de los frutos. Cult. Trop. 39: 134-142.

⁵ Cueva Solís, J. S. 2007. Efecto del ácido 3-indol-butírico (AIB) para incrementar la producción de raíces comerciales en yuca (*Manihot esculenta*) Valencia. Tesis de Licenciatura (No. T2392). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

- El-Miniawy, S. M., M. E. Ragab, S. M. Soliman Youssef, and A. A. Metwally. 2013. Response of strawberry plants to foliar spraying of chitosan. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 9: 366-372.
- Estrada-Prado, W., E. Lescay-Batista, L. Rodríguez-Laramendi, S. Infante-López y A. García-Alcántara. 2013. Efecto de diferentes productos bioactivos sobre algunos indicadores agroproductivos en el cultivo del tomate, var. Amalia, en condiciones semicontroladas. *Rev. Gramma Cienc.* 17: 1-10.
- Fallik, E., S. Saring, and Y. Okon. 2000. Morphology and physiology of plant roots associated with *Azospirillum*. pp. 77-86. In: Y. Okon (ed.). *Azospirillum/plant associations*. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Flowers, T. J. and T. D. Colmer. 2015. Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Ann. Bot.* 115: 327-331. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcu267>.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F., México.
- González Peña, D., D. Costales y A. B. Falcón. 2014. Influencia de un polímero de quitosana en el crecimiento y la actividad de enzimas defensivas en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cult. Trop.* 35: 35-42.
- González, L. G., A. Falcón, M. C. Jiménez, L. Jiménez, J. Silvente y J. C. Terrero. 2015. Evaluación de tres dosis del bioestimulante Quitosana en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) en un periodo tardío. *Rev. Amazonica Cienc. Tecnol.* 1: 42-48.
- González-Gómez, L. G., M. C. Jiménez-Arteaga, L. Vaquero-Cruz, I. Paz-Martínez, A. Falcón-Rodríguez y L. Araujo-Aguilera. 2017. Evaluación de la aplicación de quitosana sobre plántulas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.). *Rev. Centro Agríc.* 44: 34-40.
- Guan, Y. J., J. Hu, X. J. Wang, and C. X. Shao. 2009. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *J. Zhejiang Univ. Sci. B* 10: 427-433. doi: 10.1631/jzus.B0820373.
- Hadwiger, L. A., B. Fristensky, and R. Riggleman. 1984. Chitosan, a natural regulator in plant-fungal pathogen interactions, increases crop yields. pp. 291-302. In: J. P. Zikakis (ed.). *Chitin, chitosan and related enzymes*. Academic Press. Orlando, FL, USA. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-780950-2.50024-1>.
- Hernández-Cocoletzi, H., E. Águila-Almanza, O. Flores-Agustín, E. L. Viveros-Nava y E. Ramos-Cassellis. 2009. Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. *Sup. Vacío* 22: 57-60.
- Jordán, M. y J. Casaretto. 2006. Hormonas y reguladores del crecimiento: Auxinas, giberelinas y citocininas. pp. 1-28. In: F. A. Squeo y L. Cardemil (eds.). *Fisiología vegetal*. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.
- Lira S., R. H. 2003. *Fisiología vegetal*. Ed. Trillas. México, D. F.
- Lizárraga-Paulín, E., I. Torres-Pacheco, E. Moreno-Martínez y S. Miranda-Castro. 2011. Protección contra estrés biótico inducida por quitosán en plántulas de maíz (*Zea mays* L.). *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2: 813-827.
- López-Corona, B. E., I. Mondaca-Fernández, P. Gortáres-Moroyoqui, J. Holguín Peña, M. M. Meza-Montenegro, J. J. Balderas-Cortés, J. M. Vargas-López, and E. O. Rueda-Puente. 2019. Technique of cutting in agriculture: an alternative at the vanguard. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 22: 505-517.
- López-Mata, M., S. Ruiz-Cruz, C. Navarro-Preciado, J. J. Ornelas-Paz, M. Estrada-Alvarado, L. Gassos-Ortega y J. Rodrigo-García. 2012. Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas. *Biotecnia* 14: 33-43.
- Martínez-González, L., Y. Reyes-Guerrero, A. Falcón-Rodríguez y M. Núñez-Vázquez. 2015. Efecto del tratamiento a las semillas con quitosana en el crecimiento de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivar INCA LP-5 en medio salino. *Cult. Trop.* 36: 143-150.
- Molina-Zerpa, J. A., M. Colina-Rincón, D. Rincón y J. A. Vargas-Colina. 2017. Efecto del uso de quitosana en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L. variedad sd20a). *Rev. Invest. Agr. Amb.* 8: 151-165.
- Montaldo, A. 1979. La Yuca o mandioca: Cultivo, industrialización, aspectos económicos, alimentación y mejoramiento. IICA. Número 38 de la Serie de Libros y Materiales Educativos. Costa Rica. ISBN: 9290390530, 9789290390534.
- Ohta, K., A. Taniguchi, N. Konishi, and T. Hosoki. 1999. Chitosan treatment affects plant growth and flower quality in *Eustoma grandiflorum*. *HortScience* 34: 233-234.
- Paz, N., M. Fernández, O. D. López, A. Nogueira, C. M. García, D. Pérez, J. L. Tobella, Y. Montes y D. Díaz. 2012. Optimización del proceso de obtención de quitosano derivada de quitina de langosta. *Rev. Iberoam. Polím.* 13: 103-116.
- Peña-Datoli, M., C. Hidalgo-Moreno, V. González-Hernández, E. Alcántar-González y J. Etchevers-Barra. 2016. Recubrimiento de semillas de maíz (*Zea mays* L.) con quitosano y alginato de sodio y su efecto en el desarrollo radical. *Agrociencia* 50: 1091-1106.
- Rodríguez Reyes, R., J. Figueredo Villaverde y O. González Panequé. 2013. Influencia de la quitosana en tomate (*Solanum lycopersicum*, Mill) var. "Amalia". *Centro Agríc.* 40: 79-84.
- Rivero G., D., A. Cruz, B. Martínez, M. Ramírez, A. T. Rodríguez, and R. Cárdenas. 2004. Efecto protector de la quitosana en semillas de arroz frente a *Fusarium* sp. *Rev. Protec. Veg.* 19: 140-144.
- Rueda-Puente, E. O., J. A. Villegas-Espinoza, L. E. Gerlach-Barrera, M. A. Tarazón-Herrera, B. Murillo-Amador, J. L. García-Hernández y P. Preciado-Rangel. 2009. Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre la germinación de *Salicornia bigelovii*. *Terra Latinoamericana* 27: 345-354.
- SAS Institute. 2001. User's Guide: Statistics, Version 8.2. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Silva-Garza, M. A., H. Gámez-González, F. Zavala-García, B. Cuevas-Hernández y M. Rojas-Garcidueñas. 2001. Efecto de cuatro fitorreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol. *Ciencia UANL* 4: 69-75.