



Enraizamiento y crecimiento en vivero de maguey arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*) con dos estimulantes radicales

Bailón Ortiz, A. Z., Morales García, I., Martínez Gutiérrez, G. A. y Zárte Nicolás, B. H. (2026). Enraizamiento y crecimiento en vivero de maguey arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*) con dos estimulantes radicales [*Postprint*]. *CIENCIA ergo-sum*, 33.

<https://doi.org/10.30878/ces.v33n0a60>

Sección: Ciencias Naturales y Agropecuarias

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Esta versión del artículo es una “versión final del autor” que fue aceptada por un proceso de **evaluación por pares ciegos**. Este documento diferirá en formato respecto a la “versión del editor”, la cual se someterá a un proceso de corrección de estilo y de diseño editorial. De ninguna forma se modificará el contenido. Todas las ideas que se presentan son responsabilidad del autor.

Enraizamiento y crecimiento en vivero de maguey arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*) con dos estimulantes radicales
Rooting and nursery growth of maguey arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*) with two root stimulants

Álvaro Zuriel Bailón Ortiz, Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, México

Correo electrónico: abailono2300@alumno.ipn.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7353-4896>

Isidro Morales García, Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, México¹

Correo electrónico: imoralesg@ipn.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3466-9576>

Gabino Alberto Martínez Gutiérrez, Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, México

Correo electrónico: gamartinezg@ipn.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9989-3037>

Baldomero Hortencio Zárate Nicolás, Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, México

Correo electrónico: bzaraten@ipn.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8590-7784>

Recepción: 14 de febrero de 2025

Aprobación: 7 de julio de 2025

RESUMEN

Se evaluó el efecto de dos estimulantes comerciales sobre el enraizamiento y crecimiento vegetativo de maguey arroqueño. Los estimulantes fueron: Massive Root® y Raizal® 400, se aplicaron por inmersión del tallo, el testigo fue en agua destilada. Se tuvieron ocho repeticiones de una planta, establecidas bajo un diseño completamente al azar. Se registraron variables agronómicas y del sistema radical. Los resultados indicaron que el uso de Massive Root® incrementó en 72.1% la altura de la planta, el número de raíces en 49.3%, mayor biomasa radical (78.95%) y mayor eficiencia radical (9.93%) comparado con las plantas testigo. El estimulante radical Massive Root® es una alternativa viable en la promoción del enraizamiento y crecimiento de maguey arroqueño en etapa de vivero.

PALABRAS CLAVE: ácido Indol-3-butírico, agave mezcalero, bioestimulación, morfología del agave

ABSTRACT

The effect of two commercial stimulants on rooting and vegetative growth of maguey arroqueño was evaluated. The stimulants were: Massive Root® and Raizal® 400, and were applied by immersion of the stem, the control was in distilled water. There were eight replicates of one plant, established under a completely randomized design. Agronomic and root system variables were recorded. The results indicated that the use of Massive Root® increased plant height by 72.1%, root number by 49.3%, root biomass (78.95%) and root efficiency (9.93%) compared to the control plants. The root stimulant

¹ Autor para correspondencia.

Massive Root[®] is a viable alternative in the promotion of rooting and growth of maguey arroqueño in the nursery stage.

KEYWORDS: indole-3-butyric acid, agave mezcalero, biostimulation, agave morphology.

INTRODUCCIÓN

Debido a su importancia ecológica, económica y cultural, los agaves han sido una parte fundamental para el desarrollo de la humanidad (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017). México, es el centro de origen y diversificación de los agaves y concentra el 75% del total de las especies existentes en el mundo (Huerta-Zavala *et al.*, 2025); de las cuales, se estima que 129 son endémicas (García-Mendoza *et al.*, 2019; Pérez-de León *et al.*, 2020). En el estado de Oaxaca, se encuentran distribuidas 65 especies de agaves (García-Mendoza y Meave, 2011), la mayoría utilizadas para la elaboración de mezcal (García-Mendoza *et al.*, 2019), mientras que a nivel nacional, se estima que entre 50 y 53 especies son utilizadas para la elaboración de esta bebida, de las cuales 37 son colectadas de poblaciones silvestres, lo que presenta un serio problema al no permitirles su reproducción natural, aumentando así el riesgo de extinción local (Delgado-Lemus *et al.*, 2014; Corona-Romero *et al.*, 2022).

El maguey arroqueño (*Agave americana* L. var. *oaxacensis*) es una especie silvestre que ha sido utilizada en diversas comunidades de Oaxaca, como materia prima en la producción de mezcal (Cuevas-Reyes *et al.*, 2019; Núñez-Reyes *et al.*, 2021), su madurez reproductiva la alcanza en un periodo de aproximadamente 20 años (Cruz-García *et al.*, 2019) y es una de las especies de mayor tamaño del género para la producción de mezcal, con tallos o “piñas” de más de 300 kg. Por lo cual, en diferentes comunidades del municipio de Sola de Vega Oaxaca, obtienen con esta especie elevados rendimientos de mezcal, con excelente calidad y mayor precio en el mercado respecto a otras especies cultivadas (Martínez-Jiménez *et al.*, 2019). Razones que la ubican como una especie estratégica para avanzar en el desarrollo sostenible del agroecosistema agave mezcal.

A. americana L. se reproduce por semilla, hijuelos de rizoma, axilares, bulbilos (García-Mendoza, 2007; García-Mendoza *et al.*, 2019) e *in vitro* (Pérez-de León *et al.*, 2020). Las plantas propagadas sexual o asexualmente, con dos años de edad y antes de ser trasplantadas, empíricamente se poda la raíz y junto con el tallo o “piña”, se sumergen por unos minutos en una solución con fungicida y se mantienen bajo sombra durante 15 días. De esta manera, los

campesinos de esta región omiten el proceso de estimulación para la emisión de raíces nuevas (Ríos-Ramírez *et al.*, 2021).

En la actualidad, el cambio climático ha modificado la distribución de la precipitación pluvial anual, consecuentemente la variación en las fechas de siembra de muchos cultivos (Gallardo-Ballat *et al.*, 2018). Estas modificaciones medioambientales hacen necesario evaluar sustancias reguladoras del crecimiento vegetal como una estrategia de promoción y estimulación del enraizamiento, crecimiento y tolerancia de las plantas a diversos tipos de estrés en el trasplante; fundamentalmente el ocasionado por sequía. Algunos de estos reguladores son las auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno, ácido abscísico y brasinoesteroides (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019; Borjas-Ventura *et al.*, 2020).

Al respecto, Cruz-Vasconcelos *et al.* (2024), encontraron que el uso de ácido indol-3-butírico en forma de Radix® 10 000 promovió la emisión de hijuelos rizomáticos en *A. salmiana*. Así mismo, Garnica-García *et al.* (2020), indicaron que el uso de 6-bencilaminopurina conjuntamente con la solución nutritiva al 50% aumentó el número de brotes rizomáticos en *A. angustifolia* Haw. Además, Sánchez-Mendoza y Bautista-Cruz (2024), obtuvieron mejores resultados aplicando Biozyme TF® en la etapa de crecimiento inicial de *A. potatorum*. Son pocos los trabajos que evalúan el uso de reguladores del crecimiento vegetal en agave en etapa de vivero, y menor en las especies silvestres que están en proceso de domesticación como *A. americana* L. var. *oaxacensis*. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue estudiar el efecto de dos productos comerciales estimulantes de la emisión de raíz sobre el enraizamiento y crecimiento vegetativo de plantas de maguey arroqueño (*A. americana* L. var. *oaxacensis*) provenientes de hijuelos de rizomas en etapa de vivero.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Área de estudio y material vegetal

La investigación se realizó bajo una estructura de protección tipo casa sombra (Juárez-López *et al.*, 2011), en el municipio de San Francisco Sola, Sola de Vega, Oaxaca. Localizado a 16° 30' 51'' N y 96° 58' 14'' O, altitud de 1 423 m, con temperatura y precipitación media anual de: 16 - 22 °C y de 700 – 1 000 mm, respectivamente (INEGI, 2010). Se condujo del 16 de marzo al 14 de agosto del 2024. Se utilizaron hijuelos de maguey arroqueño (*A. americana*

var. oaxacensis) con seis meses de edad obtenidos de una plantación comercial de un año de edad, cuya planta madre fue propagada por semilla.

1. 2. Tratamientos y diseño experimental

Se utilizaron dos productos comerciales indicados como estimulantes de enraizamiento: Massive Root® Enraizador (GrowCare) y Raizal® 400 (Arysta), y como testigo, plantas sin estimulante. Se tuvieron ocho repeticiones por tratamiento y la unidad experimental fue una planta, el diseño experimental fue completamente al azar.

1. 3. Establecimiento y manejo del experimento

Los hijuelos fueron separados de la planta madre, se les realizó poda de raíz y se desinfectaron mediante inmersión por 5 min en una solución de Captan® 50 WP a 5 g L⁻¹ (Sánchez *et al.*, 2020; López-Medina *et al.*, 2020), y se reposaron bajo sombra por un día. Los tratamientos se prepararon con las dosis recomendadas: Massive Root Enraizador® 1 mL L⁻¹ y Raizal® 5 g L⁻¹, diluidos en agua destilada. Las plantas se pusieron en inmersión en la solución por 30 minutos de acuerdo con la metodología propuesta por Cajamarca-Marín *et al.* (2017). El tratamiento testigo constó de la inmersión de las plantas en agua destilada. Como sustrato de cultivo se utilizó arena de río con tamaño de partícula menor a 4 mm; las características físicas de la arena fueron: densidad aparente 1.68 g cm⁻³, porcentaje de porosidad total 33.35%, porosidad de aire 7% y capacidad de retención de agua 25.45%, obtenidas con la metodología de Landis *et al.* (1990). El trasplante se realizó en bolsas de polietileno color negro de 1 100 cm³ de capacidad, conteniendo arena como sustrato e irrigadas a capacidad de contenedor. La densidad de siembra fue de 11 plantas m⁻², colocadas en filas e hileras a 30 cm de distancia. Durante el primer mes, los riegos se realizaron cada tercer día y a partir del segundo mes se aplicó cada siete días, el drenaje del agua en las bolsas se mantuvo al 10% (Urrestarazu-Gavilán, 2015). El manejo de plagas fue preventivo, se utilizaron trampas con agave crudo asperjado con Regent® 4 SC a una dosis de 1 mL L⁻¹, sustituido cada 15 días y una feromona de agregación P-440 Lure, la cual fue sustituida cada 45 días. Para las enfermedades se asperjaron semanalmente de forma alterna Captan® 50 WP y Cupravit® en dosis de 5 g L⁻¹.

1. 4. Variables respuesta y análisis de datos

Las variables respuesta fueron: el incremento de altura, se obtuvo con la diferencia entre altura final e inicial y el número de hojas desplegadas, ambas realizadas a los 75 y 150 días después de trasplante (ddt); al finalizar el experimento (150 ddt), se determinó el incremento en peso fresco total; se obtuvo mediante la diferencia entre el peso fresco final e inicial, y el número, longitud y peso fresco de raíces; para la biomasa seca radical, las raíces se secaron bajo una estructura de malla sombra hasta peso constante y se pesaron con una balanza de precisión (Ohaus®). La fracción radical se calculó mediante la fórmula 1 y el índice de eficiencia radical con la fórmula 2 (Ramos-Hernández *et al.*, 2014), la biomasa seca total se obtuvo mediante el secado de las plantas bajo una estructura de malla sombra hasta peso constante, su peso se obtuvo con una balanza de precisión (Ohaus®).

$$\%FR = \frac{Brs}{Bts} \times 100 \quad (1)$$

$\%FR$: fracción radical, Brs : Biomasa radical seca (g), Bts : biomasa total seca (g).

$$\%IER = \frac{Brs(f) - Brs(t)}{Bts(t)} \times 100 \quad (2)$$

$\%IER$: índice de eficiencia radical, $Brs(f)$: Biomasa radical seca del tratamiento (g); $Brs(t)$: biomasa radical seca del testigo (g); $Bts(t)$: biomasa total seca del testigo (g).

Los datos se sometieron a pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianza por la prueba de Levene ($\alpha = 0.05$). Las variables número de hojas y raíces no cumplieron la normalidad y homogeneidad de varianza, y se transformaron con la función de la raíz cuadrada. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y las medias se compararon usando la prueba de LSD de Fisher ($\alpha = 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron en el paquete Minitab® Statistical Software (versión 17).

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2. 1. Análisis de varianza de las variables evaluadas

Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) para las variables: incremento de altura a los 75 y 150 ddt, el número, longitud, peso seco y fracción radical; en las variables de incremento de peso fresco total de la planta, número, peso fresco y volumen radical el efecto fue significativo ($p < 0.05$); sin embargo, en las variables de hojas

desplegadas en las dos fechas de muestreo y la densidad radical no mostraron diferencia estadística significativa (cuadro 1).

Cuadro 1
Análisis de varianza de las variables evaluadas en maguey arroqueño (*A. americana* var. oaxacensis) sometidas a dos estimulantes radicales

Fuente de variación	GL	75 ddt		150 ddt			
		Incremento de altura (cm)	Hojas desplegadas	Incremento de altura (cm)	Hojas desplegadas	Incremento de peso fresco (g)	Número de raíces
Estimulante	2	18.556**	2.375ns	28.292**	0.541ns	10980*	208**
Error	21	3.132	1.512	3.137	2.131	1974	13.360
Total	23						
CV (%)		38	27	19	39	42	28

150 ddt							
		Longitud de raíces (cm)	Peso fresco de raíz (g)	Volumen de raíces (cm ³)	Densidad de raíces (g cm ⁻³)	Biomasa seca radical (g)	Fracción radical (%)
Estimulante	2	124.33**	412.00*	306.25*	0.008ns	17.58**	0.0160**
Error	21	7.80	87.58	54.17	0.005	0.72	0.0003
Total	23						
CV (%)		17	25	19	8	33	33

Fuente: elaboración propia.

Nota: GL: grados de libertad; CV: coeficiente de variación. ns: efectos no significativos ($p > 0.05$); *: valores con efectos significativos ($p < 0.05$); **: valores con efectos altamente significativos ($p < 0.01$).

2. 2. Crecimiento vegetativo

La inmersión de plantas de maguey arroqueño en solución de Massive Root® Enraizador no incrementó la altura de las plantas testigo a los 75 ddt; sin embargo, si promovió un incremento de 72.1 y 76.4% a los 150 ddt, estos valores fueron diferentes estadísticamente con las plantas del tratamiento testigo y Raizal® 400 respectivamente ($p = 0.001$). El incremento en peso no mostró diferencia significativa entre los tratamientos de Massive Root® Enraizador y el testigo. Los valores más bajos de incremento de altura a los 150 ddt se encontraron en las plantas tratadas con Raizal® 400 ($p < 0.05$) (cuadro 2).

Cuadro 2

Enraizamiento y crecimiento vegetativo de las plantas de maguey arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*) en función de la aplicación de estimulantes radicales

Tratamiento	75 ddt		150 ddt		
	Incremento de altura (cm)	Hojas desplegadas	Incremento de altura (cm)	Hojas desplegadas	Incremento de peso fresco (g)
Massive Root	4.5 ± 0.58a	3.0 ± 1.3a	7.4 ± 1.7a	4.5 ± 1.7a	178.3 ± 42.2a
Raizal	1.6 ± 0.61b	3.1 ± 1.6a	4.0 ± 1.6b	4.4 ± 0.7a	77.0 ± 46.5b
Testigo	2.2 ± 0.65ab	2.1 ± 1.1a	4.3 ± 2.0b	4.9 ± 1.7a	151.0 ± 48.0ab
DMS	1.83	1.97	1.83	1.53	71.07

150 ddt					
Raíz					
	Número	Longitud (cm)	Volumen (cm ³)	Peso fresco (g)	Densidad (g cm ⁻³)
Massive Root	30.3 ± 3.2a	39.8 ± 3.1a	53.8 ± 7.5a	54.8 ± 12.2a	1.00 ± 0.10a
Raizal	16.3 ± 3.3b	29.3 ± 3.6b	36.3 ± 7.5b	34.8 ± 7.9b	0.96 ± 0.03a
Testigo	20.3 ± 2.5b	31.3 ± 1.0b	45.0 ± 7.1ab	41.8 ± 7.3ab	0.93 ± 0.04a
DMS	5.85	4.47	11.77	14.97	0.12

Fuente: elaboración propia.

Nota: Media ± desviación estándar con letras diferentes indican diferencia estadística entre tratamientos (LSD, $p < 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa.

Los resultados encontrados en la presente investigación pueden atribuirse a la capacidad que tienen las auxinas, principalmente el ácido indol-3-butírico en la estimulación del crecimiento apical de las plantas (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019; Borjas-Ventura *et al.*, 2020). Por otra parte, las citoquininas con las que cuenta el Massive Root® Enraizador pueden tener un efecto complementario a la acción del ácido indol-3-butírico en el proceso de división y elongación celular (Jordán y Casaretto, 2008). Resultados similares reportaron Sánchez-Mendoza y Bautista-Cruz (2024), con la aplicación de Biozyme TF®, el cual cuenta con auxinas, citoquininas y giberelinas, que promovieron un incremento en la altura en plantas de *Agave potatorum* Zucc., en 11.7% comparado a con las plantas sometidas al tratamiento de Agromil Plus® que solo cuenta con giberelinas. Garnica-García *et al.* (2020), encontraron que la adición de 6-bencilaminopurina en la solución nutritiva mejoró las variables vegetativas de plantas de *Agave angustifolia* Haw. Miguel-Luna *et al.* (2013), indicaron que el uso de ácido indolbutírico a 1 ppm, incrementó la altura de la planta en *A. potatorum*. Por otra parte, Dévora-Rodríguez *et al.* (2021), indicaron que el uso de reguladores del crecimiento vegetal, kinetina 4 ppm y ácido naftalenacético 0.4 ppm, incrementaron la altura

de explantes de *A. duranguensis* durante la propagación *in vitro*. Canseco-Santiago *et al.* (2024), encontraron que el uso de bencilaminopurina 20 ppm adicionada a la solución nutritiva, incrementó la altura de las plantas en *A. americana* var. *oaxacensis*, provenientes de propagación *in vitro*.

2. 3. Promoción del enraizamiento

El uso de Massive Root® Enraizador promovió el incremento de número de raíces primarias en 33%, la longitud en 27%, el volumen en 21.8% y el peso fresco de la raíz en 31.8% comparado con el testigo, de las cuales, el número y longitud de raíces fueron estadísticamente diferentes entre estos tratamientos. En todas las variables de promoción radical, las plantas tratadas con Massive Root® Enraizador fueron diferentes estadísticamente a los valores encontrados en las plantas tratadas con Raizal® 400 (LSD, $p < 0.05$) (cuadro 2).

El ácido indol-3-butírico, se caracteriza por ser una sustancia estimulante del sistema radical de plantas (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019; Borjas-Ventura *et al.*, 2020), este regulador del crecimiento vegetal ha sido ampliamente utilizado en el enraizamiento de brotes de *A. angustifolia* (Luna-Vicente *et al.*, 2025) y *A. potatorum* (Miguel-Luna *et al.*, 2013); esto se debe a que es menos susceptible a la oxidación por luz comparado con el ácido indolacético (Hernández *et al.*, 2005). Es posible que la presencia de ácido indol-3-butírico en el Massive Root® Enraizador promovió un incremento en las variables de enraizamiento en las plantas evaluadas ya que cuenta con una concentración de 2 500 ppm y el Raizal® solo cuenta con un complejo auxínico a 400 ppm. Diversas investigaciones han demostrado la efectividad del ácido indol-3-butírico en la estimulación de emisión de raíces adventicias en diversas especies vegetales. Vargas-Santiago *et al.* (2003), encontraron que dosis de 10 000 ppm o el enraizador comercial Radix® 10 000 incrementaron el número de raíces en esquejes de pitahaya (*Hylocereus andatus*), planta con un metabolismo semejante a los agaves. En *Pinus patula*, la inmersión de estacas en ácido indol-3-butírico comercial Radix® 10 000 a una concentración de 5 000 ppm por 20 segundos aumentó el porcentaje de enraizamiento en un 25% comparado con el control (Bautista-Ojeda *et al.*, 2022). En *nanche* (*Malpighia mexicana* A. Juss. y *Byrsonima crassifolia* (L) H. B. K), Maldonado-Peralta *et al.* (2016), encontraron que concentraciones de 6 000 ppm de ácido indol-3-butírico mejoraron los valores de supervivencia, brotación y enraizamiento. Sánchez-Mendoza y Bautista-Cruz *et al.* (2024),

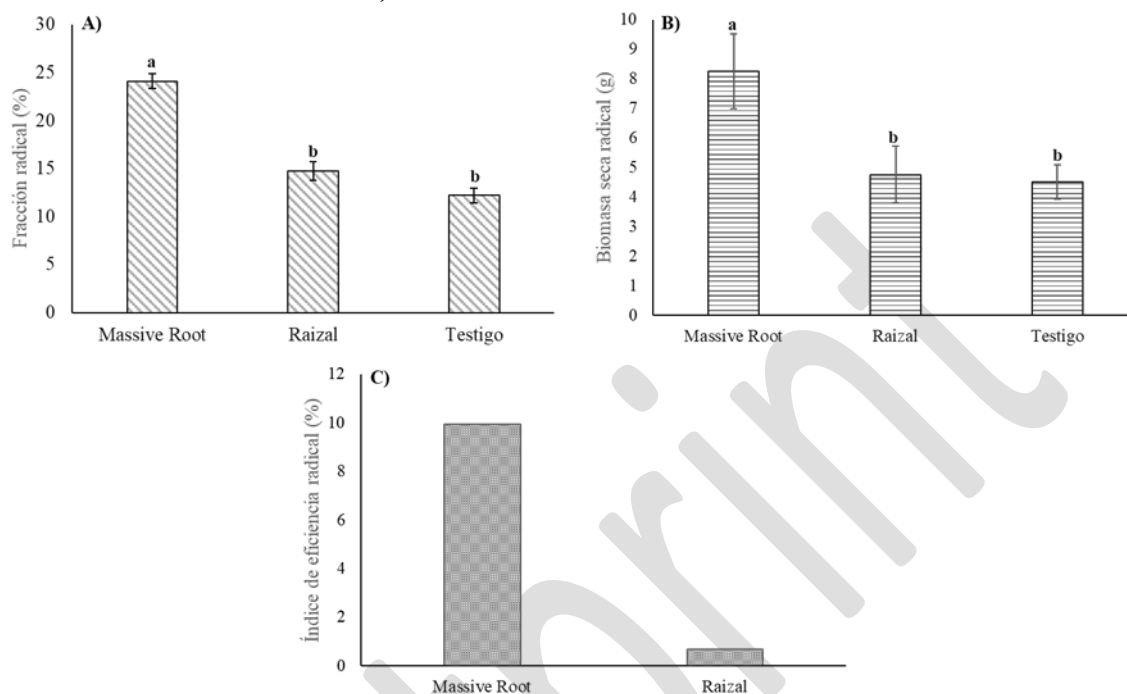
encontraron que el uso de Biozyme TF® incrementó la longitud, el peso fresco y el volumen del sistema radical en plantas de *Agave potatorum* comparado con el tratamiento testigo y la aplicación de Agromil Plus®, estos resultados son semejantes a lo encontrado en el presente estudio y esto probablemente se deba a la presencia de auxinas y citoquininas en los productos estimulantes. Cruz-Vasconcelos et al. (2024), ha demostrado que el uso de ácido indol-3-butírico de origen comercial (Radix® 10 000) en *Agave salmiana* promueve la emisión de hijuelos rizomáticos. En cuanto a la citoquininas, Garnica-García et al. (2020), mostraron que la adición de 6-bencilminopurina en la solución nutritiva incrementa el volumen del peso seco y número de raíces en *Agave angustifolia*. Los resultados sugieren que el uso de reguladores comerciales con un contenido alto de ácido indolbutírico, acompañado de citoquininas puede ser de utilidad en el rápida estimulación de raíces en maguey arroqueño en la etapa de vivero.

2. 4. Biomasa seca, fracción e índice de eficiencia radical

El mayor valor en cuanto a biomasa radical seca se encontró en las plantas tratadas con Massive Root® Enraizador, incrementando un 83% comparado con el testigo y 63.9% con las plantas tratadas con Raizal® 400 con diferencia estadística significativa ($p < 0.05$); sin embargo, no hubo diferencias significativas entre las plantas del testigo y las tratadas con Raizal® 400 ($p < 0.05$) (gráfica 1B). La fracción radical, indica la fracción que ocupa sistema radical respecto al peso seco total de la planta, el uso de Massive Root® Enraizador tuvo un mayor valor y se debió a que estimuló una mayor cantidad de raíces (gráfica 1A). El índice de eficiencia radical, el cual refleja la eficiencia de los tratamientos en la promoción del enraizamiento comparado con el testigo, mostró un valor mayor en las plantas tratadas con Massive Root® Enraizador (gráfica 1C). Los valores más bajos en fracción y biomasa seca radical se encontraron en el tratamiento testigo.

Gráfica 1

Respuesta en variables de A) fracción radical, B) biomasa radical y C) índice de eficiencia radical a la aplicación de estimulantes en maguey arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*) durante 150 días de crecimiento en vivero



Fuente: elaboración propia.

Nota: barras con letras diferentes indican diferencia estadística entre tratamientos (LSD, $p < 0.05$).

Los resultados encontrados probablemente se deben a la alta eficiencia de los reguladores del crecimiento vegetal en la promoción de enraizamiento de las plantas como lo indica Santander-Coronel (2018), principalmente a la presencia del ácido indol-3-butírico en el producto Massive Root®, ya que el Raizal® no lo contiene y es un producto con un complejo auxínico de baja concentración. Así mismo, el producto Massive Root® Enraizador cuenta con extractos de algas marinas (10%) y aminoácidos (10%) los cuales han sido reportados como sustancias con efecto altamente positivos en el enraizamiento y reducción de estrés de las plantas (Espinoza-Antón *et al.*, 2020). Al respecto, Ramos-Hernández *et al.* (2013, 2014), reportaron resultados semejantes a los encontrados en la presente investigación, utilizando ácido indolacético a 5 ppm como un testigo comercial en guayaba (*Psidium guajava* L.) var. Enana Roja Cubana promovió una mayor fracción, biomasa y la eficiencia radical comparado con el resto de los tratamientos los cuales consistieron en diferentes dosis de FitoMas®-E y el testigo absoluto. Por otra parte, Reyes-Pérez *et al.* (2023), encontraron que el uso de oligogalacturónidos en concentración de 100 ppm incrementaron la fracción y la biomasa

seca radical comparado con el estimulante comercial aplicado; estos resultados no concuerdan con lo encontrado en el presente trabajo, pero pueden explicar el efecto combinado del ácido indol-3-butírico con los aminoácidos y extractos de algas presentes en el Massive Root® Enraizador.

PROSPECTIVA

Los agaves son plantas altamente demandadas por la industria mezcalera presente en nueve estados de México; por la calidad organoléptica de los mezcales provenientes de agaves silvestres, esta industria ha incrementado la demanda de materia prima en la última década, las cuales se han comenzado a domesticar. Algunas especies silvestres de agaves utilizadas en la producción de esta bebida alcohólica tiene un periodo de vida muy longevo que puede llegar hasta los 35 años, ejemplo de esto es el maguey arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*), el cual tiene un ciclo de vida promedio de 20 años y esto dificulta su reproducción y propagación. Es importante mencionar que existen pocos trabajos acerca de la estimulación del crecimiento de agaves en etapa de vivero, principalmente de especies silvestres, lo cual dificulta aún más su manejo como recurso natural.

El presente trabajo científico es el inicio de una serie de investigaciones que buscan estimular un rápido enraizamiento y crecimiento de maguey arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*), esto con la finalidad de reducir su ciclo de cultivo y asegurar un manejo sostenible de estos recursos de gran importancia para el estado de Oaxaca. Los resultados encontrados muestran efectos positivos prometedores del uso de estimulantes radicales con reguladores del crecimiento vegetal, algunas sustancias orgánicas y minerales, en la estimulación del crecimiento de maguey arroqueño; lo cual en el ámbito productivo es importante ya que estos reguladores del crecimiento presentes en el producto Massive Root®, pueden ser el herramientas estratégicas en planes integrados de manejo de agaves silvestres con vista a una mejor calidad de plantas y rendimientos en menor tiempo.

CONCLUSIONES

El uso de Massive Root® Enraizador promovió una mayor altura de las plantas de maguey arroqueño (*A. americana* var. *oaxacensis*), además mejoró las variables número, longitud, y peso seco de raíz, fracción y eficiencia radical comparado el resto de los tratamientos. Estos resultados muestran que el uso de Massive Root® Enraizador puede ser una opción viable en

la promoción del crecimiento vegetal de plantas de maguey arroqueño en la etapa de vivero.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo económico otorgado al proyecto SIP 20240234 y al CONAHCYT por la beca 4012247 otorgada para estudio del programa de Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales. Los autores agradecen a los revisores de este artículo, por sus atinados comentarios y sugerencias contribuyeron a la mejora del manuscrito.

REFERENCIAS

Alcántara-Cortes, J. S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortes, J. D., & Sánchez-Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y su interacción con el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129.

Bautista-Ojeda, G. I., Vargas-Hernández, J. J., Jiménez-Casas, M., & López-Peralta, Ma. C. G. (2022). Manejo de planta y aplicación de AIB en el enraizado de estacas de *Pinus patula*. *Madera y Bosques*, 28(1), Artículo e2812060.
<https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812060>

Borjas-Ventura, R., Julca-Otiniano, A., & Alvarado-Huamán, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 150-164. <http://dx.doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200150>

Canseco-Santiago, D. E., Enríquez-del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Rodríguez-Vásquez, M. E., García-Aguilar, J. A., & Pérez-Félix, G. P. (2024). Desarrollo de *Agave americana* var. *oaxacensis* por efecto de nutrición orgánica, fertirriego y bencilaminopurina. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 11(2), 126-135.
<https://doi.org/10.60158/rma.v11i2.431>

- Cajamarca-Marín, E. S., Quevedo-Guerrero, J. N., & García-Batista, R. M. (2017). Eficiencia de hormonas en el enraizamiento de ramillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo nacional x trinitario. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5(1), 6-15.
- Colunga-García, M. P., Torres-García, A., Figueredo U. C. J., Rangel-Landa, S., Delgado-Lemus, A., Vargas, O., Cabrera-Toledo, D., Zizumbo-Villareal, D., Aguirre-Dugua, X., Eguiarte, L. E., & Carrillo-Galván, G. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. En: Casas, A., Torres-Guevara, J., Parra-Rondinel, F (eds). *Domesticación en el continente de americano*. UNAM-UNALM. 237-308 pp.
- Corona-Romero, N., Coronado-Juárez, E., & Madrigal-Gómez, J. M. (2022). Estudio de diferentes variedades de agave para la creación de una librería espectral para su mapeo y monitoreo mediante percepción remota. *Investigaciones Geográficas*, 107, Artículo e60451. <https://dx.doi.org/10.14350/rig.60451>
- Crespo-González, M. R., González-Eguiarte, D. R., Rodríguez-Macías, R., Ruíz-Corral, J. A., & Durán-Puga, N. (2018). Caracterización química y física del bagazo de agave tequilero compostado con biosólidos de vinaza como componente de sustratos para cultivos en contenedor. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(3), 374-382. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.01>
- Cruz-García, H., Campos-Ángeles, G. V., Enríquez-del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., & Velasco-Velasco, V. A. (2019). Desarrollo de plantas micropropagadas de *Agave americana* var. *oaxacensis* durante su aclimatación en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1491-1503. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1625>
- Cruz-Vasconcelos, S. T., Ramírez-Herrera, C., Cruz-Huerta, N., Gómez-Guerrero, A., & Reyes-Hernández, V. J. (2024). Estimulación del desarrollo de hijuelos de rizoma de *Agave salmiana* mediante labores culturales y ácido indol-3-butírico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 47(1), 27-33. <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.1.27>
- Cuevas-Reyes, V., Sánchez-Toledano, B. I., Borja-Bravo, M., Espejel-García, A., Sosa-Montes, M., Barrera-Rodríguez, A. I., & Saavedra-García, M. J. (2019). Caracterización de

la producción de maguey en el Distrito de Miahuatlán, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 365-377. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1632>

Delgado-Lemus, A., Casas, A., & Téllez, O. (2014). Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10, Artículo 63. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-63>

Dévora-Rodríguez, D. G., Pulido-Díaz, C., Chávez-Simental, J. A., Ortiz-Sánchez, I. A., Loera-Gallegos, H. M., & Prieto-Ruiz, J. A. (2021). Reguladores del crecimiento vegetal en el desarrollo vegetativo de vitroplantas de *Agave duranguensis* Gentry. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1), Artículo e2720. <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2720>

Espinoza-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., & González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotecnología Vegetal*, 20(4), 257-282.

Gallardo-Ballat, Y., Brown-Marique, O., & Álvarez-Tamayo, M. (2018). Análisis de los impactos provocados por la sequía agrícola en cultivos de maíz y frijol en áreas agrícolas del municipio de Venezuela, Ciego de Ávila, Cuba. *Sociedade & Natureza*, 30(2), 96-115. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-5>

García-Mendoza, J. A. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, 87, 14-23.

García-Mendoza, J. A., & Meave, A. A. (2011). *Diversidad florística de Oaxaca: de musgos y angiospermas (colecciones y lista de especies)*. Primera edición. UNAM/CONABIO, México.

García-Mendoza, J. A., Franco-Martínez, I. S., & Sandoval-Gutiérrez, D. (2019). Cuatro especies nuevas de Agave (Asparagaceae, Agavoidae) del sur de México. *Acta Botánica Mexicana*, 126, Artículo e1461. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1461>

Garnica-García, R., Enríquez-del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Pérez-León, I., Trejo-Calzada, R., & Morales, I. (2020). Plant growth and rhizome shoots of *Agave angustifolia* in different substrates, with fertigation and benzylaminopurine. *Emirates Journal of Food*

and Agriculture, 32(10), 702-710. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i10.2141>

Hernández, J. R., Aramendiz, H., & Cardona, C. E. (2005). Influencia del ácido indolbutírico y ácido naftalenoacético sobre el enraizamiento de esquejes de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.). *Temas Agrarios*, 10(1), 5-13.
<https://doi.org/10.21897/rta.v10i1.626>

Huerta-Zavala, J., García-Mendoza, J. A., Hernández-Castro, E., Segura-Pacheco, H. R., Damián-Nava, A., & Godínez-Jaimes, F. (2025). Caracterización morfométrica de poblaciones del complejo *Agave angustifolia* (Asparagaceae: Agavoideae) en la región norte de Guerrero, México. *Polibotánica*, 59(30), 117-139.
<https://doi.org/10.18387/polibotanica.59.7>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 San Francisco Sola Oaxaca. 9 pp.

Jordán, M. & Casaretto, J. (2006). *Hormonas y reguladores del crecimiento. Auxinas, Giberelinas y Citocininas*. Fisiología Vegetal. Ediciones. Universidad de la Serena, Chile. 27 pp.

Juárez-López, P., Bugarín-Montoya, R., Castro-Brindis, R., Sánchez-Monteón, A. L., Cruz-Crespo, E., Juárez-Rosete, C. R., Alejo-Santiago, G., & Balois-Morales, R. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente*, 3(8), 21-27.

Landis, D., Tinus, W., McDonald, E., & Barnett P. (1990). *The Container Tree Nursery Manual*. Department of Agriculture-Forest Service, USA 2: 41–89.

López-Medina, E. S., Mostacero-León, J., López-Zavaleta, A., Gil-Rivero, A. E., & De la Cruz-Castillo, A. J. (2020). Efecto del ácido indolbutírico en la inducción de raíces de esquejes de tallo con yema de *Codiaeum variegatum* (Euphorbiaceae). *Manglar*, 17(2), 177-181. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.027>

Luna-Vicente, H., Cruz-Arvizu, O., & Castro-Garibay, S. L. (2025). Propuesta de medio de cultivo para el enraizamiento *in vitro* de *Agave angustifolia* Haw. (Asparagales: Asparagaceae). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 11(1), Artículo e0111003.

<https://doi.org/10.30973/aap/2025.11.0111003>

Maldonado-Peralta, Ma. A., García-Nava, R., García-de los Santos, G., Rojas-García, A. R., Cuevas-González, J., & Torres-Salado, N. (2016). Reguladores del crecimiento vegetal y sustratos en la propagación vegetativa de nanche (*Malpighia mexicana* A. Juss. y *Byrsonima crassifolia* (L.) H. B. K.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(3), Artículo e700. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452017700>

Martínez-Jiménez, R., Ruiz-Vega, J., Caballero-Caballero, M., Silva-Rivera, Ma. E., & Montes-Bernabé, J. L. (2019). Agaves silvestres y cultivados empleados en la elaboración de mezcal en Sola de Vega, Oaxaca, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 477-485.

Miguel-Luna, M. E., Enríquez-del Valle, J. R., Velasco-Velasco, V. A., Villegas-Aparicio, Y., Carrillo-Rodríguez, J. C., & Rodríguez-Ortiz, G. (2013). Composición del medio de cultivo y la incubación para enraizar brotes de Agave. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 1151-1159.

Núñez-Reyes, A. A., Escamirosa-Tinoco, C., & Rivera-García, R. (2021). Inventario de agaves silvestres empleados en la elaboración de mezcal en Villa Sola de Vega, Oaxaca. *Universidad & Ciencia*, 22, 241-252.

Pérez-de León, A. V., Caamal-Velázquez, J. H., Alamilla-Magaña, J. C., Criollo-Chan, M. A., Chanatasig-Vaca, C. I., & Garruña-Hernández, R. (2020). Alternativas innovadoras en la micropropagación de agaves mezcaleros. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 24(71), 41-48.

Ramos-Hernández, L., Arozarena-Daza, N. J., Leiscalle-Acosta, J., García-Cisneros, F., Tamayo-Aguilar, Y., Castañeda-Hidalgo, E., Lozano-Trejo, S., & Rodríguez-Ortiz, G. (2013). Dosis de pectimorf® para enraizamiento de esquejes de guayaba var. Enana Roja Cubana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 1093-115.

Ramos-Hernández, L., Arozarena-Daza, N. J., Leiscalle-Acosta, J., Castañeda-Hidalgo, E., Rodríguez-Ortiz, G., & Lozano-Trejo, S. (2014). Dosis de Fitomas®-E para el enraizamiento de esquejes de guayaba var. Enana Roja Cubana. *Ciencia ergo sum*, 21(2), 133-139.

Reyes-Pérez, J. J., Llerena-Ramos, L. T., Torres-Rodríguez, J. A., & Hernández-Montiel, L. G. (2023). Optimización de la dosis de oligogalacturónidos en la propagación vegetativa de clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo condiciones controladas en vivero. *Terra Latinoamericana*, 41, Artículo e1648. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1648>

Ríos-Ramírez, S. del C., Enríquez-del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Ruíz-Luna, J., & Velasco-Velasco, V. A. (2021). El crecimiento de *Agave angustifolia* Haw., con relación a la condición nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 865-873. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2638>

Sánchez, A., Coronel-Lara, Z., Gutiérrez, A., Vargas, G., Coronado, M. L., & Esqueda, M. (2020). Aclimatación y trasplante de vitroplantas de *Agave angustifolia* Haw., en condiciones silvestres. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7), 1593-1695. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2403>

Sánchez-Mendoza, S., & Bautista-Cruz, M. A. (2024). Respuesta de *Agave potatorum* Zucc a dos dosis de fertilizante de liberación lenta y reguladores del crecimiento. *Revista Bio Ciencias*, 11, Artículo e1661. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1661>

Santander-Coronel, J. E. (2018). Acodos aéreos en cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51, mediante el uso de las hormonas sintéticas ANA (Acido naftalenacético) y AIB (Acido indolbutírico). Tesis de grado. Facultad de Ciencias Pecuarias. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 73 pp.

Urrestarazu-Gavilán, M. (2015). Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. MundiPrensa.

Vargas-Santiago, G., Ortiz-Hernández, Y. D., & Alcántar-González, G. E. (2003). Propagación vegetativa de *Hylocereus andatus* y su relación con el AIB y sustrato. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 48(4), 111-116.

CC BY-NC-ND