

## pH, dilución y concentraciones de alcohol de AIB en el enraizamiento de *Ficus carica*

Isai Monroy González<sup>1,§</sup>

Angel Villegas Monter<sup>1</sup>

Cecilia Beatriz Peña Valdivia<sup>1</sup>

Alejandro F. Barrientos Priego<sup>2</sup>

Lucero del Mar Ruiz Posadas<sup>1</sup>

Sandra Luz Castro Garibay<sup>1</sup>

1 Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. (cecibetipv@gmail.com; lucpo@colpos.mx; sandracastro9024@gmail.com).

2 Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. (abarrien@gmail.com).

Autor para correspondencia: [iasiglez@gmail.com](mailto:iasiglez@gmail.com)

### Resumen

La propagación vegetativa con estacas de tallo requiere originar brotes y raíces para formar una planta completa. Se han investigado factores que intervienen en la generación de raíces, pero poco se ha trabajado con el pH. La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Texcoco, México en 2021. En estacas de *Ficus carica* se evaluaron: valores de pH (4, 7 y 11) en solución con o sin auxina, la dilución (alcohol o NaOH) del ácido indolbutírico (AIB), concentración de alcohol para disolver AIB (10, 15 y 20%), en el porcentaje de enraizamiento, número de raíces, longitud de la raíz más larga, porcentaje de yemas brotadas a los 21 días, fecha de establecimiento y cambios anatómicos en 0, 3 y 6 días de estacado. Se encontraron células meristemáticas y primordios de raíz hasta el día 6. Se obtuvo 100% de enraizamiento en todos los tratamientos. El pH no demostró tener efecto en la solución auxínica, pero sí influyó en el porcentaje de enraizamiento evaluado individualmente. La forma de diluir la auxina influyó en el número de raíces por la concentración de alcohol utilizada, menor concentración (10%) tuvo efecto positivo.

### Palabras clave:

enraizamiento adventicio, concentraciones de etanol, H<sup>+</sup>.



## Introducción

El estacado usa partes de tallo, hoja o raíz de una planta para multiplicarla, depende por lo tanto de la formación y desarrollo de raíces adventicias y brotes nuevos (Hartmann *et al.*, 2014). La formación de raíces adventicias (FRA), incluye tres fases, inducción, iniciación y diferenciación. La primera trata de eventos moleculares y bioquímicos; la segunda (fase visible), divisiones celulares que darán lugar a primordios de raíz y la última, crecimiento organizado de los primordios de raíz (Guan *et al.*, 2015). Es un proceso fisiológico influenciado por factores endógenos y exógenos necesarios de entender (Druege *et al.*, 2019).

Las auxinas son los reguladores de crecimiento vegetal más relacionados con enraizamiento adventicio. Su acumulación en la base de las estacas después del corte de estas es importante para la inducción de raíces ya que hace que este lugar sea demandante de carbohidratos (Agulló-Antón *et al.*, 2011). Por otro lado, la aplicación de auxinas en la estaca acelera las divisiones en el cambium vascular y aumenta la actividad sucrolítica, favoreciendo entonces la FRA (Ahkami *et al.*, 2009; Agulló-Antón *et al.*, 2014).

La aplicación de auxinas para favorecer enraizamiento se hace de dos formas, en polvo o en solución líquida (Hartmann *et al.*, 2014); sin embargo, cuando se aplica en solución, no se considera 1) el pH de la solución final; 2) el solvente de la auxina (alcohol, agua o NaOH); y 3) si se utiliza como solvente alcohol, la concentración de este en la solución. El pH debería considerarse en investigaciones que aborden compuestos químicos para favorecer la FRA (Jin-Hao *et al.*, 1993), ya que es importante en: crecimiento y alargamiento celular mediante la acidificación del apoplasto, suavizando la estructura rígida que es la pared celular.

Además, también influye en la: formación de ATP mediante la fuerza motriz del protón, en la funcionalidad de las proteínas y como mensajero celular (Rengel, 2002). Se ha registrado que un pH ligeramente ácido aumenta el enraizamiento, a veces independientemente de la aplicación de auxinas, tal vez debido a que favorece el transporte de auxinas (Khosh-Khui y Tafazoli, 1979; Jin-Hao *et al.*, 1993). El pH ácido en sustrato de enraizamiento también favorece la FRA (Abdulkadir y Muharrem, 2018).

En relación con el tipo de solvente, alcohol o hidróxido de sodio (NaOH), no se han encontrado diferencias (Oliveira *et al.*, 2009; Pereira *et al.*, 2021), no obstante, algunos autores señalan que concentraciones bajas de alcohol tienen efecto positivo en el enraizamiento (Middleton *et al.*, 1978; Bhattacharya *et al.*, 1985). Entonces, es necesario encontrar concentraciones apropiadas del solvente de la auxina para favorecer la FRA.

En diversas investigaciones de *Ficus carica* relacionadas con enraizamiento de estacas se pueden notar cuatro aspectos, 1) no se ha trabajado con pH de la solución auxínica o su efecto individual; 2) no se han evaluado los medios (NaOH o etanol) y las concentraciones para disolver la auxina (etanol); 3) se carece de estudios anatómicos donde evalúen los cambios en el tejido durante el proceso de enraizamiento; y 4) la mayoría no tienen protocolos eficientes de propagación ya que no llegan al 100% de enraizamiento (Hiral *et al.*, 2017; Aghera y Makwana, 2018; Kaur *et al.*, 2018).

Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivos evaluar el efecto: del pH de la solución auxínica, la forma de dilución de la auxina, el pH como factor independiente al momento de enraizar y las concentraciones de alcohol utilizadas para diluir la auxina, además de obtener una secuenciación anatómica de las tres fases de enraizamiento y un protocolo eficiente para propagar higo.

## Materiales y métodos

La investigación se realizó en el vivero forestal del Postgrado en Ciencias Forestales, *Campus* Montecillo, Colegio de Postgraduados. Texcoco de Mora, Estado de México (19° 27' 38.182" latitud norte, 98° 54' 23.898" longitud oeste y a 2 250 m de altitud). El material vegetal de *Ficus carica* var. 'Nezahualcóyotl' fue obtenido de plantas en producción intensiva del espacio protegido 'Víctor

Manuel Mendoza Castillo', del Campo Experimental del Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo (19° 29' 29.531" latitud norte, 98° 52' 25.041" longitud oeste).

La colecta se realizó entre mayo y agosto de 2021. De ramas laterales de plantas de ocho años que son conducidas a seis tallos y podadas hasta el tronco principal en agosto de cada año, se cortaron estacas semileñosas de mes y medio de desarrollo, 18 a 23 cm de longitud, 12 a 14 mm de diámetro basal y con 4 a 5 yemas. Las estacas se lavaron y dejaron secar 30 min. Luego se sumergieron 15 min en solución de metalaxil (Ridomil Gold®), 5 g L<sup>-1</sup> de agua.

## Tratamientos

Medio de dilución de la auxina y pH de la solución auxínica. Se aplicaron tres tratamientos con diferente pH (4, 7 y 11) con 2 000 mg de AIB (ácido 3-indolbutírico, Sigma I-5386) L<sup>-1</sup> disuelto en alcohol (pH ácido y neutro) e hidróxido de sodio (pH alcalino). Con el alcohol, se disolvieron 0.2 g de AIB en 15 ml de alcohol y después se agregaron 85 ml agua destilada.

Debido a que el pH fluctuó entre 3.43 y 3.46, se ajustó a pH 4 y 7 con NaOH 1 N. Con NaOH, se disolvieron 0.2 g de AIB en 10-15 gotas de NaOH 1 N e inmediatamente se agregaron 100 ml de agua destilada a 60-65 °C, el pH se ajustó a 11 con NaOH 1 N. La longitud de las estacas se ajustó a 15-20 cm y en su base se hicieron cuatro heridas verticales de aproximadamente 2 cm de largo y 3 mm de profundidad con una navaja. El experimento se replicó cuatro veces independientes entre sí en las fechas: 21 de mayo a 11 de junio (E1), 7 de junio a 29 de junio (E2), 30 de junio a 22 de julio (E3) y 29 de julio a 19 de agosto (E4).

A la par del E3, también se realizaron dos experimentos independientes. En estas evaluaciones complementarias el número de yemas por estaca varió de 3 a 5. Niveles de pH sin aplicación de auxina. Se modificó el pH de las soluciones con alcohol al 15% (pH 4 y 7). Para pH 4, después de mezclado los 15 ml de alcohol con los 85 ml de agua, se aplicaron gotas de HCl preparado a 1 N.

Con respecto al pH 7 y pH 11, se aplicaron también gotas de NaOH 1 N. Concentración de alcohol. Se utilizó el procedimiento descrito para diluir la auxina en 15% de alcohol, pero también en 10% y 20%, como el pH fue cercano a 4 se modificó a 4 aplicando gotas de NaOH 1 N.

Luego, se sumergieron los 4-6 cm basales de las estacas durante 5 s en las respectivas soluciones. En los experimentos con niveles de pH sin AIB y concentraciones de alcohol, el número de yemas por estaca varió de 3 a 5. Por último, las estacas se colocaron en cajas de material plástico, de 30 cm de altura x 50 cm de longitud x 35 cm de anchura, con mezcla húmeda de turba y agrolita (1:1, v/v).

La humedad relativa fue de 100% y las temperaturas mínimas, medias y máximas en E1 y E2 fueron 11.3, 21.2 y 26.4 °C y 12.5, 18.7 y 22.9 °C. Debido a disminución en la temperatura ambiental durante los experimentos E3 y E4, poco recomendada para enraizamiento, se utilizó un calentador de aceite con termostato que encendía de 7 pm a 9 am y las temperaturas fueron 17.4, 23.3 y 36.4 °C.

## Variables evaluadas

### Cambios anatómicos

Se seleccionaron tres estacas al azar, a los 0, 3 y 6 días después del tratamiento con pH 4 (tiempo en el que ocurre la inducción), se eligió este pH debido a que no se observaron diferencias en el tiempo de enraizado entre tratamientos. Se cortó la base de la estaca (2 cm) y se colocó en solución fijadora formaldehído: ácido acético: etanol 96%: agua (10:5:50:35 v:v) durante 24 h en campana de vacío. La deshidratación duró 8 h, en soluciones de etanol de 50, 60, 70, 80, 90 a 100% (dos veces); etanol: xileno (3:1) tres veces y xileno 100% (dos veces).

Las muestras se embebieron en Paraplast®, se hicieron cortes transversales de 10 µm de espesor con micrótopo rotatorio 820 (American Optical USA®) se colocaron en portaobjetos eliminando el

exceso de parafina y tiñeron con safranina-verde rápido (0.05% safranina, 2% NaCl en etanol 50% y 0.12% verde rápido en etanol 95%). Se identificaron grupos de células meristemáticas, su tejido de origen y primordios de raíz con forma definida y ápice meristemático.

### **Variables de enraizamiento**

Se caracterizó porcentaje de enraizamiento, producto del número de estacas enraizadas entre el número de estacas puestas por 100, número de raíces por estaca, longitud de la raíz más grande, porcentaje de yemas brotadas por estaca (sin incluir la yema de la base).

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

El diseño experimental empleado para E1, E2, E3, E4, pH sin AIB y concentraciones de etanol fue completamente al azar con tres tratamientos y con 10, 19, 19, 10, 9 y 7 repeticiones por tratamiento respectivamente. La unidad experimental en todos los experimentos fue una estaca y la fuente de variación, en E1-E4, dos niveles de pH (4 y 7), dos formas de disolver el AIB (NaOH y alcohol), en enraizamiento sin AIB, tres niveles de pH (4, 7 y 11), y en concentraciones de alcohol, tres concentraciones de alcohol (10, 15 y 20%). Los resultados de los tratamientos se analizaron independientemente de los otros experimentos mediante Andeva, prueba de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) y para las variables con varianzas no homogéneas se realizó prueba Kruskal-Wallis con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System 9.4).

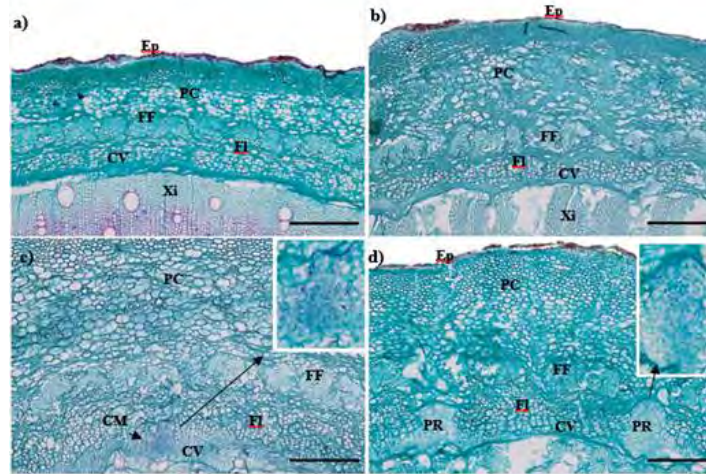
## **Resultados y discusión**

### **Cambios anatómicos durante el enraizamiento de estacas de *F. carica***

Las estacas mostraron anatomía similar a la de una dicotiledonea con crecimiento secundario. De la periferia hacia el centro del tallo se identificaron: epidermis (Ep), parénquima cortical (PC), fibras de floema (FF), floema (FI), cambium vascular (CV) y xilema (Xi). En los días 0 y 3 no se observaron divisiones celulares. Las primeras células meristemáticas y primordios de raíz (con meristemo apical bien definido) se presentaron hasta el sexto día en las células de floema adyacentes al cambium (recuadros c y d de la Figura 1).



Figura 1. Corte transversal de estacas de higo (*Ficus carica*) tratadas con 2 000 mg L<sup>-1</sup> de AIB al 15% de alcohol y con pH 4. a) día 0 (al momento del corte de la estaca); b) día 3; c y d) día 6 en donde se aprecia: epidermis (Ep) parénquima cor cal (PC) fibras de floema (FF), floema (Fl), cambium vascular (CV) y xilema (Xi). Recuadros dentro de las imágenes, muestran acercamiento de las células meristemáticas y primordio de raíz. Corte realizado a 0.5-1.5 cm arriba del sitio de corte basal. Barras de escala= 300 µm.



También en el sexto día las imágenes mostraron grupos de células meristemáticas sin forma, en división recuadro (Figura 1c) y primordios con forma típica de raíz recuadro (Figura 1d), con núcleos visibles. Esto difiere a los reportados en Carnation y Rosa ya que en estas desde el segundo y tercer día se presentaron pequeños grupos de células meristemáticas o divisiones cerca del cambium vascular o en el (Costa *et al.*, 2003; Agulló-Antón *et al.*, 2011). Al contrario, los resultados coinciden con lo que se observó en Petunia donde a partir del día 6 se visualizaron los primeros primordios de raíz (Ahkami *et al.*, 2009).

Lo anterior, muestra que el tiempo de inducción, iniciación y diferenciación de raíces depende de la especie, por lo que es importante que se determinen en cada una para definir el tiempo en el cual se deben 'cosechar' de las estacas, para evitar raíces demasiado largas y dificultades en el trasplante. En este estudio, las estacas 'se cosecharon' a los 21 días, tenían 69 raíces, longitud promedio de raíz más larga de 5.24 cm, y porcentaje de sobrevivencia y de enraizamiento de 100% considerándose aptas para trasplantadas, mientras que Sivaji *et al.* (2014); Aghera y Makwana (2018); Kaur *et al.* (2018) trasplantaron a los 90 días y Becker *et al.* (2010) a los 60 días con mayores longitudes de raíz, pero menor porcentaje de enraizamiento y número de raíces. Lo que demuestra que el protocolo utilizado en esta investigación es más eficiente.

### pH de la solución auxínica y medio de dilución

Con excepción del tratamiento pH 4 en E2, donde se obtuvo 73% de enraizamiento, en el resto de los experimentos y tratamientos el resultado fue de 100% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de enraizamiento de *F. carica* al aplicarles 2 000 mg L<sup>-1</sup> de AIB en solución acuosa con diferente pH en cuatro fechas de establecimiento.

Tratamientos	E1- 21 de mayo (%)	E2- 7 de junio (%)	E3- 30 de junio (%)	E4- 29 de julio (%)
Tratamientos	E1- 21 de mayo (%)	E2- 7 de junio (%)	E3- 30 de junio (%)	E4- 29 de julio (%)
pH 4 (etanol)	100 <sup>NS</sup>	73 <sup>S</sup>	100 <sup>NS</sup>	100 <sup>NS</sup>
pH 7 (etanol)	100	100	100	100
pH 11 (NaOH)	100	100	100	100

E1= experimento 1; E2= experimento 2; E3= experimento 3; E4= experimento 4. Varianzas no homogéneas<sup>NS</sup>= no significativo; <sup>S</sup>= significativo; para medianas comparadas mediante prueba Kruskal- Wallis,  $p \leq 0.05$ .



En cuanto al número de raíces (Cuadro 2) en E1 y E3 no hubo diferencia estadística significativa entre los tres pH, En contraste, en E2 el pH neutro y alcalino, superaron estadísticamente a pH ácido por otro lado, en E4 el mejor tratamiento fue el pH alcalino seguido del ácido.

**Cuadro 2. Número promedio de raíces por estaca de *F. carica* por tratamiento de pH en cuatro fechas de establecimiento.**

	E1- 21 de mayo	E2- 7 de junio	E3- 30 de junio	E4- 29 de julio
	E1- 21 de mayo	E2- 7 de junio	E3- 30 de junio	E4- 29 de julio
pH 4	76.8 ±12.1 a	12 ±2.9 b	56.1 ±17.7 a	108.6 ±18.2 ab
pH 7	79.3 ±7.9 a	44.1 ±12.3 a	59.2 ±20.8 a	101.2 ±11.1 b
pH 11	68.1 ±14.6 a	36.9 ±14.1 a	60.1 ±12.1 a	126.2 ±21 a
DMSH	16.2	13.8	15.3	21.8
Promedio	74.7 B	31 D	58.5 C	112 A

Letras diferentes minúsculas en una columna, indican diferencias estadísticas significativas. E1= experimento 1; E2= experimento 2; E3= experimento 3; E4= experimento 4. Varianzas no homogéneas. ±= error estándar; Tukey,  $p \leq 0.05$ . DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

Las diferencias de la longitud promedio de la raíz más larga por estaca no fueron significativas entre los tres pH evaluados en E1, E3 y E4, al contrario, en E2 el mejor tratamiento fue el que incluyó el AIB diluido con etanol y con pH ajustado a 7 con NaOH (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Longitud promedio (cm) de la raíz más larga por estaca de *F. carica* en el tratamiento de pH de la solución de AIB en cuatro fechas de establecimiento.**

Tratamientos	E1- 21 de mayo	E2- 7 de junio	E3- 30 de junio	E4- 29 de julio
T1- pH 4	5.4 ±0.7 a	1.5 ±0.4 b	3.4 ±0.9 a	7.9 ±0.6 a
T2- pH 7	7.3 ±1.2 a	3.7 ±0.9 a	3.5 ±1.1 a	8.7 ±1.5 a
T3- pH 11	5.4 ±1.9 a	2.5 ±1.1 b	3.9 ±1 a	9.3 ±2.4 a
DMSH	1.9	1.1	0.9	2.1
Promedio	6 <sup>s</sup>	2.2	3.5	8.5

Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas. E1= experimento 1; E2= experimento 2; E3= experimento 3; E4= experimento 4. ±= error estándar, Tukey,  $p \leq 0.05$ . DMSH= diferencia mínima significativa honesta. <sup>s</sup>= significativo, para medianas comparadas mediante prueba Kruskal- Wallis,  $p \leq 0.05$ .

La generación de brotes a partir de las yemas es importante debido a que generarán la estructura en donde se alojarán las hojas para que la planta provea de energía química y metabolitos secundarios necesarios para la planta (Hartmann *et al.*, 2014). Todas las estacas evaluadas emitieron brotes, similar a lo documentado por Barcelos *et al.* (2016) en la especie. Las diferencias del porcentaje de yemas brotadas por estaca, por tratamiento, no fueron significativas (según la prueba Kruskal-Wallis) entre E1, E2 y E3; únicamente E4 mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Cuadro 4), donde el mejor tratamiento fue AIB a pH 7, después pH 11 y por último pH 4.

**Cuadro 4**  
**Porcentaje de yemas brotadas por estaca en *F. carica* por tratamiento en cuatro fechas de establecimiento.**

Tratamientos	E1- 21 de mayo	E2- 7 de junio	E3- 30 de junio	E4- 29 de julio
T1- pH 4	66.7 <sup>NS</sup>	83.3 <sup>NS</sup>	100 <sup>NS</sup>	50 <sup>S</sup>
T2- pH 7	66.7	66.7	100	100

Tratamientos	E1- 21 de mayo	E2- 7 de junio	E3- 30 de junio	E4- 29 de julio
T3- pH 11	66.7	87.5	100	83.3

E1= experimento 1; E2= experimento 2; E3= experimento 3; E4= experimento 4. Varianzas no homogéneas<sup>NS</sup>= no significativo; <sup>S</sup>= significativo; para medianas comparadas mediante prueba Kruskal- Wallis,  $p \leq 0.05$ .

Investigaciones en la especie no han analizado el pH en la FRA (Hiral *et al.*, 2017; Aghera y Makwana, 2018; Kaur *et al.*, 2018) por lo que dificulta comparar los resultados obtenidos, por ello compararemos con otras especies donde hayan evaluado el efecto del pH. Los resultados de porcentaje de enraizamiento en E1, E3 y E4 (Cuadro 1), en E2 y E3 con número de raíces (Cuadro 2) y longitud de la raíz más grande difieren con los reportados por Kumar *et al.* (2011), en *Gmelia arborea* ya que en esta especie el pH ácido (5.5) con AIB incrementó el porcentaje de enraizamiento en comparación con pH neutro o ligeramente alcalino (8.5).

Por otro lado, son similares en número de raíces y longitud de la raíz más grande ya que tampoco encontraron diferencia. Los resultados obtenidos con *F. carica*, *G. arborea*, muestran que la respuesta al pH de la solución depende de la especie y que son factores que deben ser considerados al momento de hacer investigaciones con enraizamiento de estacas para tratar de entender mejor el proceso, también permite sugerir que además del pH, la época de estacado es importante.

Probablemente el sustrato intervenga en la respuesta obtenida, ya que, si bien modificamos el pH del medio que transporta la auxina, esta conserva su pH. Lo anterior, ha sido comprobado en *Camellia sinensis* por Abdulkadir y Muharrem (2018) quienes encontraron que pH ligeramente ácido en el sustrato promueve porcentaje mayor de enraizamiento.

Tal vez para inhibir el efecto del sustrato se tendría que hacer uso de soluciones amortiguadoras de pH en la solución auxínica, o aumentar el tiempo de exposición de esta, similar a lo descrito por Khosh-Khui y Tafazoli (1979); Jin-Hao *et al.* (1993). Con relación al medio en el que se diluyó la auxina, los resultados en E1, E3 y E4, son similares a lo encontrado en *Olea europea* y *Varronia curassavica*, pues no se notaron diferencias en el porcentaje de enraizamiento y longitud de las raíces al diluir AIB con NaOH o etanol (Oliveira *et al.*, 2009; Pereira *et al.*, 2021).

Actualmente no están identificados las causas del porcentaje menor de enraizamiento de pH 4 en E2. El enraizamiento mayor en E2 y E4 con pH 11 no concuerda con lo descrito por Pereira *et al.* (2021) en *Varronia curassavica*, ya que el AIB diluido con etanol presentó mayor promedio en número de raíces en comparación con el AIB diluido con NaOH. Tampoco coincide con lo descrito por Jin-Hao *et al.* (1993), en *Helianthus annuus*, quienes observaron que el pH ácido incrementó el número de raíces adventicias y siguieron que esto se debe a que promueven el movimiento de las auxinas a la zona de formación.

Nuestros resultados, tal vez tengan relación con lo descrito por AL S'ady *et al.* (2018), quienes encontraron que pHs alcalinos alteran la estabilidad y actividad de la enzima peroxidasa que oxida al AIA. Becker *et al.* (2010), demostraron que estacas de *F. carica* pueden tener 100% de enraizamiento al aplicar 1 000 mg de AIB L<sup>-1</sup> y lesión en su base, pero con 2 000 mg de AIB L<sup>-1</sup> el porcentaje disminuye a 94%. En otros estudios el enraizamiento fue menor a 100% con 1 000, 2 000, 2 500, 3 000 y 3 500 mg de AIB L<sup>-1</sup> (Lajús *et al.*, 2007; Aghera y Makwana, 2018).

En los resultados puede influir el sustrato, humedad, y contenido de metabolitos en las estacas. Empero, Pipattanawong *et al.* (2008) informaron que ambientes casi herméticos incrementan los porcentajes de enraizamiento. Este factor podría explicar la diferencia entre los resultados del presente estudio con la mayoría de los documentados en la literatura en esta especie, siendo entonces una opción para considerar para futuras investigaciones en enraizamiento de estacas.

El número de raíces contabilizadas en E1, E3 y E4 fue mayor que lo reportado para las variedades 'Poona' y 'Brown Turkey' en concentraciones de 2000 mg de AIB L<sup>-1</sup> (Becker *et al.*, 2010; Sivaji *et al.*, 2014; Kaur *et al.*, 2018) y también para concentraciones de 800, 3 000 y 4 000 indicadas como mejores para enraizar *F. carica* (Araújo *et al.*, 2006; Hiral *et al.*, 2017; Kaur *et al.*, 2018).

Los resultados en E1 (Cuadro 3), son similares a los indicados por Hiral *et al.* (2017), en dos tratamientos, aun cuando ellos realizaron la evaluación nueve días después, ya que documentaron que la longitud promedio de la raíz más larga fue de 5.5 cm con 4 000 mg de AIB L<sup>-1</sup>. Los resultados en E1, E2, E3 y E4 son superiores a los reportados por Becker *et al.* (2010), quienes evaluaron a los 60 días y reportaron longitud promedio de 1 cm con 2 000 mg de AIB L<sup>-1</sup>. La diferencia en el tiempo de evaluación de las investigaciones hace necesario definirlo para que otros trabajos puedan comparar sus resultados obtenidos.

Las diferencias entre los resultados de este estudio y los documentados podrían deberse a condiciones fisiológicas de las estacas y a que en este estudio estas provenían de plantas madre con manejo y cultivadas en espacio protegido, características señaladas por Saya *et al.* (2008) como adecuadas para incrementar porcentaje enraizamiento y número de raíces. Sugiriendo que la época de enraizamiento y manejo de plantas madre es importante para el éxito de la propagación de *F. carica*.

Con las características y condiciones de enraizamiento de este estudio, el análisis anatómico indicó que la iniciación de las raíces sucedió en los primeros seis días, lo que permite sugerir que: 1) futuras investigaciones que evalúen el enraizamiento en *F. carica* deben reducir el tiempo de evaluación; y 2) el trasplante de las estacas puede realizarse en menos tiempo al documentado en la literatura (que nos puede hacer cometer errores), con el fin de proporcionar espacio y manejo adecuado para un mejor y rápido desarrollo.

Con respecto a la brotación de yemas (Cuadro 4) los resultados difirieron con lo observado por Abdulkadir y Muharrem (2018), en *C. sinensis* donde el AIB en conjunto con pH ácido en sustrato propició porcentajes mayores de brotación en comparación con las estacas tratadas con pH ligeramente ácido y neutro.

Los resultados de E4 son similares a lo reportado por Pereira *et al.* (2021), en *V. curassavica* y *M. alternifolia* donde estacas tratadas con auxina diluida con NaOH presentaron porcentajes mayores de brotación con respecto al etanol. La brotación se presentó una semana después de establecidos los experimentos, y aunque no depende de los tratamientos, es conveniente que las estacas broten después de iniciada la diferenciación de raíces, que de acuerdo con las observaciones en los cortes anatómicos, ocurre antes del sexto día.

Investigaciones como las de Martínez-Alcántara *et al.* (2015), mencionan que el crecimiento de un órgano requiere energía metabólica y la vez puede limitar el crecimiento de otro, esto podría explicar los resultados obtenidos en E4, donde el tratamiento con pH 7 con más brotación, fue el que presentó menor número de raíces. Estos resultados coinciden con los reportados por Souza *et al.* (1986), en estacas leñosas en *F. carica*. Con relación a lo anterior de manera general, en E3, que obtuvo 100% de brotación, presentó menor número promedio de raíces (58.5) y menor longitud promedio de raíz más larga (3.63 cm) que E1 (74.7 y 6.07 cm) y E4 (112.04 y 8.68 cm) (Cuadro 2 y 3).

## Enraizamiento con diferentes niveles de pH sin auxina

El pH afectó el porcentaje de enraizamiento; con pH 7 se obtuvo porcentaje de enraizamiento mayor; al contrario, las diferencias en número de raíces, longitud de la raíz más larga y yemas brotadas por estaca no fueron significativas (Cuadro 5). Aunque hubo diferencias en el porcentaje de enraizamiento, se observa que estos valores son inferiores a los obtenidos a cuando se agrega la auxina (100%) (Cuadro 1), así también los valores de número y longitud de raíces son inferiores, 44 raíces y 3.7 cm como valores máximos en E2 (Cuadro 2 y 3), reafirmando la importancia de este regulador en la propagación por medio de estacas.





**Cuadro 5. Porcentaje de enraizamiento (PE), número y longitud de raíces (NR y LR), y porcentaje de yemas brotadas (YB) en *F. carica* en los tres niveles de pH sin AIB. (7 de junio- 29 de junio).**

pH	PE (%)	NR	LR (cm)	YB (%)
pH 4	55.5 <sup>S</sup>	9 a	1.2 a	75 <sup>NS</sup>
pH 7	77.7	4 a	1.7 a	66.6
pH 11	55.5	6 a	1.3 a	75

Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas.  $\pm$ = error estándar, Tukey,  $p \leq 0.05$ . Varianzas no homogéneas. <sup>NS</sup>= no significativo; <sup>S</sup>= significativo, para medianas comparadas mediante prueba Kruskal-Wallis,  $p \leq 0.05$ .

Debido a que actualmente no existe información en *F. carica* sobre enraizamiento de estacas en diferente pH con o sin AIB, compararemos con otras especies en donde hayan trabajado el pH sin auxina. Lo anterior, difiere con los reportado por Kumar *et al.* (2011) en *Gmelina arborea*, en porcentaje de enraizamiento ya que el pH 5.5 generó enraizamiento mayor en comparación con 7 y 8.5, pero es similar en el número de raíces ya que tampoco encontraron diferencias. También difiere a lo observado en *Camellia sinensis* donde obtuvieron mejores resultados en pH de 5.5 (Lima *et al.*, 2013).

Tal vez la diferencia entre nuestros resultados y los observados por Kumar *et al.* (2011) para *G. arborea* y por Lima *et al.* (2013) en *C. sinensis* se debe a que una de las concentraciones de pH evaluadas fue 5.5, misma que favorece el transporte por medio del influjo de la forma protonada de AIA (Taiz y Zeiger, 2010).

## Concentraciones de alcohol

Usualmente, la solución acuosa de etanol se utiliza para diluir las auxinas que se aplican para promover enraizamiento es de etanol: agua 1:1 (Pereira *et al.*, 2021), tal vez tomado de lo recomendado por Hartmann *et al.* (2014). La única variable en la que se observaron diferencias estadísticas es longitud de raíces (Cuadro 6) donde 10% superó a las otras concentraciones, incluso, este valor superó los obtenidos 3.95 cm como valor máximo (Cuadro 3) en los tres pH en E3, a 15% de etanol (experimento que se realizó a la par) lo que significa que la inducción, iniciación y diferenciación de raíces se dio primero en esta concentración.

**Cuadro 6. Porcentaje de enraizamiento (PE), número y longitud de raíces (NR y LR), y porcentaje de yemas brotadas (YB) en estacas de *F. carica* tratadas con 2 000 mg disueltas en tres concentraciones de etanol (30 de junio-22 de julio).**

Etanol (%)	PE (%)	NR	LR (cm)	YB (%)
Etanol (%)	PE (%)	NR	LR (cm)	YB (%)
10	100 <sup>NS</sup>	74.5 $\pm$ 37.9 a	5.94 $\pm$ 2 a	81.5 <sup>NS</sup>
15	100	63.3 $\pm$ 18.3 a	3.8 $\pm$ 0.8 b	77.8
20	100	57.5 $\pm$ 25 a	4.1 $\pm$ 1.5 b	71.3
DMSH	NA	33.3	1.8	NA

Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas.  $\pm$ = error estándar, Tukey,  $p \leq 0.05$ . Varianzas no homogéneas. <sup>NS</sup>= no significativo; <sup>S</sup>= significativo, para medianas comparadas mediante prueba Kruskal-Wallis,  $p \leq 0.05$ .

Tomando en cuenta que las tres concentraciones utilizadas en este experimento son inferiores a las empleadas en la mayoría de los trabajos de enraizamiento, podemos señalar que este factor podría estar afectando la respuesta de 'las otras investigaciones' por lo que es necesario establecer concentraciones apropiadas de etanol para diluir el AIB.

Los resultados difieren a los reportados en *Phaseolus vulgaris* en número y longitud de raíces; en ellas, 0.2% incrementó el número de raíces en comparación con 2% que incrementó la longitud (Middleton *et al.*, 1978). En *Vigna radiata* el número de raíces disminuyó por concentraciones altas de etanol (Bhattacharya *et al.*, 1985). Lo anterior, tal vez a que el etanol puede ser tóxico para las plantas e inhibir su desarrollo y crecimiento (Kern *et al.*, 2009). Tal vez la diferencia entre lo reportado y el presente estudio son las concentraciones de etanol, que varían entre 0.5 y 2% y contrastan con nuestra concentración menor, 10%.

## Conclusiones

Estos hallazgos proporcionan conocimiento anatómico sobre cuándo podrían estar ocurriendo las etapas de inducción, iniciación y diferenciación de raíces adventicias en *F. carica* y sugiere modificar, no solo en esta especie sino en muchas otras, las fechas de evaluación de tratamientos que influyan en el enraizamiento de estacas. El pH de la solución auxínica no es un factor importante para considerar al momento de enraizar estacas de *F. carica*, contrario a evaluado de manera individual este podría influir como en otras especies en el porcentaje de enraizamiento.

El protocolo utilizado en esta investigación, dado que demostró ser eficiente, podría ser utilizado en futuras prácticas de propagación de higo. La forma de diluir la auxina parece tener efecto en el número de raíces en la especie, esto implica que a nivel comercial y de investigación se podrían mejorar protocolos que utilizan el enraizamiento adventicio como un medio de propagación.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su gratitud al MC Raúl Ayanegui Méndez y a la Universidad Autónoma Chapingo por proveer el material vegetal para que la presente investigación fuera posible.

## Bibliografía

- 1 Abdulkadir, Y. and Muharrem, Ö. 2018. The effect of IBA and pH on rooting of tea cuttings. Black Sea Journal of Agriculture. 1(3):76-82.
- 2 Ahkami, A. H.; Lischewski, S.; Haensch, K. T.; Porfirova, S.; Hofmann, J.; Rolletschek, H.; Melzer, M.; Franken, P.; Hause, B.; Druège, U. and Hajirezaei, M. R. 2009. Molecular physiology of adventitious root formation in *Petunia hybrida* cuttings: Involvement of wound response and primary metabolism. New Phytologist. 181(3):613-625. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02704.x>.
- 3 Aghera, D. K. and Makwana, A. N. 2018. Effect of IBA concentrations and types of media on rooting and survival of cutting in fig (*Ficus carica* L.) cv. Poona fig. International Journal of Chemical Studies. 6(5):3202-3206.
- 4 Agulló-Antón, M. Á.; Ferrández-Ayela, A.; Fernández-García, N.; Nicolás, C.; Albacete, A.; Pérez-Alfocea, F.; Sánchez-Bravo, J.; Pérez-Pérez, J. M. and Acosta, M. 2014. Early steps of adventitious rooting: morphology, hormonal profiling and carbohydrate turnover in carnation stem cuttings. Physiologia Plantarum. 150(3):446-462. <https://doi.org/10.1111/ppl.12114>.
- 5 Agulló-Antón, M. Á.; Sánchez-Bravo, J.; Acosta, M. and Druège, U. 2011. Auxins or sugars: What makes the difference in the adventitious rooting of stored carnation cuttings? Journal of Plant Growth Regulation. 30(1):100-113. <https://doi.org/10.1007/s00344-010-9174-8>.
- 6 Araújo, J. P. C.; Pio, R.; Filho, J. A. S.; Filho, F. de A. A. M. and Alves, A. S. R. 2006. Propagação da figueira por estaquia tratadas com AIB. Bioscience Journal. 21(2):59-63.
- 7 AL Sa'ady, A. J. R.; Al Bahrani, M. H. A. and Aziz, M. G. 2018. Characterization and immobilization of peroxidase extracted from Horse Radish and decolorization of some dyes. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 7(06):328-339. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.037>.

- 8 Barcelos, B. R.; Locatelli, G.; Morais, de A. B. C.; Pio, R. y Vieira, B. R. 2016. Enraizamento de segmentos caulinares de cultivares de figueira. *Acta Scientiarum-Agronomy*. 38(3):379-385. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.28117>.
- 9 Becker, L. E.; Pio, R.; Campagnolo, M. A.; Dalastra, I. M.; Curi, P. N. and Moura, P. H. A. 2010. Incision at the base and concentrations of indolbutyric acid on rooting of apical cuttings of "Roxo de Valinhos" fig tree. *Semina: Ciências Agrárias*. 31(1):1325-1330. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n4sup1p1325>.
- 10 Bhattacharya, S.; Bhattacharya, N. C. and Bhatnagar, V. B. 1985. Effect of ethanol, methanol and acetone on rooting etiolated cuttings of *Vigna radiata* in presence of sucrose and auxin. *Annals of Botany*. 55(2):143-145. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086885>.
- 11 Costa, J. M.; Heuvelink, E. and Van P. P. 2003. Propagation own-rooted cuttings. En A. V. Roberts Ed. *Encyclopedia of Rose Science*. Elsevier Academic Press. 607-615 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.05091-3>.
- 12 Druege, U.; Hilo, A.; Pérez, P. J. M.; Klopotek, Y.; Acosta, M.; Shahinnia, F.; Zerche, S.; Franken, P. and Hajirezaei, M. R. 2019. Molecular and physiological control of adventitious rooting in cuttings: Phytohormone action meets resource allocation. *Annals of Botany*. 123(6):929-949. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy234>.
- 13 Hartmann, H. T.; Kester, D. E.; Davies Jr, F. T. and Geneve, R. L. 2014. *Hartmann & Kester's Plant Propagation Principles and Practices*. Pearson Education Limited. 8<sup>th</sup> Ed. United States of America. 912 p.
- 14 Hiral, R. P.; Patel, M. J. and Sumit, S. 2017. Effect of different levels of IBA and NAA on rooting of hardwood and semi hardwood cutting in fig. *International Journal of Agricultural Science and Research*. 7(4):519-524. <https://doi.org/10.24247/ijasraug201767>.
- 15 Guan, L.; Murphy, A. S.; Peer, W. A.; Gan, L.; Li, Y. and Cheng, Z. M. 2015. Physiological and molecular regulation of adventitious root formation. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 34(5):506-521. <https://doi.org/10.1080/07352689.2015.1090831>.
- 16 Kaur, A.; Kaur, K. and Kaur, A. 2018. Role of IBA and PHB on success of cuttings of fig cv. Brown Turkey. *Asian Journal of Science and Technology*. 9(5):8237-8241. <http://www.journalajst.com>.
- 17 Kern, K. A.; Pergo, E. M.; Kagami, F. L.; Arraes, L. S.; Sert, M. A. and Ishii-Iwamoto, E. L. 2009. The phytotoxic effect of exogenous ethanol on *Euphorbia heterophylla* L. *Plant Physiology and Biochemistry*. 47(11-12):1095-1101. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.07.002>.
- 18 Khosh-Khui, M. and Tafazoli, E. 1979. Effect of acid or base pretreatment on auxin response of Damask rose cuttings. *Scientia Horticulturae*. 10(4):395-399. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(79\)90100-6](https://doi.org/10.1016/0304-4238(79)90100-6).
- 19 Kumar, P.; Jharia, S. K. and Ansari, S. A. 2011. Change in pH regimes and adventitious root induction in semi-hardwood cuttings of *Gmelina arborea* Roxb. *Plant Growth Regulation*. 65(3):531-536. <https://doi.org/10.1007/s10725-011-9617-7>.
- 20 Lajús, C. R.; Sobral, L. S.; Belotti, A.; Savaris, M.; Lampert, S.; Regina, S. and Kunst, T. 2007. Ácido indolbutírico no enraizamento de estacas lenhosas de figueira (*Ficus carica* L.). *Revista Brasileira de Biociências*. 5(2):1107-1109.
- 21 Lima, J. D.; Bolfarini, A. C. B.; da Silva, S. H. M. G. e Moraes, W. S. 2013. Propagação de *Camellia sinensis*: Efeito do genótipo, estaca, substrato, recipiente e ácido indolbutírico. *Horticultura Brasileira*. 31(1):74-79. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000100012>.
- 22 Martínez, A. B.; Iglesias, D. J.; Reig, C.; Mesejo, C.; Agustí, M. and Primo, M. E. 2015. Carbon utilization by fruit limits shoot growth in alternate-bearing citrus trees. *Journal of Plant Physiology*. 176:108-117. <https://doi.org/10.1016/J.JPLPH.2014.12.001>.

- 23 Middleton, W.; Jarvis, B. C. and Booth, A. 1978. The boron requirement for root development in the stem cuttings of *Phaseolus aureus* roxb. *New Phytologist* . 81(2):287-297. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1978.tb02634.x>.
- 24 Oliveira, A. F.; Chalfun, N. N. J.; Alvarenga, Â. A.; Vieira, N. J.; Pio, R. e Oliveira, D. L. 2009. Estaquia de oliveira em diferentes épocas, substratos e doses de AIB diluído em NaOH e álcool. *Ciência e Agrotecnologia*. 33(1):79-85. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542009000100011>.
- 25 Pereira, M.; Gonçalves, L. F. S.; Gomes, E. N.; Rossa, Ü. B. and Deschamps, C. 2021. Auxin type and dilution vehicles on vegetative propagation of *Varronia curassavica* Jacq. and *Melaleuca alternifolia* Cheel. *Ornamental Horticulture*. 27(2):238-246. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.V27I2.2253>.
- 26 Pipattanawong, N.; Tiwong, S.; Thongyeon, B.; Darak, R.; Thamin, P. and Techa, W. 2008. Improvement of propagation by hardwood cuttings with and without using plastic pavilions in fig (*Ficus carica* L.). *Kasetsart Journal-Natural Science*. 42(2):207-214.
- 27 Rengel, Z. 2002. *Handbook of Plant Growth pH as the Master Variable*. Marcel Dekker. 1<sup>st</sup> Ed. 35-59 pp.
- 28 Saya, R.; Mankessi, F.; Toto, M.; Marien, J. and Monteuis, O. 2008. Advances in mass clonal propagation of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* in Congo. *Bois et Forêts des Tropiques*. 297(3):15-25. <http://bft.revuesonline.com/>.
- 29 Sivaji, T.; Madhavi, K and Sudha, V. V. 2014. Effect of type of cuttings and IBA concentrations on the propagation of fig (*Ficus carica*) cv. Poona fig under open conditions. *International Journal of Tropical Agriculture*. 32(12):85-88.
- 30 Souza, S. M. and Feelker, P. 1986. The influence of stock plant fertilization on tissue concentrations of N, P and carbohydrates and the rooting of *Prosopis alba* cuttings. *Forest Ecology and Management*. 16:181-190. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(86\)90018-6](https://doi.org/10.1016/0378-1127(86)90018-6).
- 31 Taiz, L. and Zeiger, E. 2010. *Plant physiology*. Sinauer Associates, Inc. 5<sup>th</sup> Ed.



## pH, dilución y concentraciones de alcohol de AIB en el enraizamiento de *Ficus carica*

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 April 2024
Date accepted: 01 June 2024
Publication date: 19 June 2024
Publication date: May-Jun 2024
Volume: 15
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e3224
DOI: 10.29312/remexca.v15i4.3224

### Categories

Subject: Artículo

### Palabras clave:

**Palabras clave:**

enraizamiento adventicio  
concentraciones de etanol  
H<sup>+</sup>

### Counts

Figures: 1  
Tables: 6  
Equations: 0  
References: 31  
Pages: 0