

## Ambientes de selección para obtener plantas de maguey cenizo con crecimiento acelerado en plantaciones comerciales

### Selection environments to obtain maguey cenizo plants with accelerated growth in commercial plantations

Rigoberto Rosales-Serna<sup>1</sup>, Julio César Ríos-Saucedo<sup>1\*</sup>, Jesús Humberto Rodríguez-Vargas<sup>2</sup>, Cynthia Adriana Nava-Berumen<sup>2</sup>, Donaji Sierra-Zurita<sup>1</sup>, Saúl Santana-Espinoza<sup>1</sup> y Consuelo Romo-Alanís<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INIFAP – Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango – El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170.

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México – Campus Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. Carretera Durango – México km 22.5. Villa Montemorelos, Dgo., México. C. P. 34371

\*Autor para correspondencia: rios.julio@inifap.gob.mx

### RESUMEN

El maguey cenizo (*Agave durangensis*) es un cultivo que proporciona beneficios económicos y materia prima para la industria destiladora. El objetivo fue determinar ambientes de selección para obtener plantas de maguey cenizo con crecimiento acelerado en plantaciones comerciales de Durango. Se utilizaron plantaciones de maguey cenizo establecidas con riego en invernadero (I) y cielo abierto (CA). En Invernadero se observó igualdad estadística entre naves para las variables morfológicas. La AP fue mayor en la Nave 4 (24.0 cm) situada al sur del invernadero. El DR fluctuó de 22.6 cm a 25.2 cm y el NH entre 11 y 13. En CA, se observó igualdad estadística entre densidades de plantación para AP y DR. La AP varió entre 10.3 cm y 12.3 cm, el DR se redujo en la densidad alta 7 hileras/cama (12.1 cm) y el NH fluctuó entre 7 y 8 debido a la competencia entre plantas. Las plantas en invernadero incrementaron 51% la AP y DR, en comparación con las cultivadas en CA. El contenido de azúcares mostró igualdad estadística a cielo abierto (CA) y los valores en tejido crudo variaron entre 8.2 °Bx y 8.9 °Bx; mientras que en muestras cocidas fluctuaron entre 7.8 °Bx y 9.6 °Bx. En invernadero se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0.01$ ) para °Bx entre naves para maguey crudo y cocido. Los valores de °Bx más altos en tejido crudo se registraron hacia el norte (8.0 a 8.3 °Bx), mientras que en tejido cocido los valores altos se detectaron al centro del invernadero (8.1 °Bx). Las plantas seleccionadas por crecimiento acelerado (I) mantuvieron niveles altos de AP (13.1 cm), DR (15.4 cm) y NH (4 a 5) luego de 6 meses de trasplante en campo. La AP y DR son criterios de selección útiles para obtener plantas de maguey cenizo con crecimiento acelerado.

**Palabras clave:** *Agave durangensis*, domesticación, productividad, sostenibilidad.

### ABSTRACT

Maguey cenizo (*Agave durangensis*) is an alternative crop providing economic benefits and raw materials for the distillery industry. The objective was to determine selection environments to obtain fast-growing maguey plants under commercial plantations in Durango, México. Maguey cenizo commercial plantations established under drip irrigation in greenhouse (G) and open field (OF) were used. No significant differences were observed between the Greenhouse (G) sections for the morphological variables evaluated in maguey cenizo plants. The PH was higher in section 4 (24.0 cm) located to the south. The RD fluctuated from 22.6 cm to 25.2 cm and the LN between 11 to 13. In OF, no significant differences were observed between planting densities for PH and RD. The PH ranged between 10.3 cm and 12.3 cm, the RD was reduced in the high density 7 rows/bed (12.1 cm) and the LN fluctuated between 7 and 8 due to competence between plants. The plants in greenhouse increased the PH and RD by 51%, compared to those cultivated in OF. No significant differences were observed for the sugar content in the open field (OF) condition and the values in raw tissue samples varied between 8.2 °Bx and 8.9 °Bx; while in cooked samples fluctuation between 7.8 °Bx and 9.6 °Bx was observed. In the Greenhouse, significant differences

( $p \leq 0.05$  and  $p \leq 0.01$ ) between sections were observed for °Bx in raw and cooked maguey tissues. The highest °Bx values in raw tissue were recorded in the north side (8.0 to 8.3 °Bx), while in cooked tissue the highest values were detected in the greenhouse central section (8.1 °Bx). The fast-growing plants selected under the greenhouse (G) condition maintained high levels of PH (13.1 cm), RD (15.4 cm) and LN (4 to 5), after of 6 months transplantation in OF. The PH and RD are useful criteria to select fast-growing maguey plants.

**Keywords:** *Agave durangensis*, domestication, productivity, sustainability.

## INTRODUCCIÓN

El maguey cenizo (*Agave durangensis* L.) es una especie de importancia económica alta en Durango, debido a que es la materia prima fundamental para la elaboración de destilados (mezcal) con aceptación creciente en los mercados nacionales y de exportación (Ríos et al., 2018). En la actualidad, la materia prima, es decir los tallos (cabezas o piñas) de maguey, son obtenidos principalmente en poblaciones silvestres de esta especie endémica del sur de Durango. La demanda alta de tallos de maguey cenizo y las dificultades para obtener materia prima de poblaciones naturales que crecen en áreas cercanas a los centros de procesamiento (vinatas), incrementaron el interés para la producción de esta especie en plantaciones comerciales establecidas en terrenos agrícolas, marginales y en desuso. Con base en lo anterior, se requieren métodos eficientes para la producción de planta de maguey con niveles altos de calidad, supervivencia y crecimiento acelerado en condiciones de campo (Rosales et al., 2013; Rosales et al., 2020, Ríos et al., 2021). La selección de individuos sobresalientes (plantas madre) por su crecimiento rápido, acelerará la obtención de planta de calidad en vivero, evitará la necesidad de replantación en plantaciones comerciales y disminuirá el turno para el aprovechamiento (jima) de las plantas de maguey cenizo cultivadas en Durango.

Se ha generado tecnología para la producción de planta de maguey cenizo en condiciones de invernadero, vivero, malla-sombra y cama con acolchado (Rosales et al., 2013; Rosales et al., 2020, Ríos et al., 2021). Además, se puede considerar el riego por cintilla y cultivo en invernadero, lo cual puede contribuir al crecimiento acelerado (Ríos et al., 2021). En estudios anteriores con maguey cenizo, se demostró la importancia que tiene la altura de planta, diámetro de roseta y número de hojas en la evaluación de la

respuesta a diferentes tratamientos de fertilización (Rosales et al., 2013; Rosales et al., 2020). El uso de criterios de selección en diferentes sistemas productivos puede ser efectivo en la obtención de plantas madre sobresalientes para las variables de importancia económica en maguey cenizo. Además, la generación de tecnología incrementará la eficiencia productiva de esta especie en Durango, lo que a su vez reducirá la presión ejercida sobre las poblaciones naturales de maguey, favorecerá su restablecimiento y al mismo tiempo se proporcionará a la industria destiladora materias primas suficientes y de costo bajo.

Entre los factores más importantes para el crecimiento del maguey cenizo, en invernadero, vivero y campo, se pueden mencionar la disponibilidad de agua, temperatura, densidad de población y nivel de nutrientes del suelo. En Durango, existe nivel bajo de agua disponible, por lo que se recomienda utilizar especies tolerantes al estrés hídrico, como el maguey; así como, el uso de sistemas eficientes de riego, que incluyen el riego presurizado por cintilla y acolchado para evitar la evaporación directa del suelo. La temperatura alta (15 a 31 °C) influye favorablemente sobre el crecimiento del maguey (Rosales et al., 2020), por lo que se observan efectos negativos durante la época invernal, causados por la temperatura baja (< 10 °C); mientras que durante los meses de estiaje se relacionan con la temperatura alta (> 31 °C).

La densidad alta de población incrementa la competencia entre plántulas de maguey cultivadas en diferentes sistemas de producción. Dicha competencia retrasa el crecimiento de la planta, por lo que se amplía el periodo entre la siembra y el momento óptimo para el trasplante definitivo en campo. Con base en lo anterior, se ha recomendado el estudio del efecto de la densidad de población en condiciones de campo, combinada con el sistema a raíz desnuda, acolchado y riego

con cintilla, para establecer el efecto que tiene esta práctica sobre el crecimiento del maguey. La competencia entre plántulas de maguey se establece principalmente por agua, luz y nutrientes. Por ello, se recomienda la selección de individuos sobresalientes en densidades altas, con lo que se espera obtener plantas madre de crecimiento acelerado en plantaciones comerciales de maguey cenizo. Además, se debe avanzar en la identificación de tamaños de envase, distancia entre hileras y plantas, dosis y fuentes de nutrientes para optimizar la eficiencia productiva en condiciones de vivero, invernadero y campo (Sandoval, 2019; Rosales et al., 2020). El objetivo fue evaluar ambientes productivos que permitan la selección eficiente de plantas sobresalientes por su crecimiento acelerado en vivero y plantaciones comerciales de maguey cenizo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del Sitio

El presente proyecto se desarrolló en el Campo Experimental Valle del Guadiana (INIFAP), situado en las coordenadas 23° 59' 21" N, 104° 37' 33" O y una altitud de 1 877 m. El suelo predominante del sitio es de tipo franco-arcilloso, el cual tiene capacidad intermedia para la retención de humedad, profundidad media, pendiente de 0 a 4%, pH de 7.9 y es pobre en contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno. El clima predominante es templado semiárido [BS1 kw (w) (e)], con régimen de lluvias en verano, variación fuerte de temperatura y la media anual para esta variable es de 17.4 °C (García, 1987). La lluvia acumulada durante el año alcanza un promedio de 476 mm, con valores altos entre junio y septiembre (Medina et al., 2005).

### Producción de Planta

Se utilizaron plántulas de maguey cenizo obtenidas a partir de semillas colectadas en poblaciones naturales del sur de Durango. Las semillas se germinaron en almácigo y cuando alcanzaron una altura entre 1.6 a 2.4 cm fueron extraídas del suelo para su trasplante en invernadero (I) y cielo abierto (CA). En invernadero la planta se mantuvo cubierta con una película de polietileno de 180 micras de espesor (Calibre 720), mantenido con estructuras metálicas que formaron cinco naves en total. En cielo abierto (CA), el maguey cenizo se plantó en terreno agrícola en desuso.

### Plantación

En los lotes de cielo abierto e invernadero, la plantación se realizó en noviembre de 2018 y se aplicó fertilizante con la dosis 35-50-00 (N2, P2O5 y K2O), incorporado al suelo, 30 días después de la plantación (DDP) y luego de asegurar la supervivencia de la mayoría de las plantas (>95 %). Además, se aplicaron algunas de las recomendaciones del INIFAP para el cultivo de maguey cenizo en condiciones de raíz desnuda (Rosales et al., 2018). Se utilizaron camas de 1.20 m de ancho y longitud variable, entre 20 m (Invernadero) y 74 m (Cielo Abierto). Las hileras se establecieron a 18 cm y su número fue variable, con fluctuaciones entre 4 (invernadero) y de 5 a 7 hileras por cama en la plantación a cielo abierto. En todos los casos se utilizaron 21 cm de separación entre plantas y se aplicó riego por cintilla (2 cintillas por cama), para evitar el estrés severo de humedad en las plantas de maguey cenizo.

### Diseño experimental

En invernadero se utilizó un diseño en bloques completos al azar, para evaluar el efecto ambiental de cada una de las cuatro naves usadas en el estudio. La parcela experimental consistió en una cama con cuatro hileras de plantas de maguey cenizo y 20 m de longitud. Como parcela útil se usaron las dos hileras de plantas centrales de cada cama, con un metro de longitud, dos observaciones por cama y cuatro repeticiones por nave, establecidas en las dos camas centrales por sección. En cielo abierto (CA) se utilizó un diseño en bloques completos al azar, para evaluar el efecto de tres densidades de plantación (5, 6 y 7 hileras por cama) y 10 repeticiones para cada densidad. La parcela experimental consistió en una cama con 5 a 7 hileras de plantas y 74 m de longitud. Como parcela útil se usaron las dos hileras de plantas centrales de cinco camas, con un metro de longitud y dos observaciones por cama.

### Variables evaluadas

Las variables morfológicas fueron evaluadas entre el 15 de mayo y 11 de junio de 2021. Se utilizaron 14 plantas por cada repetición, se determinó altura de planta (AP), diámetro de roseta (DR) y número de hojas (NH). La altura de la planta se midió desde la superficie del suelo y hasta el punto más alto del dosel de la planta, mediante el uso de una regla métrica con precisión de 1 mm. El diámetro de la roseta se determinó con la regla métrica en

dos direcciones (este-oeste y norte-sur), para luego establecer el valor promedio. Además, se contabilizó el número de hojas (pencas) desplegadas, que mostraran espina apical y espinas laterales.

El contenido de sólidos solubles totales (SST) se cuantificó en tejido crudo en el tallo (piña) del maguey cenizo, mediante el uso del refractómetro de escala 0-32 (Alla France® 950.032B-ATC). Las mediciones se realizaron en una muestra de cuatro plantas por cada repetición, tejido interno de maguey cenizo se utilizó para la extracción del jugo (savia), colocándose dos gotas en el refractómetro, la lectura se obtuvo en °Bx en la escala de índice de refracción.

Por otro lado, muestras de campo se almacenaron en frascos de vidrio de 30 mL con tapa "twist off", colocados en cajas de cartón que se introdujeron al refrigerador antes de su procesamiento en autoclave. La cocción de las muestras de tejido de maguey se realizó por en autoclave (8h, 113°C, 0.05 MPa) (IPN, 2006). Después de la cocción se dejaron enfriar las muestras y se refrigeraron, para su posterior lectura. La muestra se recolectó del líquido liberado por el tejido en el fondo del frasco, tomado con un hisopo de algodón y colocado en el refractómetro.

### Selección de plantas

Seleccionaron plantas con valores altos y bajos en altura, tanto en invernadero como en el lote a cielo abierto. Las plantas fueron seleccionadas en las hileras con competencia completa, para determinar la influencia de esta condición sobre su respuesta morfo-fisiológica cuando fueron establecidas en plantaciones comerciales de maguey cenizo. Las plantas fueron extraídas cuidadosamente con herramientas manuales y luego de tres días de reposo a temperatura ambiente, fueron trasplantadas en el modelo tresbolillo, camas de 1.20 de ancho, 30 cm entre hileras de cada cama y una distancia entre plantas de 2.1 m. La parcela útil consistió en una cama de 6.3 m de longitud, 7 plantas y dos repeticiones para cada grupo de plantas. El trasplante se realizó el 15 de junio de 2021 y a partir del día 21 de junio se realizaron siete evaluaciones mensuales de altura de planta, diámetro de roseta y número de hojas. Los grupos de plantas incluyeron: a) plantas altas provenientes de invernadero, b) plantas bajas provenientes de invernadero, c) plantas altas seleccionadas a cielo abierto y d) plantas bajas de cielo abierto.

### Análisis estadístico

Los datos obtenidos para cada una de las variables evaluadas en campo se utilizaron en el análisis estadístico (ANDEVA), bajo un diseño en bloques completos al azar, con tres densidades de población y 10 repeticiones en cielo abierto. En invernadero se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones por nave. La comparación de medias se realizó con base en la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). El análisis de varianza y la comparación de medias se realizaron con el programa de cómputo SAS Ver. 9.4. En el caso de las plantas seleccionadas, se utilizó estadística descriptiva para evaluar la respuesta morfo-fisiológica de cada grupo de plantas en condiciones de plantación comercial.

Los datos obtenidos de SST se sometieron a un análisis de varianza bajo un diseño en bloques completos al azar, con tres densidades de población y diez repeticiones en el lote a cielo abierto. En invernadero se utilizó un diseño en bloques al azar, con cuatro secciones (ambientes) y seis repeticiones. La comparación de medias se realizó con base en la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). El análisis de varianza y la comparación de medias se realizaron con el paquete estadístico SAS Ver. 9.4.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Plantación a cielo abierto

No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre densidades de plantación, para las variables morfológicas evaluadas en plantas de maguey cenizo cultivadas a cielo abierto (Cuadros 1 y 2). La altura de planta fue mayor en 6 (12.3 cm) y 7 (12.1 cm) hileras por cama; en comparación con la densidad más baja, donde se observó la altura media inferior (10.3 cm). Esta respuesta se relacionó con el nivel bajo de competencia establecido entre plántulas de maguey, durante los 18 a 20 meses de crecimiento en campo.

El número de hojas mostró el valor más alto (8) en 6 hileras/cama; mientras que en las otras dos densidades los valores fueron de 7 hojas por planta. Aunque la diferencia no fue significativa, la tendencia muestra que en camas con menor

densidad de plantas mostraron plantas con un número menor de hojas y diámetro de roseta mayor, debido principalmente al menor nivel de competencia entre plantas.

**Cuadro 1.** Análisis de varianza para variables morfológicas de plantas de maguey cenizo cultivadas con diferentes densidades de plantación en condiciones de cielo abierto.

| Fuente de Variación    | Grados de Libertad | Altura de Planta (cm) | Ancho de Roseta (cm) | Número de Hojas |
|------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| Densidades             | 2                  | 12.5 N. S.            | 0.5 N. S.            | 3.1 N. S.       |
| Repetición             | 9                  | 2.4                   | 1.1                  | 2.3             |
| Error                  | 18                 | 4.3                   | 2.1                  | 1.1             |
| Promedio               |                    | 11.6                  | 12.3                 | 8               |
| <sup>1</sup> C. V. (%) |                    | 17.9                  | 11.8                 | 13.6            |

N. S. = no significativo, <sup>1</sup>C. V. = coeficiente de variación.

**Cuadro 2.** Variables morfológicas de plantas de maguey cenizo cultivadas con diferentes densidades de plantación en condiciones de cielo abierto.

| Densidades             | Altura de Planta (cm) | Ancho de Roseta (cm) | Número de Hojas |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| 5 hileras/cama         | 10.3 ± 0.38           | 12.4 ± 0.26          | 7 ± 0.50        |
| 6 hileras/cama         | 12.3 ± 2.88           | 12.5 ± 2.40          | 8 ± 1.84        |
| 7 hileras/cama         | 12.1 ± 0.66           | 12.1 ± 0.58          | 7 ± 0.44        |
| Promedio               | 11.6                  | 12.3                 | 8               |
| <sup>1</sup> C. V. (%) | 17.9                  | 11.8                 | 13.6            |

<sup>1</sup>C. V. = coeficiente de variación.

### Plantación en invernadero

No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre naves (secciones) del invernadero, para las variables morfológicas evaluadas en plantas de maguey cenizo (Cuadros 3 y 4). La altura de la panta fue mayor en la Nave 4 (24.0 cm), situada hacia al lado sur del invernadero. Aunque, dicho valor fue estadísticamente igual al resto de las naves del invernadero (20.9 a 22.2 cm). La tendencia de crecimiento observada, se relacionó con las variaciones en la incidencia de luz solar y temperatura por efecto de su ubicación de las naves en el invernadero. El diámetro de roseta fluctuó entre 22.6 cm (Nave 2) hasta 25.2 cm (Nave 1) y el número de hojas varió entre 11 (Nave 1), hasta 13 (Naves 3 y 4). Aunque, se observaron diferencias numéricas en la respuesta del maguey cenizo, a través de naves de un mismo invernadero, las variaciones no mostraron significancia estadística. El sistema de producción

en invernadero mostró estabilidad en la obtención de plantas de maguey cenizo con la calidad requerida para su establecimiento exitoso en plantaciones comerciales.

El uso de invernadero para el establecimiento de viveros de maguey cenizo reducirá el tiempo y costos de producción de planta de calidad para su utilización de plantaciones comerciales de la especie. Además, resultó un ambiente favorable para la selección de plantas de maguey cenizo con crecimiento rápido en condiciones de campo.

**Cuadro 3.** Análisis de varianza para variables morfológicas de plantas de maguey cenizo cultivadas en condiciones de invernadero.

| Fuente de Variación    | Grados de Libertad | Altura de Planta (cm) | Ancho de Roseta (cm) | Número de Hojas |
|------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| Nave                   | 3                  | 6.5 N. S.             | 6.7 N. S.            | 3.7 N. S.       |
| Repetición             | 3                  | 8.7                   | 5.0                  | 1.2             |
| Error                  | 9                  | 12.2                  | 4.3                  | 1.2             |
| Promedio               |                    | 22.2                  | 24.1                 | 12.4            |
| <sup>1</sup> C. V. (%) |                    | 15.7                  | 8.6                  | 8.8             |

N. S. = no significativo, <sup>1</sup>C. V. = coeficiente de variación.

**Cuadro 4.** Variables morfológicas de plantas de maguey cenizo cultivadas en condiciones de invernadero.

| Ambiente               | Altura de Planta (cm) | Diámetro de Roseta (cm) | Número de Hojas |
|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| Nave 1                 | 21.9 ± 5.16           | 25.1 ± 5.43             | 11 ± 2.07       |
| Nave 2                 | 20.9 ± 4.85           | 22.6 ± 4.33             | 12 ± 2.37       |
| Nave 3                 | 22.2 ± 5.04           | 23.4 ± 3.53             | 13 ± 1.77       |
| Nave 4                 | 24.0 ± 5.32           | 25.1 ± 3.44             | 13 ± 2.20       |
| Promedio               | 22.2                  | 24.1                    | 12              |
| <sup>1</sup> C. V. (%) | 15.7                  | 8.6                     | 8.8             |

<sup>1</sup>C. V. = coeficiente de variación.

### Lote a cielo abierto

No se registraron diferencias estadísticas entre densidades de población de maguey cenizo cultivado en condiciones de campo (Cuadros 5 y 6). Los valores en tejido crudo mostraron variación desde 8.2 °Bx en seis hileras por cama; mientras que, el nivel más alto se observó en 7 hileras/cama (8.9 °Bx). En tejidos cocidos los valores fluctuaron entre 7.8 °Bx (6 hileras/cama) y 9.6 °Bx (7 hileras/cama). Los niveles de azúcares obtenidos fueron similares o bajos en comparación con los reportados en otros estudios, en los que se obtuvieron valores entre 6.4-15.1 °Bx en maguey sacatoro, 18.9 °Bx en maguey espadín y 17.7 °Bx

en maguey papalote (Barrientos, 2020). Los resultados se relacionaron con la etapa de desarrollo de las plantas (edad menor a tres años) y el sistema de producción en riego por cintilla. Lo anterior, debido a que se ha demostrado que las piñas de *Agave tequilana* Weber tienen un contenido mayor de azúcares en la época seca del año, debido a la proporción menor de agua en el jugo (Bautista, 2001; Barrientos, 2020). La cocción, realizada en el presente estudio, influyó de manera limitada sobre el contenido de azúcares en el tejido de maguey cenizo cultivado en condiciones de cielo abierto, por lo que se recomienda la determinación de esta variable en piñas crudas y con ello, evitar el uso de equipo, insumos y tiempo de proceso, lo cual genera costos adicionales.

La densidad de plantación mostró también, influencia reducida sobre el contenido de azúcares, acumulados hasta el momento de la evaluación, que se realizó entre 30 y 31 meses después del trasplante. Lo anterior, se relacionó con los niveles bajos de competencia registrado entre plantas de maguey cenizo, hasta el momento de la cosecha, lo que facilitó la selección de individuos sobresalientes con base en variables morfológicas (altura de planta, diámetro de roseta y número de hojas), que se miden de forma relativamente fácil y sin necesidad de equipo costoso.

**Cuadro 5.** Análisis de varianza para el contenido de azúcares en plantas de maguey cenizo cultivadas en diferentes densidades de plantación a cielo abierto y dos condiciones de cocción.

| Fuente de Variación    | Grados de Libertad | SST Crudo (°Bx) | SST Cocido (°Bx) |
|------------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| Densidades             | 2                  | 1.2 N. S.       | 7.7 N. S.        |
| Repetición             | 9                  | 3.7             | 1.6              |
| Error                  | 18                 | 2.5             | 3.7              |
| Promedio               |                    | 8.6             | 8.8              |
| <sup>1</sup> C. V. (%) |                    | 18.3            | 21.9             |

N. S. = no significativo, <sup>1</sup>C. V. = coeficiente de variación.

**Cuadro 6.** Contenido de azúcares promedio en plantas de maguey cenizo cultivadas en diferentes densidades de plantación a cielo abierto y dos condiciones de cocción.

| Ambiente | SST Crudo (°Bx) | SST Cocido (°Bx) |
|----------|-----------------|------------------|
|----------|-----------------|------------------|

|                        |           |           |
|------------------------|-----------|-----------|
| 5 hileras/cama         | 8.5 ± 2.2 | 8.9 ± 2.5 |
| 6 hileras/cama         | 8.2 ± 0.8 | 7.8 ± 0.5 |
| 7 hileras/cama         | 8.9 ± 1.5 | 9.5 ± 1.2 |
| Promedio               | 8.6       | 8.8       |
| <sup>1</sup> C. V. (%) | 18.3      | 21.9      |

<sup>1</sup>C. V. = coeficiente de variación.

### Azúcares en maguey cultivado en invernadero

Se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre naves, para el contenido de azúcares (°Bx) en tejido crudo de maguey cenizo (Cuadros 7 y 8). Mientras que en el caso de tejido cocido las diferencias entre naves resultaron altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ). Los valores más altos para el contenido de azúcares, en tejidos crudos de maguey cenizo, fueron registrados en las Naves 1 a 3 (dirección norte), con valores entre 8.0 a 8.3 °Bx, mientras que en la Nave 4 (dirección sur) mostró un nivel significativamente inferior (6.6 °Bx). En los tejidos cocidos se observaron valores altos en las Naves 2 (8.1 °Bx) y 3 (7.4 °Bx), situadas en la parte central del invernadero. La orientación de las naves del invernadero mostró influencia sobre la acumulación de azúcares en las plantas de maguey cenizo cultivadas bajo esa condición.

**Cuadro 7.** Análisis de varianza para el contenido de azúcares en plantas de maguey cenizo cultivadas en invernadero con dos condiciones de cocción.

| Fuente de Variación    | Grados de Libertad | SST Crudo (°Bx) | SST Cocido (°Bx) |
|------------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| Nave                   | 3                  | 2.2*            | 2.1**            |
| Repetición             | 3                  | 0.5             | 0.5              |
| Error                  | 9                  | 0.4             | 0.3              |
| Promedio               |                    | 7.8             | 7.2              |
| <sup>1</sup> C. V. (%) |                    | 8.4             | 7.3              |

\*significativo ( $p \leq 0.05$ ) y altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ).

<sup>1</sup>C. V. = coeficiente de variación.

**Cuadro 8.** Contenido de azúcares promedio en plantas de maguey cenizo cultivadas en invernadero con dos condiciones de cocción.

| Ambiente               | SST Crudo (°Bx) | SST Cocido (°Bx) |
|------------------------|-----------------|------------------|
| Nave 1                 | 8.0 ± 0.53ab    | 6.8 ± 0.20b      |
| Nave 2                 | 8.3 ± 0.90a     | 8.1 ± 0.74a      |
| Nave 3                 | 8.1 ± 0.28a     | 7.4 ± 0.44ab     |
| Nave 4                 | 6.6 ± 0.41b     | 6.4 ± 0.39b      |
| Promedio               | 7.8             | 7.2              |
| <sup>1</sup> C. V. (%) | 8.4             | 7.3              |

<sup>1</sup>C. V. = coeficiente de variación.

### Respuesta de plantas seleccionadas

Las plantas seleccionadas por la superioridad en la altura del dosel y robustez en invernadero, mantuvieron niveles altos de crecimiento, medido

éste con base en altura de la planta, diámetro de roseta y número de hojas, cuando fueron trasplantadas en campo. En el caso de la altura, las plantas pasaron de 37.3 cm hasta 50.1 cm en un periodo de 6 meses (Figura 1); es decir, incrementaron 13.1 cm la altura del dosel. Las plantas de crecimiento bajo seleccionadas en invernadero (17.1 cm a 28.1 cm) y de crecimiento alto en cielo abierto (21.1 cm a 32.2 cm) mostraron niveles de incremento en altura iguales (11.1 cm). Las plantas de crecimiento bajo, seleccionadas en cielo abierto, mostraron crecimiento menor (5.9 cm). También, el diámetro de roseta fue superior en las plantas seleccionadas por sus niveles superiores para la altura de planta en el invernadero. Dichas plantas pasaron de un diámetro de roseta de 38.9 cm hasta 54.3 cm en un periodo de 6 meses (Figura 2); es decir, incrementaron 15.4 cm el diámetro de roseta. Las plantas de crecimiento bajo seleccionadas en invernadero (23.2 cm a 35.4 cm) mostraron un incremento del diámetro de roseta de 12.2 cm y fueron superadas por las de crecimiento alto obtenidas en condiciones de cielo abierto (22.4 a 39.0 cm) con 16.6 cm. En el caso de las plantas de crecimiento bajo, seleccionadas en la condición de cielo abierto, mostraron crecimiento del diámetro de roseta menor (5.8 cm).

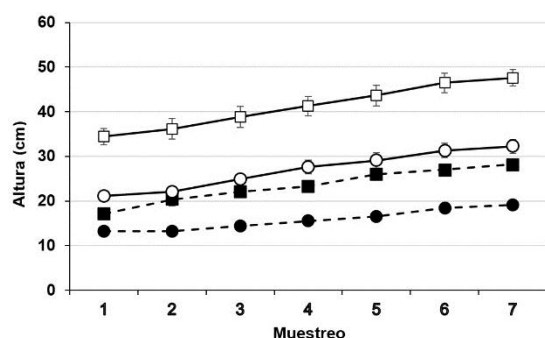


**Figura 1.** Altura de planta (cm) evaluada en plantas de maguey cenizo seleccionadas en diferentes ambientes de producción en Durango.

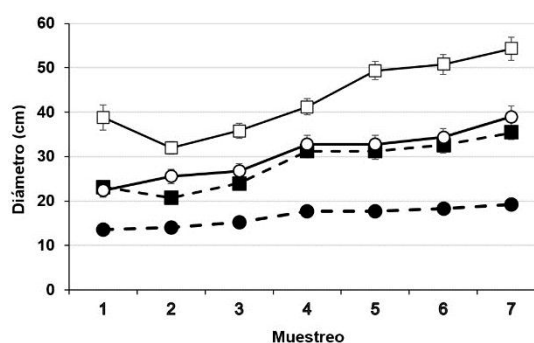


**Figura 2.** Diámetro de roseta (cm) evaluada en plantas de maguey cenizo seleccionadas en diferentes ambientes de producción en Durango.

Las plantas seleccionadas por niveles altos (13 a 17) y bajos (9 a 13) en altura de planta en el invernadero mantuvieron también niveles altos para el despliegue de hojas cuando fueron trasplantadas en campo (4 a 5) (Figura 3). En el caso de las plantas de crecimiento alto (11 a 15 hojas) y bajo (6 a 9), que fueron seleccionadas en la condición de cielo abierto, mostraron valores inferiores para esta variable ( $< 4$ ). Los resultados mostraron que la selección individual en condiciones de invernadero y densidad alta de población favorecieron el crecimiento de las plantas de maguey cenizo en plantaciones comerciales de esta especie, establecidas en condiciones de campo. Las plantas obtenidas en esta fase serán evaluadas posteriormente con base en su crecimiento y las que muestren superioridad, propia y en su descendencia, podrán usarse como plantas madre para generar clones de maguey cenizo con crecimiento rápido. La altura de planta y el diámetro de la roseta son caracteres morfológicos que pueden ser utilizados como criterios de selección para obtener plantas de maguey cenizo con crecimiento rápido en plantaciones comerciales.

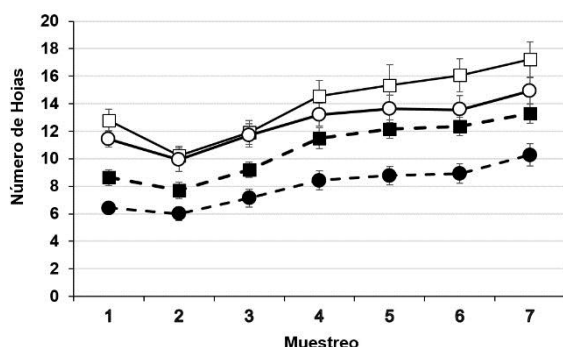


**Figura 3.** Número de hojas en plantas de maguey cenizo seleccionadas en diferentes ambientes de producción en Durango.

Las tendencias observadas en las densidades altas se relacionaron con la necesidad de las plantas para alcanzar niveles altos de radiación solar, espacio y nutrientes (Schoellhorn y Richardson, 2004; Escalante et al., 2016), lo que promovió el incremento en la altura de las plantas. Por ello, se comenzó a observar reducción del diámetro de roseta en la densidad más alta (12.1 cm), mientras que en las densidades menores se observó amplitud ligeramente mayor para esta variable.

En otras especies, como *Jatropha*, se demostró que múltiples variables morfológicas y fisiológicas fueron influenciadas de forma significativa por la densidad de plantación (de Lima et al., 2016). Además, la variación fuerte entre plantas y repeticiones influyó sobre la obtención de diferencias significativas para las variables evaluadas en el presente estudio. Dicha variación se debió a la heterogeneidad natural presente en plantas derivadas de semilla colectada en poblaciones.

Al comparar los sistemas de producción, se observó que las plantas cultivadas en invernadero incrementaron 51% la altura de planta y diámetro de roseta, en relación con el sistema a cielo abierto. Con base en los resultados, se estableció que el sistema de invernadero fue más eficiente en la obtención de planta de maguey cenizo de calidad para su establecimiento definitivo en campo. La temperatura media durante el verano fue similar por la mañana (8:00 h) entre el invernadero (18.8 °C) y el lote a cielo abierto (18.6 °C). Al medio día (12:00 h) las diferencias fueron más marcadas (28.8 °C Vs. 24.6 °C), lo mismo que a las 16 h, cuando se observó un promedio de 30 °C y 27 °C. La diferencia de temperatura

observadas entre ambientes de selección influyó considerablemente sobre el crecimiento de plantas de maguey cenizo en vivero.

La parte central del invernadero y orientación hacia el norte favorecieron la acumulación de azúcares, mientras que hacia el sur (Nave 4) se registró el nivel más bajo de glúcidos en los tejidos crudos y cocidos del tallo de esta especie. La orientación del invernadero (este-oeste) del invernadero redujo la radiación solar, en ciertas horas del día, en la nave situada al sur, lo que influyó en acumulación menor de azúcares y crecimiento en altura, por alargamiento de los entrenudos (Fischer y Pérez, 2012).

## CONCLUSIONES

El invernadero fue más eficiente en la obtención de planta de maguey cenizo con calidad alta para su establecimiento definitivo en campo.

El invernadero fue más eficiente en la obtención de planta de maguey cenizo con calidad alta para su establecimiento definitivo en campo.

Las densidades altas de población influyeron de forma poco significativa sobre el crecimiento de plantas jóvenes de maguey cenizo en los primeros 20-30 meses de plantación.

El uso de cubiertas de polietileno (invernadero) y la temperatura alta favorecieron 51% el crecimiento del maguey cenizo en sistemas intensivos de producción de planta.

La selección individual de plantas sobresalientes en edades tempranas (3 años) puede realizarse con base en criterios morfológicos, como son: altura de planta y diámetro de roseta.

Se recomienda la evaluación de azúcares (<sup>9</sup>Bx) en maguey cenizo en tallo crudo, lo cual evita el uso de tiempo y equipo adicional para la cocción.

Las plantas seleccionadas en invernadero y cielo abierto mantuvieron niveles altos de crecimiento en plantaciones comerciales establecidas en campo, por lo que pueden usarse como plantas madre para generar clones de maguey cenizo con crecimiento rápido.

## LITERATURA CITADA

- Barrientos R., G. (2020). Programa de manejo para la conservación de los Agaves angustifolia y cupreata en el estado de Guerrero. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Guerrero. Acapulco, Gro., México. 151 p.
- Bautista J., M., L. García O., R. Salcedo H., y L. A. Parra N. (2001). Azúcares en agaves (*Agave tequilana* Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria* 11(001): 33-38.
- de Lima R., L. S., A. R. F. Campos, C. A, V. De Azevedo, J. A. W. Calado, S. de S. Silva, and R. do Nascimento. (2016). Effects of planting density on vegetative growth production components of jatropha (*Physic nut* L.). *Australian Journal of Crop Science* 10(5): 632-636. DOI: 10.21475/ajcs.2016.10.05.p7148
- Escalante, A., D. R. López S., J. E. Velázquez G., M. Giles G., F. Bolívar and A. López M. (2016). Pulque, a traditional mexican alcoholic fermented beverage: Historical microbiological, and technical aspects. *Frontiers in Microbiology* 7:1026. doi: 10.3389/fmicb.2016.01026
- Fischer, G. y C. P. Pérez. (2012). Efecto de la radiación solar en la calidad de productos hortícolas. In: *Memorias congreso Internacional de Hortalizas en el Tropic: La olericultura Colombiana, Nuevos Retos para Enfrentar los Tratados de Libre Comercio*. Bogotá, Colombia. pp. 1-14.
- García M., E. (1987). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Enriqueta García de Miranda. México, D. F. 217 p.
- IPN (Instituto Politécnico Nacional). (2006). Evaluación del contenido de azúcares en piñas de agave mezcalero producido en la región SE del estado de Durango. Informe Técnico Final. (Proyecto SIP No. 20060256). México. 14 p. Consultado en línea 25/07/2021. [http://www.sappi.ipn.mx/cgpi/archivos\\_ano/20060256\\_2900.pdf](http://www.sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_ano/20060256_2900.pdf)
- Medina G., G., G. Díaz P., J. López H., J. A. Ruiz C., y M. Marín S. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. México. 224 p.
- Ríos S., J. C., C. M. Reyes R., R. Rosales S., P. A. Domínguez M., y R. Jiménez O. (2018). Actualización preliminar de inventarios para áreas productoras de maguey cenizo en diferentes municipios de Durango. *Ciencia e Innovación* 1(2): 323-348.
- Ríos S., J. C., R. Rosales S., J. H. Rodríguez V., C. Romo A., y D. Sierra Z. (2021). Crecimiento de maguey cenizo en condiciones de vivero establecido en dos sistemas de producción. *Memoria de la XXXIII Semana Internacional de Agronomía. FAZ-UJED*. 08-10 Septiembre de 2021. Gómez Palacio, Dgo., México. pp. 357-363.
- Rosales M., S., J. A. Sigala R. y V. García B. (2013). Producción y trasplante de planta de agave en vivero. Folleto Técnico Núm. 70. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. Méx. 43 p.
- Rosales M., S., J. C. Ríos S., J. L. García R., M. Martínez F., G. Quiñonez B., y R. Rosales S. (2018). Establecimiento de plantaciones de maguey cenizo. Folleto Técnico Núm. 109. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Méx. 28 p.
- Rosales S., R., J. C. Ríos S., S. Rosales M., S. Santana E., y P. A. Domínguez M. (2020). Fertilización química y crecimiento de maguey cenizo y sotol en plantaciones comerciales establecidas en Durango. *Ciencia e Innovación* 3(1): 43-52.
- Sandoval R., G. (2019). Producción de plántulas de maguey sacatoro (*Agave angustifolia* HAW.) y determinación de nitrógeno y fósforo total, con diferentes sustratos y concentración de solución nutritiva. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Tuxpan, Iguala, Gro. México. 108 p.
- Schoellhorn, R. and A. A. Richardson. (2004). Warm climate production guidelines for Agave. *Commercial Floriculture Update*. University of Florida. 3 p.