



Revisión [Review]

TÉCNICA DE ESQUEJES EN AGRICULTURA: UNA ALTERNATIVA A LA VANGUARDIA[†]
[TECHNIQUE OF CUTTING IN AGRICULTURE: AN ALTERNATIVE AT THE VANGUARD]

**Betzabe Ebenhezer Lopez-Corona¹, Iram Mondaca-Fernandez¹,
Pablo Gortares-Moroyoqui¹, Jaime Holguín Peña²,
Maria Mercedes Meza-Montenegro¹, Jose de Jesus Balderas-Cortes¹,
Juan Manuel Vargas-Lopez³ and Edgar Omar Rueda-Puente^{4*}**

¹*Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), Ciudad Obregón, Sonora, México.*

²*Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), La Paz, B.C.S. México.*

³*Universidad de Sonora, Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Hermosillo, Sonora, México.*

⁴*Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería, Hermosillo, Sonora, México. Email: erueda04@santana.uson.mx*

**Corresponding author*

RESUMEN

Las múltiples afectaciones en la agricultura por condiciones morfogénicas de las plantas conllevan la preocupación de buscar nuevas alternativas viables para la propagación y desarrollo factible de los cultivos. Tal es el caso de técnicas de micropropagación como la de esquejes, que se basa en la promoción y multiplicación de plantas, de forma rápida, eficiente y en grandes cantidades; es por ello que ha sido considerada como uno de los métodos biotecnológicos de mayores logros en la agricultura. La técnica de esquejes da como resultado una nueva planta idéntica a la planta de la que precede, es una técnica rápida y sencilla que puede ser realizada en la mayoría de las plantas. Una forma de garantizar el desarrollo de raíces de forma adecuada durante las técnicas de micropropagación, es mediante la utilización de ciertos reguladores de crecimiento, de los cuales los tradicionalmente utilizados son las auxinas, algunos ejemplos son los ácidos indol-3-acético (AIA), ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolbutírico (AIB). Dichas sustancias promueven la iniciación de raíces y se les ha atribuido la capacidad de estimular las divisiones celulares en la radícula. Además de las auxinas, las raíces de los esquejes se pueden favorecer utilizando tratamientos a base de hormonas, microorganismos y compuestos bioactivos. Las características morfogénicas de las plantas y la aplicación de tratamientos entre otros factores contribuyen al establecimiento exitoso de un cultivo.

Palabras clave: Propagación; cultivos; crecimiento vegetal; fitohormonas.

SUMMARY

The multiple effects in agriculture due to plant morphogenic conditions lead to the concern to search viable alternatives for the propagation and feasible development of crops. Therefore, it has had to resort to new techniques, such is the case of micropropagation techniques such as cuttings, which are based on the promotion and multiplication of plants, quickly, efficiently and in large quantities; due this reason it has been considered one of the most successful biotechnological methods in agriculture. The technique of cuttings results in a new plant identical to the plant from which it precedes; this quick and simple technique can be performed on most plants. One way of guaranteeing root development properly during micropropagation techniques is the use of certain growth regulators, of which the most used are the auxins, such as indole-3-acetic acids (AIA), Naphthaleneacetic acid (ANA) and indolbutyric acid (AIB). These auxins promote the initiation of roots and have been attributed the ability to stimulate cell divisions in the radicle. In addition to the auxins, the roots of the cuttings can be favored using treatments based on hormones, microorganisms and bioactive compounds. The morphogenic characteristics of the plants and the application of treatments, among other factors, contribute to the successful establishment of a crop.

Keywords: Propagation; crops; plant growth; phytohormones.

[†] Submitted January 12, 2018 – Accepted June 3, 2019. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462

INTRODUCCIÓN

La propagación sexual de algunas especies vegetales ha presentado diferentes problemáticas, entre ellas la dificultad del manejo, tamaño, número y forma de las semillas y bajos porcentajes de germinación (Giba *et al.*, 1995; Medina y Lobo, 2004). Las múltiples afectaciones en la agricultura por estas problemáticas conllevan la preocupación de buscar nuevas alternativas viables para la propagación y desarrollo factible de los cultivos.

Entre los tipos de propagación figura la clonal o asexual de las plantas, la cual es una herramienta que utiliza una o varias partes vegetativas para multiplicarla en un menor periodo de tiempo y con una alta similitud genética a la planta madre. Se ha mencionado que el empleo de tejidos de origen vegetal permite conservar el potencial del material utilizado (Zobel y Talbert, 1988). En la actualidad, la agricultura ha tenido que desarrollar nuevas técnicas para mejorar y facilitar el desarrollo de las plantas, tal es el caso de técnicas de micropropagación como la de esquejes. Dichos métodos buscan hacer más efectivos los cultivos, disminuir los efectos negativos en el suelo, minimizar el uso de fertilizantes químicos, así como disminuir los impactos negativos que tienen las actividades agrícolas sobre el medio ambiente (Carvajal y Mera, 2010).

La técnica de esquejes se utiliza para promover la multiplicación y propagación de nuevas plantas idénticas genéticamente en gran cantidad. Sin embargo, con la finalidad de acortar los tiempos de generación de raíces y brotes fotosintéticos, se ha recurrido al uso de las fitohormonas.

Las hormonas vegetales son fundamentales en el desarrollo de las plantas ya que favorecen la síntesis de órganos como como la raíz (Silva *et al.*, 2001, Gálvez *et al.*, 2005). En este sentido, el enraizamiento es un factor determinante en el rendimiento de un cultivo, este factor es primordial en el establecimiento del mismo, por ello se debe realizar una adecuada selección de plantas madres maduras y sanas (Alves, 2002).

El objetivo de la propagación por esquejes es obtenerlos con alta calidad de enraizado, con una respuesta rápida al trasplante, es decir, que tenga un porcentaje de supervivencia muy elevado, considerando una uniformidad de las plantas para garantizar la calidad del cultivo (Pérez y Gómez, 2005).

La planta madre de la cual procederá la progenie debe cumplir con características deseables que garanticen un alto rendimiento y calidad en la producción (Pérez y Gómez, 2005).

Técnicas de propagación de plantas

Gracias a las características morfogénicas de las plantas que incluye la formación de nuevos brotes o yemas adventicias y el proceso de enraizamiento de éstos, es posible la multiplicación asexual de especies vegetales manteniendo el mismo genotipo de la planta madre en la nueva progenie. Esta técnica de propagación en plantas es denominada micropropagación o propagación clonal (Hoyos *et al.*, 2008). Mediante este método se logra un control fitosanitario estricto, así como la obtención de un gran número de clones con características homogéneas y más saludables, lo que la hace una herramienta de utilidad para el fitomejorador (Cano Sanz, 2004).

Dependiendo de las características de la planta que se pretenda propagar y del objetivo perseguido, la micropropagación puede realizarse a través de tres vías de regeneración: brote de yemas adventicias preexistentes, producción de yemas “*novo*” y embriogénesis somática (Olmos *et al.*, 2004). La propagación de las plantas se desarrolla en un ambiente rico en sales, minerales, vitaminas, fitohormonas y una fuente carbonada. Las técnicas de micropropagación tienen como objetivo obtener una descendencia uniforme, es decir plantas genéticamente idénticas (Castillo, 2004) y sobre todo en un periodo corto de tiempo. Estas técnicas son de las más utilizadas en los cultivos y sugieren una alternativa viable para el desarrollo de las plantas, ya que potencialmente puede obtenerse una cantidad ilimitada de plantas por la multiplicación masiva utilizando este tipo de métodos (Arbeloa *et al.*, 2018).

Etapas de la micropropagación

La micropropagación es una herramienta muy útil para la agricultura, ya que tiene el potencial de producir plantas de buena calidad. Algunos cultivos enfrentan problemas que los limitan grandemente. Las técnicas de micropropagación contribuyen a combatir estos problemas con la producción de patrones clonales selectos, sanos y uniformes, que potencialmente pueden proporcionar una cantidad ilimitada de plantas por la multiplicación masiva (Arbeloa *et al.*, 2018). Esta técnica se desarrolla en cuatro etapas principales: a) establecimiento del cultivo; b) desarrollo y multiplicación vegetal, c) enraizamiento y d) aclimatación de las plántulas. Además de las citadas etapas, es necesario establecer las condiciones de pre-cultivo para asegurar que sean las adecuadas. Primeramente, se debe realizar una selección de la planta que será trasplantada, es decir la planta donante, que debe tener las características agronómicas deseables (Olmos *et al.*, 2004).

Etapas 1. El objetivo del establecimiento del cultivo es lograr cultivos viables: en esta primera etapa se busca

tener control estricto en la selección, aislamiento y esterilización de los explantes. La desinfección superficial incluye la utilización de agua corriente, etanol, hipoclorito de sodio y agua destilada estéril, esto con la finalidad de disminuir la carga bacteriana y patógenos como los hongos etc., que puedan perjudicar el desarrollo de la planta (Olmos *et al.*, 2004).

Etapas 2. Durante la etapa de multiplicación, el objetivo principal será conservar e incrementar el número de brotes que procederán a las siguientes etapas del desarrollo vegetal. El empleo de ciertos reguladores de crecimiento como las citocinas, giberelinas, auxinas, etc., favorecerá la multiplicación clonal de los explantes (Olmos *et al.*, 2004).

Etapas 3. Enraizamiento, en esta etapa se busca lograr el desarrollo de la raíz de los esquejes. En algunas especies puede dificultarse esta etapa, por lo cual se puede acudir a sustancias promotoras de enraizamiento, como hormonas y compuestos bioactivos.

Etapas 4. En la última etapa de aclimatación de las plántulas, se lograrán las condiciones necesarias para optimizar la supervivencia de las plantas hijas.

Técnica de esquejes

La técnica de esquejes es una técnica de micropropagación asexual que se lleva a cabo en las plantas (Ramírez y Franchialfaro, 2003). En esta técnica una parte de la planta (tallos, raíces u hojas), son colocados en condiciones favorables para su desarrollo. Estos esquejes se plantarán y darán lugar a una nueva planta genéticamente igual a la planta de la que precede (Morales, 2009). La técnica de esquejes además de ser rápida y sencilla (Medina *et al.*, 2007), funciona gracias a la propiedad de totipotencia celular propuesta por Haberlandt (1902), donde se establece que una planta puede regenerar otra planta de manera similar genéticamente si se encuentran en las condiciones adecuadas (Echenique *et al.*, 2004), basado en el principio de que cualquier célula vegetal posee una copia del material genético de la planta madre (Fert y Paul, 2000). Como consecuencia las células vegetales del tallo, hojas, raíz, etc. podrán desarrollarse de acuerdo a las condiciones que les sean dadas.

Las hormonas en la micropropagación cumplen un papel fundamental en la regeneración de la nueva planta, por ende, se deben considerar los factores intrínsecos de cada genotipo en cada fase del cultivo (Olmos *et al.*, 2004). Asimismo, las condiciones hídricas y nutricionales de la planta madre afecta directamente la formación de raíces adventicias; en diferentes ocasiones se ha sometido la planta madre a periodos pequeños de sequía para mejorar la calidad de

enraizamiento; sin embargo, el tiempo juega un papel importante en el enraizado (Pérez y Gómez, 2005).

El estado nutricional de los esquejes es otro factor primordial, ya que se ha observado en diferentes especies que un aporte elevado de nitrógeno en la planta madre, reduce el enraizamiento, debido a la relación del nitrógeno con los hidratos de carbono, que son de gran importancia en la formación de raíces adventicias (Pérez y Gómez, 2005).

La planta madre que se utiliza en los esquejes debe proceder de una planta "elite", es decir de una planta con las características deseables y que deberá ser renovada a menudo para evitar contaminaciones (Pérez y Gómez, 2005).

La mayoría de las plantas puede ser reproducida por esta técnica (Lesniewicz, 1988). Anexo a los factores previamente indicados, otro a considerar en la técnica de esquejes es el sustrato en el cual se desarrollará la nueva planta, ya que es de importancia para lograr el éxito en la etapa de multiplicación; el sustrato sirve como medio de anclaje donde el sistema radicular se desarrollará exitosamente. Los sustratos más utilizados en las técnicas de propagación son: orgánicos (tierra, turba, compost) e inorgánicos (perlita, vermiculita y arena) (López *et al.*, 2008). Algunos autores como Ramírez *et al.* (2009), mencionan que es importante utilizar un sustrato adecuado que facilite una correcta aireación y retención de humedad.

Ventajas y desventajas de la técnica de esquejes

Como se ha detallado en líneas anteriores, la técnica de esquejes producirá como resultado una planta hija genéticamente similar a la madre; esta condición provee no solo ventajas sino también desventajas. Si bien, la planta madre es, por ejemplo, una planta que produce frutos de excelente calidad, la hija tendrá dichos frutos de igual manera asegurando con esto el resultado deseado; sin embargo, si la primera ha sido afectada por algún patógeno o enfermedad la descendiente se verá afectada de igual manera.

Una de las ventajas de esta técnica es que se pueden producir plantas resistentes y bien adaptadas al medio, se pueden obtener frutos de excelente calidad, lo cual la hace una técnica muy rentable. Las técnicas de micropropagación han sido consideradas como uno de los métodos biotecnológicos de mayores logros en la agricultura, además de ser un método rápido, sencillo y poco costoso. Otra de las ventajas de estos métodos es la estabilidad genética que se adquiere en las plantas hijas obtenidas (Orozco, 1996). Entre las desventajas de la técnica de esquejes se encuentra su facilidad para producir raíces adventicias o aéreas, que pueden causar que la planta se caiga. Además, son de importancia las características agronómicas de la planta, ya que en

algunos casos estas son difíciles de enraizar limitando la técnica, por lo anterior se puede acudir al uso de ciertos promotores de enraizamiento.

Cambios morfológicos y fisicoquímicos

Sin duda uno de los aspectos más importantes en los esquejes son las modificaciones morfológicas en los mismos. En este sentido, esta técnica es utilizada para las generación de nuevos órganos vegetativos; recientemente se observó que en los nuevos brotes en esquejes, la morfología de las hojas de plantas de papa, eran modificadas debido al transporte de RNA de la varetta hacia la parte aérea, determinando que la cantidad de material genético transportado era suficiente para modificar tamaño, forma y cantidad de tricomas en las hojas de los brotes; estos y otros tipos de cambios morfológicos han sido documentados por otros investigadores (Ohata, 1991; Taller *et al.*, 1999, Van Hooijdonk *et al.*, 2011). La conductancia estomática y la asimilación de CO₂, junto al crecimiento celular y la fotosíntesis, son los procesos primarios afectados por la falta de agua y la salinidad. Los efectos en la planta van desde una disminución en la asimilación de CO₂ causados por un transporte deficiente a través de las estomas y el mesófilo, hasta alteraciones en el metabolismo fotosintético o incluso pueden conducir a efectos secundarios causando estrés oxidativo en las células (Chaves *et al.*, 2009; Saied *et al.*, 2003; Sandalio *et al.*, 2001). En un estudio realizado en 2015 (Yuang *et al.*, 2015) en plantas de *Lagenaria siceraria* tolerante a alta salinidad, se observó que al aumentar el estrés por alta salinidad, la conductividad estomática (Gs) y la concentración de CO₂ intracelular (Ci) en los nuevos brotes disminuía, probablemente por el cierre de estomas que estaba iniciado por una señalización en los nuevos brotes tolerantes; estos resultados son similares a los obtenidos por Rouphael *et al.* (2012) quienes indican que hay una disminución en la actividad fotosintética de las plantas; sin embargo, esta disminución es hasta en un 50% mayor en las plantas en condiciones de estrés por altas concentraciones de NaCl. Los mismos autores también encontraron una correlación lineal inversa de la actividad fotosintética con respecto a la concentración de Na⁺ y Cl⁻ en hojas, atribuyendo el exceso de estos a un desorden en el aparato fotosintético tales resultados concuerdan con los de Aghaleh *et al.* (2009) y Liu *et al.* (2011; 2012).

En condiciones normales (sin estrés) se pudo apreciar (Lockard, 1976) el incremento de Ci, conductancia estomática y capacidad fotosintética de nuevos brotes en pepino, atribuyendo este incremento en la capacidad fotosintética y a un incremento en la cantidad de clorofila a y b en plantas; adicionalmente se reportó el incremento en la acumulación de carbohidratos en el fruto, debido a la actividad de dos enzimas claves para

este proceso. Resultados similares fueron presentados por Qi *et al.* (2006) y González *et al.* (2009) en melón y cítricos respectivamente. Estudios con apreciaciones similares fueron obtenidos por Qinghai *et al.* (2016) y Martínez Ballesta *et al.* (2010), sugiriendo que los nuevos brotes tienen la habilidad de utilizar de mejor manera el Ci en condiciones de estrés, así como presentar una mejor eficiencia fotosintética; esto último puede deberse a que los altos niveles de Ci disminuyen la transpiración de las hojas mejorando la eficiencia del uso del agua en la fotosíntesis (Jianlin *et al.*, 2008).

Con relación a la actividad enzimática en esquejes, se ha detectado que cuando éstos se encuentran bajo algún tipo de estrés esta es uno de los principales indicadores de estos cambios. Por otra parte, algunos investigadores se han concentrado en observar qué procesos fisiológicos y/o bioquímicos ocurren durante el brote y el enraizamiento, reportando que un proceso enzimático en particular es la acumulación de ERO'S (Especies reactivas de oxígeno) (Aloni *et al.*, 2013; Irisari *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2016), las cuales degradan la RUBISCO (Ribulosa-1,5 bifosfato Carboxilasa-Oxigenasa) y producen una disminución en la capacidad fotosintética de la planta específicamente en la fijación del carbono (Desimone *et al.*, 1996). Asimismo, Liao *et al.* (2016) reportaron que la emergencia o brote promueve el incremento de la concentración de enzimas claves para la fotosíntesis como la RUBISCO y RCA (RUBISCO activasa); dichas enzimas afectan directamente el potencial fotosintético de las plantas y por lo tanto perturban el potencial de rendimiento de las mismas (Morinaga e Ikeda, 1990).

En resumen, ocurren distintos tipos de respuesta en los esquejes durante su crecimiento a partir de órganos fotosintéticos y hasta que son enraizados como la acumulación de ERO'S, producción de metabolitos secundarios involucrados directa o indirectamente con la eliminación de patógenos, síntesis de óxido nítrico, y respuestas hipersensibles (Buchanan *et al.*, 2000). Un comportamiento similar se ha identificado en la actividad enzimática y otros compuestos bioquímicos de plantas donde se ha estudiado la producción de esquejes y/o injertos frente a diversos tipos de estrés (Cuadro 1).

Promotores de enraizamiento

Una práctica muy utilizada en la técnica de esquejes es el enraizamiento. Este proceso se define como el crecimiento del órgano embrionario cuando la semilla se encuentra germinando. Generalmente el enraizado se desarrolla subterráneamente y gracias a este se logra adquirir material genéticamente uniforme (Hartmann y Kester, 1995).

Cuadro 1. Bioquímica de plantas mediante la producción de esquejes e injertos en condiciones de estrés

Enzimas	Planta (esqueje y/o injerto)	Condición del estrés	Comportamiento de la enzima	Autores
Catalasa (CAT), Peroxidasa (POD), Superóxido dismutasa (SOD).	Tabaco	Virus de la papa yNTN	Aumento de POD y SOD, Disminución de CAT	Spoustová <i>et al.</i> (2015)
Subunidad 1 y 2 de la isoenzima de CAT	Tomate	<i>Fusarium</i>	Presencia de Subunidades	Vitale <i>et al.</i> (2014)
CAT, SOD	Tomate	Estrés hídrico	Aumento de SOD y CAT	Sánchez-Rodríguez <i>et al.</i> (2012)
Fenilalanina amonio-liasa (PAL)	Chile	<i>Fusarium</i>	Incrementan al inicio de la infección, Se estabilizan o disminuyen días después.	Jiang <i>et al.</i> (2010)
PAL	Berenjena	<i>Verticillium</i>	Incrementa PAL	Zhou <i>et al.</i> (1998)

La capacidad de enraizar de las plantas se asocia al estadio juvenil de desarrollo, donde participa la edad o el estado de madurez en la eficiencia de la propagación y en el desarrollo de los propágulos (Gutiérrez, 1995).

Durante el proceso de enraizamiento se muestran dos fases de desarrollo: 1) fase de inducción y 2) fase de iniciación. En la primera no se muestran cambios histológicos, mientras que en la segunda se empieza a formar el primordio radical (Gutiérrez, 1995).

El desarrollo completo del sistema radicular provee a la planta de la red necesaria para la correcta absorción de agua y de nutrientes, así como de un sistema de anclaje (García, 2016). Esta etapa depende de varios factores, entre ellos el déficit hídrico, la fotosíntesis, los sustratos y reguladores de crecimiento empleados (Loach 1988; Leakey *et al.*, 1990).

En algunas especies el enraizamiento es un proceso fácil; sin embargo, en otras con baja capacidad rizogénica es un proceso complicado y retardado; por lo tanto, se requiere la implementación de compuestos que favorezcan el desarrollo de la raíz (Lesniewicz, 1988). En estos casos se han empleado ciertos reguladores del crecimiento vegetal, los cuales alteran las características normales del desarrollo de las plantas (Olmos *et al.*, 2004, Ackerman y Hamemik, 1996), produciendo diferentes respuestas fisiológicas de estas (Salisbury y Ross, 1994).

Podemos encontrar reguladores del tipo natural que ya forman parte de la planta y del tipo sintético. Entre los de origen natural figuran principalmente las fitohormonas, que se caracterizan por participar en varias respuestas morfogénicas y de crecimiento de manera pleotrópica, es decir, una misma hormona puede participar, estimular e inhibir diferentes procesos de desarrollo de la planta (Srivastava, 2002).

Las fitohormonas son compuestos químicos de origen orgánico que son producidos por las plantas. De acuerdo a su función y estructura se clasifican en auxinas, citoquininas (CK), ácido abscísico (ABA), giberelinas (GA), etileno, jasmonatos (JA), ácido salicílico (SA), brasinosteroides y poliaminas (Cruz *et al.*, 2010).

Auxinas

El empleo de ciertos reguladores de crecimiento en agricultura ha sido muy común, principalmente para lograr la promoción de raíces (Couvillon, 1988). Entre dichos reguladores encontramos a las auxinas, las cuales pertenecen a la familia de las fitohormonas y se caracterizan por estimular el desarrollo de las raíces, aumentando la producción y calidad de las mismas en un menor periodo de tiempo (Sadhu, 1989). A estas hormonas se les ha atribuido la capacidad de estimular las divisiones celulares en la radícula (Wilson, 1994).

Las auxinas fueron las primeras fitohormonas en ser descubiertas y se ha reportado que aumentan la capacidad de enraizamiento gracias a sus efectos sobre la división celular, además de su efecto en la promoción del transporte de carbohidratos y cofactores foliares indispensables para las plantas (Phillips, 1975; Veierskov, 1988; Hartmann y Kester, 1996). Algunos autores como Gaspar y Hofinger (1988) mencionan que estas sustancias estimulan la síntesis de DNA produciendo una mayor división celular y favoreciendo la formación de raíces. Las auxinas han sido ampliamente utilizadas para favorecer el enraizamiento de esquejes, mediante la promoción de la división celular y la diferenciación de raíces y tallos (Jordán y Casaretto, 2006). Estas fitohormonas benefician el crecimiento vegetal mediante la estimulación de la actividad de la bomba de protones (H⁺-ATPasa) a través de dos mecanismos: activación

de las bombas preexistentes e inducción de la síntesis de nuevas H⁺-ATPasas (Jordán y Casaretto, 2006).

Entre otras de las funciones de las auxinas está la inducción de la síntesis de otras fitohormonas: las giberelinas, que promueven el crecimiento del tallo, por lo que indirectamente las auxinas también estimularían el crecimiento de la planta (Jordán y Casaretto, 2006); asimismo, las auxinas participan en la regulación de la proliferación, la elongación de raíces y la dominancia apical (Mok y Mok, 2001).

Entre las auxinas más utilizadas están los ácidos indol-3-acético (AIA), naftalenacético (ANA) e indolbutírico (AIB). El ácido indol butírico es un compuesto menos tóxico y con más amplio espectro que otras auxinas como el ácido indol acético (Couvillon, 1988; Hartmann *et al.*, 2002). Por su parte, el ácido 1- naftalenacético (ANA) es muy utilizado para inducir el proceso de enraizado en diferentes cultivos (Weaver, 1999; Hartmann y Kester, 2001).

Ácido Indol Butírico (AIB)

En estudios donde se ha utilizado AIB en plantas semileñosas como *Sacha Inchi* (Ruíz y Méisen, 2010), se ha observado incremento en la capacidad de enraizamiento. En dicho estudio los esquejes de esta especie lograron desarrollar raíz sin la aplicación de AIB; sin embargo, el porcentaje de enraizamiento fue bajo, así como el número y la longitud de raíces en comparación con las muestras tratadas con AIB.

Se ha sugerido que el efecto del AIB sobre las plantas permite la acumulación de un mayor contenido de carbohidratos de reserva (Veierskov, 1988; Hartmann y Kester, 1996), por lo cual posiblemente bajo la influencia de estas sustancias promotoras del enraizamiento, se presente una mayor probabilidad de inducción de las raíces; de hecho, se ha relacionado positivamente el contenido de carbohidratos con la capacidad de enraizamiento de las plantas.

Durante la aplicación del AIB como tratamiento de los esquejes, se utilizan sustancias como el talco que funciona como portador inerte del AIB, manteniendo la sustancia enraizadora en contacto con el esqueje por un periodo de tiempo mayor (Hartmann *et al.*, 2002).

Nuevas alternativas para la mejora de la técnica de esquejes

Para buscar la mejora en la técnica de esquejes se han desarrollado múltiples estudios en los que se han utilizado microorganismos (bacterias y hongos), reguladores de crecimiento y otros compuestos con propiedades bioactivas. Algunos autores como Bashan *et al.* (1996) y Sánchez *et al.* (2003), reportan que varias especies de bacterias tienen el potencial de favorecer el desarrollo vegetal; dichos resultados se

han atribuido a la estimulación en la síntesis de fitohormonas, tales como auxinas, citoquininas y giberelinas (Velázquez, 1999).

Cabe destacar que las características morfogénicas de las plantas, así como la calidad intrínseca de los tallos y la aplicación de tratamientos que mejoren el desarrollo de raíces y nuevos brotes, favorecen el éxito de un cultivo (Velásquez, 2006).

Microorganismos. La utilización de microorganismos en todos los ámbitos ha ido en auge en los últimos años, por otra parte, en agricultura la utilización de fertilizantes a base de químicos suele ser perjudicial para el medio ambiente, por ejemplo, en el suelo, la aplicación de fertilizantes inorgánicos produce una gran salinización, lo que afecta el desarrollo de algunos cultivos susceptibles a las condiciones del suelo.

A través de los años se ha estudiado el uso de microorganismos, como las bacterias promotoras de crecimiento en plantas, las cuales fijan el nitrógeno atmosférico además de actuar como inductores en la síntesis de algunas fitohormonas como las auxinas y giberelinas (AG), que promueven la germinación, floración y fructificación de las plantas (Rueda *et al.*, 2009).

Por otra parte, investigadores como Bashan y Holguin (1997), señalan que la utilización de bacterias estimula el proceso de germinación en las plantas, gracias a que favorecen la síntesis de fitohormonas. Asimismo, diferentes especies de bacterias y hongos han sido utilizados en las prácticas de control fitosanitario, ya que han presentado efecto antagónico con otros microorganismos, así como la capacidad para producir metabolitos bioactivos que aumentan su acción. Algunos ejemplos son: bacterias de los géneros *Fusarium*, *Pseudomonas* y *Bacillus* y hongos de los géneros *Gliocladium* y *Trichoderma* (Rueda *et al.*, 2009).

Las bacterias en las plantas son capaces de producir una amplia gama de metabolitos secundarios, que pueden influenciar positivamente el desarrollo vegetal (Sturz y Christie, 2003). Se ha mencionado que dichos microorganismos actúan sobre el crecimiento y desarrollo, mejorando la disponibilidad de componentes esenciales para las plantas como los nutrientes y los minerales, así como la capacidad para fijar nitrógeno, asimismo inducen en las plantas una mayor resistencia a las enfermedades (Cano, 2011).

En cuanto a los hongos, múltiples estudios han demostrado el potencial simbiótico entre estos y las plantas, atribuyendo a estos microorganismos propiedades agronómicas de gran interés. Entre ellas están: una mayor superficie de absorción de agua y nutrientes, un aumento en la vida útil de las raíces

absorbentes, mejor absorción iónica, solubilización de minerales para una mayor absorción en las raíces, incremento de la capacidad fotosintética de la planta, mayor producción de biomasa, mayor resistencia a patógenos, incremento en la tolerancia a toxinas del suelo y disminución del estrés por diversos factores ambientales (Gosling *et al.*, 2006; Franken *et al.*, 2007; Akhtar y Siddiqui, 2008; Kapoor *et al.*, 2008; Cano, 2011).

En algunos cultivos, como el tomate, se ha encontrado que la utilización de microorganismos tales como *Azospirillum brasilense*, produce un efecto benéfico en el crecimiento y estado nutricional de la planta, con rendimientos eficientes en comparación con las plantas sin tratamiento (Alfonso *et al.*, 2005).

Productos marinos: algas y quitosano. Actualmente se ha tenido el interés de buscar nuevas alternativas para la mejora de las técnicas de importancia en agricultura, por ende, se ha propuesto la utilización de productos amigables con el medio ambiente; tal es el caso de algunos productos de origen marino como las algas y el quitosano, obtenido a partir de crustáceos. Las algas marinas son una fuente prometedora para la agricultura ya que están constituidas por elementos con potencial funcional como vitaminas, carbohidratos, proteínas, además de sustancias biocidas, principalmente, que tienen potencial acción contra plagas y enfermedades. Por otro lado, presentan sustancias con propiedades quelantes, como los ácidos orgánicos y el manitol, que pueden tener efectos similares a los de ciertos reguladores de crecimiento vegetal (Carvajal y Mera, 2010). El uso de algunas algas marinas en la agricultura ha producido mejores rendimientos y calidad de los frutos. Algunos ejemplos de estas especies son el *Ascophyllum nodosum* que contiene macronutrientes y micronutrientes requeridos para la nutrición celular. La aplicación directa o derivados de estas especies en agricultura benefician la disponibilidad de azúcares, además de que aumentan el tamaño de los frutos y minimizan el tiempo de cultivo (Carvajal y Mera, 2010).

Las algas los crustáceos son otra fuente muy atractiva para diferentes sectores entre ellos la agricultura, ya que estos organismos son de las especies marinas más capturadas en el mundo, por tanto, durante su procesamiento e industrialización se genera una gran cantidad de desechos que pueden ser aprovechados como subproductos y que además contienen componentes de gran potencial como la quitina, de la cual puede extraerse quitosano. El quitosano es un polímero derivado de la quitina; es un compuesto amigable con el medio ambiente, con bajo o nulo impacto ambiental ya que es biodegradable y además se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza. A nivel industrial, el quitosano es obtenido principalmente de la quitina obtenida de crustáceos

como el camarón y el cangrejo, aunque también es posible obtenerlo de jaibas y pluma de calamar, así como de hongos e insectos (Young *et al.*, 1998; Chandumpai *et al.*, 2004; Beaney *et al.*, 2004; Ai *et al.*, 2008).

El quitosano tiene una amplia aplicación en el área de la biotecnología, además de las múltiples propiedades biológicas que se le han atribuido, como antimicrobiano, antioxidante, antiinflamatorio, antifúngico, entre otras propiedades (Devlieghere *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2007; Hewajulige *et al.*, 2009). En estudios recientes el quitosano se ha utilizado como biofertilizante en diferentes tipos de cultivos (Molina *et al.*, 2017; Vera *et al.*, 2017), mejorando el enraizamiento y la producción del follaje y el desarrollo de la planta. Se ha reportado que las semillas que son tratadas con quitosano mejoran su proceso de germinación y además generan mejores rendimientos (Hadwiger *et al.*, 1984; Reddy *et al.*, 1999; Guan *et al.*, 2009). Parece ser que, esto es debido a que el quitosano 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).

El tratamiento de quitosano en las plantas produce un falso estrés en estas, pues parece que lo confunden con la presencia de patógenos, por lo tanto, se activa una serie de mecanismos de autodefensa con la participación de calcio, en los cuales la planta está preparada para evitar la afectación por patógenos. El quitosano también activa la formación de barreras físicas, de manera que posiblemente este polímero induce la acumulación de sustancias fungitóxicas, que impiden el flujo de nutrientes al patógeno (Lizárraga *et al.*, 2011). Por estas y otras propiedades, el quitosano puede ser una alternativa importante que puede ser implementada en técnicas como la de esquejes en los diferentes cultivos, para mejorar sus rendimientos y características de desarrollo, ayudando en gran manera a la producción agrícola.

CONCLUSIÓN

La técnica de esquejes es un método de propagación que brinda buenos rendimientos, con estabilidad genética y en un periodo de tiempo corto. Esta técnica puede ser implementada en la mayoría de los cultivos vegetales y además puede ser mejorada utilizando compuestos que promuevan el proceso de enraizado en las plantas, tal como el AIB u otro tipo de auxinas. También es importante considerar el empleo de microorganismos promotores del crecimiento vegetal o bien, recursos con gran cantidad de compuestos bioactivos como los productos de origen marino, tal como el quitosano, derivado de crustáceos y el uso de algunas especies de algas, las cuales han demostrado gran potencial agronómico.

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.

REFERENCIAS

- Ackerman, R. and H. Hamemik. 1996. Use of growth regulators in production. Combined Proceedings International Propagators Society 46: 574-575.
- Ai, H., F. Wang, Q. Yang, F. Zhu, C. Lei. 2008. Preparation and biological activities of chitosan from the larvae of housefly, *Musca domestica*. Carbohydrate Polymers. 72: 419-423.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.010>.
- Aghaleh, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H., Razavi, K. (2009). Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. europaea*. Biologia Plantarum, 53(2), 243-248.
<https://doi.org/10.1007/s10535-009-0046-7>.
- Akhtar, M.S., and Siddiqui, Z. A. 2008. Biocontrol of a root-rot disease complex of chickpea by *Glomus intraradices*, *Rhizobium* sp. and *Pseudomonas straita*. Crop Protection 27(3-5), 410-417.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.07.009>
- Alfonso, E.T., Leyva, Á., Hernández, A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). Revista colombiana de Biotecnología, 7(2), 47-54.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2351591>. Consulta: 24 de septiembre de 2018
- Aloni, B., Karni, L., Deventurero, G., Levin, Z., Cohen, R., Katzir, N., Lotan-Pompan, M., Edelstein, M., Aktas, H., Turhan, E. 2013. Physiological and biochemical changes at the rootstock-scion interface in graft combinations between Cucurbita rootstocks and a melon scion. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 83, 777.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512460>.
- Alves, A.A. 2002. Cassava botany and physiology. Cassava: biology, production and utilization, 1, 67-89.
- Arbeloa, A., García, E., Lorente, M.P., Andreu, P., Marín, J.A. 2018. Micropropagación del pistacho: pros y contras. Revista de fruticultura, (64), 120-133. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6568174>. Consulta: 30 de septiembre de 2018.
- Bashan, Y., Holguín, G., Ferrera, R. 1996. Interacciones plantas y microorganismos benéficos. II Bacterias asociativas de rizosfera, Terra, vol. 14, no.2, p. 195-210.
- Bashan, Y. and Holguín, G. 1997. *Azospirillum*-plant relationship: environmental and physiological advances. Journal Microbiology. 43:103-121.
<https://doi.org/10.1139/m97-015>.
- Beaney, P., Lizardi, J., Healy, M. 2004. Comparisons of chitins produced by chemical and bioprocessing methods. Journal of chemical thechnology and Biotechnology. 80:145-150.
<https://doi.org/10.1002/jctb.1164>.
- Buchanan, B., Gruissem, W., Jones. R. 2000. Biochemistry and molecular biology of plants. American Society of Plant Biologists, John Wiley & Sons, Inc., Somerset, NJ.
- Cano, M.A. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 14(2), 15-31. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v14n2/v14n2a03.pdf>. Consulta: 10 de octubre de 2018.
- Cano Sanz, C.G. 2004. Biotecnología y propiedad intelectual en el agro. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia.
- Carvajal, M.J. y Mera, A. 2010. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. Producción limpia, 5(2), 77-96. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10567/94>. Consulta: 16 de agosto de 2018.
- Castillo, A. 2004. Propagación de plantas por cultivo in vitro: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo. Unidad de Biotecnología, INIA. Uruguay. Disponible en: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34431273/Propagacion_de_plantas_por_cultivo_in_vitro.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1558484869&Signature=M%2Ffpj7608ivt%2BF%2BJHOs78g41Ns4%3D&response-contentdisposition=inline%3B%20filename%3DPropagacion_de_plantas_por_cultivo_in_vi.pdf. Consulta: 20 de septiembre de 2018.

- Chandumpai, A., Singhpibulporn, N., Farrongsarng, D. Sornprasit, P. 2004. Preparation and Physico-chemical characterization of chitin and chitosan from the pens of the squid species: *Loligo lessoniana* and *Loligo formosana*. Carbohydrate Polymers. 58: 467-474.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.08.015>.
- Chaves, M.M., Flexas, J., Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of botany, 103(4), 551-560.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>.
- Couvillon, G.A. 1988. Rooting response to different treatments. Acta Horticulturae. 227, 187-196.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1988.227.30>.
- Cruz, M., Melgarejo, L., Romero, M. 2010. Fitohormonas. M. Cruz, L. Melgarejo, & M. Romero, Libro experimentos en fisiología y bioquímica vegetal, 39-40.
- Devlieghere, F., Vermeulen, A., Debevere, J. 2004. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. Food microbiology, 21(6), 703-714.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2004.02.008>.
- Desimone, M., Henke, A., Wagner, E. 1996. Oxidative stress induces partial degradation of the large subunit of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in isolated chloroplasts of barley. Plant Physiology. 111, 789-796.
<https://doi.org/10.1104/pp.111.3.789>.
- Dima, J.B., Sequeiros, C., Zaritzky, N. 2017. Síntesis de microesferas de quitosano para encapsular y liberar fertilizante. In IV Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería. Argentina. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/60402/Documento_completo.pdfPDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consulta: 06 de septiembre de 2018.
- Echenique, V., Rubinstein, C., Hopp, E., Mroginski, L., Levitus, G. 2004. Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II. Disponible en: https://www.agroindustria.gov.ar/sitio/areas/escuelagro/_archivos/000011_INTA%20Biotecnologia/000000_Inta%20-%20B%20C3%ADotecnolog%C3%ADa.pdf. Consulta: 04 Junio 2018.
- Ferl, R. and Paul, A. 2000. Genome organization and expression. En: Buchanan B., Gruissem W., Jones R. (eds.) Biochemistry and Molecular Biology of Plants. USA: American Society of Plant Physiologists, pp. 312-357.
- Franken, P., Donges, K., Grunwald, U., Kost, G., Rexer, K., Tamasloukht, M., Zeuske, D. 2007. Gene expression analysis of arbuscule development and functioning. Phytochemistry, 68(1), 68-74.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.09.027>.
- Gálvez, A. y Elías, M. 2005. Efecto de la aplicación de un extracto de algas marinas (*Durvillea antarctica*) en el crecimiento vegetativo de plántulas de arándano (*Vaccinium corymbosum*) y ciruelo (*Prunus insititia*). Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.
- García, E.V. 2016. Análisis fisiológico y molecular del proceso de enraizamiento in vitro de especies forestales: castaño y chopo. Doctoral dissertation, Universidade de Santiago de Compostela. Disponible: <http://hdl.handle.net/10347/14934>. Consulta: 16 de noviembre de 2018
- Gaspar T. and Hofinger, M. 1988. Auxin metabolism during adventitious rooting, pp. 117-131. In: T.D. Davis, B.E. Haissig and N. Sankhla (eds). Adventitious Root Formation in Cuttings. B.E. Dioscorides Press, EE. UU.
- Giba, Z., Grubisic, D., Konjevic, R. 1995. The involvement of phytochrome in light-induced germination of blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) seeds. Seed Science. Technol. 23, 11-19.
- Gonzalez, C., Llosa, J., Quijano, A., Forner, A. 2009. Rootstock effects on leaf Photosynthesis in "Navelina" Trees grown in calcareous soil. American society for horticultural science. 44(2):280-283.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.2.280>.
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., Bending, G. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agriculture, ecosystems & environment, 113(1-4), 17-35.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.009>.
- Guan, Y., Hu, J., Wang, X., Shao, C. 2009. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. Journal of Zhejiang University Science B. 10:427-433.
<https://doi.org/10.1631/jzus.B0820373>.
- Gutiérrez, B. 1995. Consideraciones sobre la fisiología y el estado de madurez en el enraizamiento de

- estacas de especies forestales. *Ciencia e investigación forestal*, 9(2), 261-276.
- Haberlandt, G. 1902. Cellular totipotency. *Plant Tissue Culture: Theory and Practice*, 71-90.
- Hadwiger, L., Fristenski, B., Riggelman, R. 1984. Chitin, Chitosan and Related Enzymes. J. P. Fikakis Ed. Academic Press Inc., Orlando FL.
- Hartmann, H.T. 2002. Hartmann and Kester's plant propagation: Principles and practices. Disponible en: https://aggie-horticulture.tamu.edu/faculty/davies/pdf%20stuff/ph%20final%20galley/FrontMatter%20-FrontA01_DAVI4493_08_SE_FM.pdf. Consulta: 14 de mayo de 2018.
- Hartmann, H.T. y Kester, D. 2001. Propagación de plantas. Principios y prácticas. 8va reimpr. México: Editorial Continental.
- Hartmann, H.T. y Kester, D. 1996. Propagación de plantas: principios y prácticas. Editorial Continental S.A. México. 814 p.
- Hartmann, H. T. y Kester, D. 1995. Propagación de plantas. CECSA. México.
- Hewajulige, I.G., Sultanbawa, Y., Wijeratnam, R., Wijesundara, R. 2009. Mode of action of chitosan coating on anthracnose disease control in papaya. *Phytoparasitica*, 37(5), 437-444. <https://doi.org/10.1007/s12600-009-0052-5>.
- Hoyos, J., C. Roman y Velasco, R. 2008. Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de fitohormonas en la micropropagación del plátano dominico Hartón (*Musa AAB Simmonds*). *Revista Biotecnología*, Facultad de Ciencias Agropecuarias 6(2), 99-104. Disponible en: <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/viewFile/88/72>. Consulta: 13 de junio de 2018.
- Irisarri, P., Binczycki, P., Errea, P., Martens, H.J., Pina, A. 2015. Oxidative stress associated with rootstock-scion interactions in pear/quince combinations during early stages of graft development. *Journal of plant physiology*, 176, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.10.015>.
- Jiang, F., Liu, Y.X., Liu, W., Zheng, N., Wang, H.T., Ai, X.Z. 2010. Relationship between root rot resistance and phenylpropanoid metabolism in graft capsicum. *China Vegetables*. 8, 46-52.
- Jianlin, W., Guirui, Y., Quanyao, F., Defeng, J., Hua, Q., Qiufeng, W. 2008. Responses of water use efficiency of 9 plant species to light and CO2 and their modeling. *Acta Ecologica Sinica*, 28(2), 525-533. [https://doi.org/10.1016/S1872-2032\(08\)60027-X](https://doi.org/10.1016/S1872-2032(08)60027-X).
- Jordán, M., y Casaretto, J. 2006. Hormonas y reguladores del crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas. Squeo, F, A., & Cardemil, L.(eds.). *Fisiología Vegetal*. 1-28. Disponible en: <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Auxinasgiberelinasycitocininas.pdf>. Consulta: 14 de mayo de 2018.
- Kapoor, R., Sharma, D., Bhatnagar, A. 2008. Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. *Scientia Horticulturae*, 116(3), 227-239. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.02.002>.
- Leakey, R.R. y Mesén, F. 1991. Métodos de propagación vegetativa en árboles tropicales: enraizamiento de estacas suculentas, pp. 135-153. In: J.P. Cornelius, F. Mesén y E. Corea (eds). *Manual sobre mejoramiento genético forestal con referencia especial a América Central*. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Lesniewicz, P. 1988. *Bonsai árboles miniatura*, Edit. Reverté S.A. Barcelona-ES.
- Liao, L., Cao, S.Y., Rong, Y., Wang, Z.H. 2016. Effects of grafting on key photosynthetic enzymes and gene expression in the citrus cultivar Huangguogan. *Genetics and molecular research: GMR*, 15(1), 15017690-15017690. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr.15017690>.
- Liu, J., Tian, S., Meng, X., Xu, Y. 2007. Effects of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3), 300-306. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.019>.
- Liu, Y.F., Qi, H.Y., Bai, C.M., Qi, M.F., Xu, C.Q., Hao, J.H., Li, T.L. 2011. Grafting helps improve photosynthesis and carbohydrate metabolism in leaves of muskmelon. *International journal of biological sciences*, 7(8), 1161. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/51760479_Grafting_Helps_Improve_Photosynthesis_and_Carbohydrate_Metabolism_in_Leaves_of_Muskmelon. Consulta: 13 de agosto de 2018.
- Liu, Z.X., Bie, Z.L., Huang, Y., Zhen, A., Lei, B., Zhang, H.Y. 2012. Grafting onto *Cucurbita moschata* rootstock alleviates salt stress in cucumber plants by delaying photoinhibition. *Photosynthetica*, 50(1), 152-160. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0007-9>.

- Lizárraga P., Torres, E. P., Moreno, M., Miranda, C. 2011. Protección contra estrés biótico inducida por quitosán en plántulas de maíz (*Zea mays L.*). Revista Mexicana de ciencias agrícolas, 2(6), 813-827. [10.29312/remexca.v2i6.1563](https://doi.org/10.29312/remexca.v2i6.1563).
- Loach, K. 1988. Controlling environmental conditions to improve adventitious rooting, pp. 248-273. In: T.D. Davis, B.E. Haissig and N. Sankhla (eds). Adventitious Root Formation in Cuttings. BE Dioscorides Press, EE. UU.
- Lockard, R.G. 1976. Effect of apple rootstocks and length and type of interstock on leaf nutrient levels. Journal of Horticultural Science. 51: 289-296. <https://doi.org/10.1080/00221589.1976.11514692>.
- López, F.J., Guío, N., Fischer, G., Lasprilla, D. 2008. Propagación de uchuva (*Physalis peruviana L.*) mediante diferentes tipos de esquejes y sustratos. Revista Facultad Nacional de Agronomía. 61: 4347-4357. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24733>. Consulta: 14 de mayo de 2018.
- López, M.M., Ruiz, C., Navarro, P., de Jesús Ornelas, P., Estrada, A., Gassos, O., Rodrigo, G. 2012. Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas. Biotecnología, 14(1), 33-43. Disponible en: <https://biotecnologia.unison.mx/index.php/biotecnologia/article/view/113/106>. Consulta: 13 de agosto de 2018.
- Martínez-Ballesta, M.C., Alcaraz-López, C., Muries, B., Mota-Cadenas, C., Carvajal, M. 2010. Physiological aspects of rootstockscion interactions. Scientia Horticulturae, 127(2), 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.002>.
- Medina, M.G., García, D., Clavero, T., Iglesias, J. López, J. 2007. Evaluación inicial de la morera (*Morus alba L.*) en condiciones de vivero. Zootecnia Tropical, 25(1), 43-49. Disponible en: <http://www.bioline.org.br/pdf?zt07006>. Consulta: 12 de septiembre de 2018.
- Medina, C. y Lobo, M. 2004. Colecta, conservación y caracterización de diversas poblaciones de *Vaccinium meridionale* (mortiño), presentes en los bosques altoandinos de la jurisdicción de Corantioquia para promover su utilización sostenible. Informe final técnico del proyecto. Corpoica, C.I. La Selva, Rionegro. 32 p.
- Mok, D. y Mok, M. 2001. Cytokinin metabolism and action. Annual review of plant biology, 52(1), 89-118. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.89>.
- Molina, Z.J., Colina, M., Rincón, D. Vargas, J. 2017. Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa L.* variedad sd20a). Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 8 (2), 151-165. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2041/2294>. Consulta: 06 de junio de 2018.
- Morales, M. 2009. Los nuevos avances científicos y la bioética. A de Lamo, cultiva comunicación SL, ES.
- Morinaga, K. and Ikeda, F. 1990. The effects of several rootstocks on photosynthesis, distribution of photosynthetic product, and growth of young satsuma mandarin trees. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 59(1), 29-34. <https://doi.org/10.2503/jjshs.59.29>.
- Ohata, Y. 1991. Graft-transformation, the mechanism for graft-induced genetic changes in higher plants. Euphytica 55:91-99. <https://doi.org/10.1007/BF00022565>.
- Olmos, S., Luciani, G., Galdeano, E. 2004. Métodos de propagación y conservación de germoplasma. Biotecnología y mejoramiento vegetal II. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina. Disponible en: https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/escuelagro/_archivos/000011_INTA%20Biotecnologia/000000_Inta%20-%20B%20C%20ADotecnolog%C3%ADa.pdf. Consulta: 11 de septiembre de 2018.
- Orozco, C. 1996. Cultivo de tejidos vegetales y su aplicación en agricultura. In simposio nacional sobre cultivo de tejidos vegetales. Guatemala, GT, USAC. p. 1-9.
- Pérez, D.L. y Gómez, N. 2005. La producción de esquejes. Horticultura internacional, (1), 22-29.
- Phillips, J. 1975. Apical dominance. Annual review of plant physiology. 26:341-367. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.26.060175.002013>.
- Qinghai, G., Wu, Y., Jia, S., Huang, S., Lu, X. 2016. Effect of rootstock on the growth, photosynthetic capacity and osmotic adjustment of eggplant seedlings under chilling stress and recovery. Pak. J. Bot. 48(2): 461-467. Disponible en:

- [https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/48\(2\)/06.pdf](https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/48(2)/06.pdf). Consulta: 26 de junio de 2018.
- Qi, Y., Li L., Liu F., Li, D. 2006. Effects of grafting on photosynthesis characteristics, yield and sugar content in melon. *Journal of Shenyang Agricultural University*. 37:155-158. Disponible en: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOT-AL-SYNY200602006.htm. Consulta: 22 de mayo de 2018.
- Ramírez, A., Cruz, N., Franchialfaro, O. 2003. Uso de bioestimuladores en la reproducción de guayaba (*Psidium guajava* L.) mediante el enraizamiento de esquejes. *Cultivos Tropicales*, 24(1). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218221010>. Consulta: 15 de agosto de 2018.
- Ramírez, L.A., González, E., Zuluaga, C., Cotes, J. 2009. Evaluación de tres metodologías de rápida multiplicación de 30 accesiones de *Solanum tuberosum* grupo phureja. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62, 11-13.
- Reddy, M.V., Arul, J., Angers, P., Couture, L. 1999. Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. *J. Agric. Food Chemistry*. 47:1208-1216. <https://doi.org/10.1021/jf981225k>.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Colla, G. 2012. Improving melon and cucumber photosynthetic activity, mineral composition, and growth performance under salinity stress by grafting onto Cucurbita hybrid rootstocks. *Photosynthetica*, 50(2), 180-188. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0002-1>.
- Rueda, P.E., Villegas-Espinoza, J., Gerlach, L., Tarazón, M., Murillo, B., García, J., Preciado, P. 2009. Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre la germinación de *Salicornia bigelovii*. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 345-354. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792009000400009&lng=es&nrm=iso. Consulta: 15 de noviembre de 2018.
- Ruíz, S.H., y Mesén, F. 2010. Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estaquilla en el enraizamiento de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Agronomía Costarricense*, 34(2), 269-285. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3605536>. Consulta: 14 de octubre de 2018.
- Sadhu, M. K. 1989. *Plant Propagation*. Wiley Eastern Limited. New Delhi.
- Saied, A.S., Keutgen, N., Noga, G. 2003. Effects of NaCl stress on leaf growth, photosynthesis and ionic contents of strawberry cvs “elsanta” and “korona”. In international symposium on managing greenhouse crops in saline environment 609 (pp. 67-73). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.609.7>.
- Salisbury, F.B. y Ross, C. 1994. *Plant physiology*. Wadsworth Publishing. 759 p.
- Sánchez, L., Ortiz, S., Hernández, A. 2003. Obtención de sideróforos a partir de *Burkholderia cepacia* y optimización del medio de cultivo para su producción. *Rev. Salud Anim.* 25(1), 27-33.
- Sánchez-Rodríguez, E., del Mar Rubio-Wilhelmi, M., Blasco, B., Leyva, R., Romero, L., Ruiz, J.M. 2012. Antioxidant response resides in the shoot in reciprocal grafts of drought-tolerant and drought-sensitive cultivars in tomato under water stress. *Plant Science*, 188, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.12.019>.
- Sandalio, L.M., Dalurzo, H.C., Gómez, M., Romero-Puertas, M.C., Del Rio, L.A. 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *Journal of experimental botany*, 52(364), 2115-2126. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.364.2115>.
- Silva, M., Gámez, H., Zavala, F., Cuevas, B., Rojas, M. 2001. Efecto de cuatro fitoreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol. *Ciencia UANL*, 4(1), 69-75. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/1066/>. Consulta: 12 de junio de 2018.
- Spoustová, P., Hýsková, V., Müller, K., Schnablová, R., Ryslavá, H., Cerovská, N. Malbeck, J. Cvirková, M., Synková, H. 2015. Tobacco susceptibility to Potato virus YNTN infection is affected bygrafting and endogenous cytokinin content. *Plant Science*. 235: 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.02.017>.
- Srivastava, L.M. 2002. Crecimiento y desarrollo de las plantas: hormonas y ambiente natural.
- Sturz, A. and Christie, B. 2003. Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil and Tillage Research*, 72(2), 107-123. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00082-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00082-5).

- Taller, J., Yagishita, N., Hirata, Y. 1999. Graft-induced variants as a source of novel characteristics in the breeding of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Euphytica*, 108(2), 73-78. <https://doi.org/10.1023/A:1003681913996>.
- Van Hooijdonk, B., Woolley, D., Warrington, I., Tustin, S. 2011. Rootstocks modify scion architecture, endogenous hormones, and root growth of newly grafted 'Royal Gala' apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 136(2), 93-102. <https://doi.org/10.21273/JASHS.136.2.93>.
- Veierskov, B. and Andersen, A. 1982. Dynamics of extractable carbohydrates in *Pisum sativum*. III. The effect of IAA and temperature on content and translocation of carbohydrates in pea cuttings during rooting. *Physiologia Plantarum* 55:179-182. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1982.tb02283.x>.
- Velázquez, M., Ventura, E., Hernández, A., Aguilar, S., Hernández, A. 1999. Estudio de la interacción maíz-Burkholderia (*Pseudomonas cepacia*). *Revista latinoamericana de microbiología-México-*, 41 (1), 17-24. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/lamico/mi-1999/mi991d.pdf>. Consulta: 11 de marzo de 2018.
- Velásquez, E. 2006. Efecto de la variabilidad en genotipos de Yuca sobre factores vinculados a la brotación y crecimiento de esquejes. *Bioagro*, 18(1), 041-048. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2158702>. Consulta: 28 de octubre de 2018.
- Vera Alvarado, K.E. y Parismoreno, L. 2017. Uso de quitosano en medios de cultivo para el desarrollo en la propagación in vitro de la Orquídea (*Cattleya* spp). Tesis de ingeniería. Universidad de Guayaquil, Guayaquil Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17754/1/Vera%20Alvarado%20Katherine%20Elizabeth.pdf>. Consulta: 12 de octubre de 2018.
- Vitale, A., Rocco, M., Arena, S., Giuffrida, F., Cassaniti, C., Scaloni, A., Leonardi, C. 2014. Tomato susceptibility to Fusarium crown and root rot: Effect of grafting combination and proteomic analysis of tolerance expression in the rootstock. *Plant Physiology and Biochemistry*, 83, 207-216. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.006>.
- Weaver, R.J. 2002. Reguladores del crecimiento de plantas en la agricultura. México: Editorial Trillas.
- Wilson, P.J. 1994. The concept of a limiting rooting morphogen in woody stem cuttings. *Journal of Horticultural Science* 69 (4): 591-600. <https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516491>
- Xu, Q., Guo, S.R., Li, L., An, Y.H., Shu, S., Sun, J. 2016. Proteomics analysis of compatibility and incompatibility in grafted cucumber seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.04.001>.
- Yang, Y., Yu, L., Wang, L., Guo, S. 2015. Bottle gourd rootstock-grafting promotes photosynthesis by regulating the stomata and non-stomata performances in leaves of watermelon seedlings under NaCl stress. *Journal of plant physiology*, 186, 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.07.013>.
- Young, I.C., Hong, K., Meyers, S. 1998. Physicochemical characteristics and functional properties of various commercial chitin and chitosan products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46:3839-3843. <https://doi.org/10.1021/jf971047f>.
- Zobel, B. y Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/517>. Consulta: 10 de julio de 2018.
- Zhou B., Gao Y., Lin G., Fu, Y. 1998. Relationship between disease resistance and electrolytic leakage, proline content and PAL activity in grafted eggplant. Disponible en: *Acta horticulturae sínica*. 3. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOT-AL-YYXB803.018.htm. Consulta: 07 de octubre de 2018.