

Crecimiento y acumulación de azúcares en maguey cenizo cultivado en plantaciones comerciales con fertilización temprana

Growth and accumulation of sugars in maguey cenizo cultivated in commercial plantations with early fertilization

Rigoberto Rosales-Serna¹, Julio César Ríos-Saucedo^{1*}, Jesús Humberto Rodríguez-Vargas², Cynthia Adriana Nava-Berumen², Donaji Sierra-Zurita^{1*}, Saúl Santana-Espinoza¹, Sergio Rosales-Mata¹

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

²Tecnológico 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 una especie indispensable como insumo para la industria destiladora en Durango, México. El objetivo fue evaluar el crecimiento y acumulación de azúcares en plantas de maguey cenizo cultivadas con fertilización temprana. Se utilizó una plantación comercial de maguey cenizo, con riego por cintilla en un sistema de plantación en tresbolillo, con una separación entre hileras de 3 m y distancia de 2 m entre plantas (1,666 plantas/ha). Se aplicaron cuatro tratamientos de fertilización: 1) FQ: Fertilización química (58-80-140), 2) FQLC: Fertilizante químico de liberación controlada (18-06-12), 3) Composta y 4) Testigo (sin fertilización). El maguey cenizo mostró valores entre 52.1 cm (FQLC) y hasta 59.3 cm (testigo). El DR fue más alto con Composta (68.4 cm) y el más bajo cuando se usó FQLC (60.8 cm). Los resultados mostraron que la fertilización en etapas iniciales del establecimiento de maguey cenizo no influyó significativamente en el crecimiento de las plantas. El contenido de azúcares no mostró diferencias estadísticamente significativas entre condiciones del tejido (crudo y cocido) y diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos de fertilización. En tejido crudo la mayoría de los tratamientos no mostraron diferencia significativa con valores de 9.5 °Bx (FQ) y 7.5 °Bx (Composta); mientras que, las plantas con FQLC presentaron un nivel estadísticamente inferior (7.2 °Bx). En tejido cocido el valor más alto se obtuvo en plantas con FQ (9.5 °Bx) y sin fertilización (8.4 °Bx). Los niveles de azúcares, en tejido crudo y cocido, fueron bajos y se relacionaron con la etapa de crecimiento de las plantas de maguey cenizo y el sistema de producción en riego.

Palabras clave: *Agave durangensis*, agronomía, mejoramiento, productividad, calidad.

ABSTRACT

Maguey Cenizo (*Agave durangensis*) is a plant species used as an essential input for the distilling industry in Durango, México. The objective was to evaluate the growth and accumulation of sugars in maguey cenizo plants cultivated with early fertilizer application. A commercial maguey cenizo plantation with strip irrigation was used, with staggered planting system was used, with a separation between rows of 3 m and 2 m between plants (1 666 plants/ha). For the 540 days period after planting, four fertilization treatments were applied: 1) CF: Chemical fertilizer (58-80-140), 2) CFCR: Chemical controlled-release fertilizer (06-18-12), 3) Compost and 4) Control (without fertilization). The maguey cenizo plants showed values between 52.1 cm with CFCR and up to 59.3 cm in the control treatment. The highest value for RD was registered in Compost treatment (68.4 cm) and the lowest when CFCR was used (60.8 cm). No significant influence was observed on the plant growth with fertilizer application in the initial stages of maguey cenizo establishment. Differences observed for



the sugar content between tissue conditions (raw or cooked) were no significant and significant differences ($p \leq 0.05$) were detected among fertilizer treatments. Most of the fertilizer treatments showed values between 9.5 °Bx (CF) and 7.4 °Bx (Compost); while the plants with CFCR registered the lowest level (7.2 °Bx). In cooked tissue, the highest value was obtained in plants with CF (9.5 °Bx) and the control treatment without fertilization (8.4 °Bx). The low levels in sugar content, in raw and cooked tissue, were related to the growth stage of the maguey cenizo plants and the production system under irrigation.

Keywords: *Agave durangensis*, agronomy, breeding, productivity, quality.

INTRODUCCIÓN

Se ha propuesto la producción intensiva de maguey cenizo (*Agave durangensis*) para dar certeza a la disponibilidad continua de materia prima y al mismo tiempo, reducir los costos de abastecimiento en la industria destiladora. Esta especie se utiliza principalmente en la elaboración de destilados (mezcal), con presentaciones variadas que tienen aceptación creciente en el mercado nacional y de exportación. La demanda alta de tallos y bases foliares de maguey cenizo (piñas) han creado dificultades para la obtención de materia prima de poblaciones naturales, especialmente en las áreas cercanas a los sitios de procesamiento (vinatas) (Rosales et al., 2013 y 2018; Ríos et al., 2018; Rosales et al., 2020). Por ello, se incrementó el interés para la producción de diferentes especies de maguey en plantaciones comerciales establecidas en terrenos agrícolas marginales y en desuso. Con base en lo anterior, se determinó la necesidad de establecer métodos eficientes para la producción de plantas de maguey cenizo y la evaluación el efecto de los componentes tecnológicos (fertilización) sobre los caracteres de interés industrial, como es la acumulación de azúcares en la piña.

La fertilización del suelo, se considera entre los componentes tecnológicos más importantes para favorecer el crecimiento del maguey cenizo. Se ha tratado de identificar fuentes de nutrientes que permitan la optimización de la eficiencia productiva del maguey en condiciones de vivero, invernadero y campo (Zúñiga, 2013; Sandoval, 2019; Rosales et al., 2020). Actualmente, existe la necesidad de evaluar el crecimiento del maguey cenizo en plantaciones comerciales establecidas directamente en campo, con la finalidad de establecer la necesidad de proporcionar nutrientes adicionales para el crecimiento de la planta, sin incrementar de forma significativa los costos de producción.

Se ha generado tecnología para la producción de planta de maguey tequilero (*Agave tequilana* Weber), especialmente en el manejo de los nutrientes minerales requeridos durante el ciclo vegetativo de la planta, previo a la fase reproductiva y jima (Zúñiga, 2013). Además de la fertilización, se puede considerar el riego por cintilla, lo cual puede contribuir al crecimiento acelerado del maguey cenizo, medido con base en altura del tallo y diámetro de roseta. En estudios anteriores, con maguey cenizo, se demostró la importancia que tienen dichas variables y el número de hojas por planta para la evaluación de la respuesta a diferentes métodos de fertilización (Rosales et al., 2013; Rosales et al., 2020). Además, se ha utilizado el contenido de azúcares (°Bx), determinado mediante el uso del refractómetro (IPN, 2006), para determinar su relación con variables morfológicas, evaluar el efecto de diferentes métodos de cultivo y establecer la influencia de la fertilización sobre el crecimiento de maguey cenizo. Se ha considerado que la validación y adopción de tecnología incrementará la eficiencia productiva del maguey cenizo en Durango, lo que a su vez, facilitará el abastecimiento de materias primas de costo bajo para la industria destiladora.

La variabilidad genética es considerable entre poblaciones y plantas de maguey cenizo obtenidas a partir de semilla colectada en poblaciones naturales. Dicha variabilidad se determinó con base en variables morfológicas y fisiológicas, como es el caso de la acumulación de azúcares en los tejidos del tallo y bases foliares de la planta (IPN, 2006). El contenido de azúcares se puede determinar en forma relativamente fácil, mediante el uso del refractómetro. Aunque, es necesario considerar la existencia de cadenas complejas de azúcares en maguey cenizo, entre las que se incluye la inulina (IPN, 2006; Zúñiga, 2013). Con base en lo anterior, se ha propuesto realizar la cocción del maguey para lograr la hidrólisis de glúcidos y la obtención de evaluaciones más precisas en la determinación del



contenido de azúcares. La identificación de criterios de selección eficientes y fáciles de evaluar, favorecerá la obtención de individuos y poblaciones de maguey cenizo con crecimiento rápido en plantaciones comerciales establecidas en Durango. Con ello, se podrán reducir los ciclos de jima sin descuidar la calidad de los azúcares contenidos en tallos y bases foliares de esta especie.

Se considera que el uso de métodos eficientes de fertilización incrementará la productividad del maguey cenizo en Durango, lo que a su vez facilitará el abastecimiento de materias primas de costo bajo para la industria. Adicionalmente, se busca incrementar la proporción de azúcares en el tallo y bases foliares del maguey cenizo, para optimizar la elaboración de mezcal. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización temprana sobre el crecimiento y acumulación de azúcares en plantas de maguey cenizo cultivadas en Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Sitio

El presente proyecto se desarrolló en el Campo Experimental Valle del Guadiana, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Dicho Campo Experimental se ubica 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 una media anual para esta variable 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).

Plantación

La plantación se realizó el 25 de abril de 2018 y la parcela experimental consistió en tres hileras de longitud variable (20 a 65 m). Se utilizaron plántulas de maguey cenizo producidas localmente con semilla cosechada en el sur de Durango. La cintilla utilizada

fue de polietileno de 16 mm y goteros situados en cada planta (2 m). Se utilizó un modelo de plantación en tresbolillo, con una separación entre hileras de 3 m y distancia entre plantas de 2 m, para una densidad poblacional de 1666 plantas/ha. En los primeros 520 días después del establecimiento de la plantación, se aplicaron cuatro tratamientos con varios fertilizantes y un abono orgánico: 1) Química, con fertilizante granulado (58-80-140) para nitrógeno (N), fósforo (P2O5) y potasio (K2O), 2) Química de liberación controlada multicote® (18-06-12), para igualar el suministro de nitrógeno, 3) Composta, aplicada a razón de 6 toneladas por hectárea (600 g/m2) y 4) Tratamiento testigo (sin fertilización). En el tratamiento 1), que incluyó el uso de fertilizante químico granulado, éste se aplicó según las recomendaciones generadas para *Agave tequilana* (Zúñiga, 2013). El experimento se manejó en un diseño en bloques completos al azar y la parcela experimental consistió en una hilera de 10 plantas con competencia completa, con dos repeticiones para cada tratamiento.

Variables morfológicas

En mayo de 2021 se evaluaron 10 plantas por repetición para registrar altura de planta (AP) y diámetro de roseta (DR). La altura de la planta se evaluó mediante el uso de una regla métrica con precisión de 1 mm y se midió desde la superficie del suelo hasta lo más alto del dosel foliar. El diámetro de roseta se determinó con la regla métrica (± 1 mm) en dos direcciones (este-oeste y norte-sur), para luego calcular el valor promedio. En el muestreo realizado en 2021, las mediciones obtenidas en 10 plantas de cada parcela experimental se usaron para calcular el promedio en cada repetición (2) y este valor se utilizó en el análisis de varianza.

Contenido de azúcares

El contenido de azúcares 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.

Análisis Estadístico

Los datos para cada una de las dos variables evaluadas en campo se usaron en el análisis estadístico (ANDEVA), bajo un diseño en bloques completos al azar con dos repeticiones. Los datos obtenidos para el nivel de °Bx se analizaron en un diseño completamente aleatorio con arreglo factorial, cuatro tratamientos de fertilización, dos condiciones del tejido (crudo y cocido) y dos 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 programa de cómputo SAS Ver. 9.4. También, se utilizó estadística descriptiva en la que se incluyó el valor promedio y el error estándar de la media, para la obtención de gráficas de crecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables morfológicas

No se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización para la altura de planta y diámetro de roseta (Cuadros 1 y 2). La altura de la planta fluctuó entre 52.1 cm cuando se aplicó fertilización química de liberación controlada y 59.3 cm, registrado en el tratamiento sin fertilización. En el caso del diámetro de roseta los valores mostraron variación entre 60.8 cm en el tratamiento de fertilización química de liberación controlada, hasta 68.4 cm cuando se aplicó abono orgánico.

Es posible que la condición silvestre de las poblaciones donde se colectó la semilla, utilizada en la producción de las plantas incluidas en el estudio, haya tenido efecto sobre la respuesta neutral y ocasionalmente negativa del maguey cenizo a la fertilización química y orgánica, aplicada en

plantaciones comerciales. También, influyó el manejo de las plantas antes y después del trasplante definitivo en campo; así como el manejo agronómico, la condición del suelo y otros factores ambientales.

Cuadro 1. Análisis de varianza para variables morfológicas de plantas de maguey cenizo cultivadas con diferentes tratamientos de fertilización durante su establecimiento.

Fuente de Variación	¹ gl	Altura de Planta (cm)	Diámetro de Roseta (cm)
Fertilización (F)	3	0.19 N. S.	228.0 N. S.
Repetición	1	2508.8	3406.1
Error	75	148.2	159.1
Promedio		55.2	65.1
² C. V. (%)		22.1	19.4

¹gl = grados de libertad, N. S. = no significativo, ²C. V. = coeficiente de variación.

Cuadro 2. Promedios para variables morfológicas de plantas de maguey cenizo cultivadas con diferentes tratamientos de fertilización en condiciones de campo.

Ambiente	Altura de Planta (cm)	Diámetro de Roseta (cm)
Química (162-150-250)	152.6 ± 8.7	64.1 ± 12.2
Liberación Controlada	52.1 ± 13.1	60.8 ± 11.3
Orgánico	56.9 ± 13.7	68.4 ± 13.4
Sin Fertilización	59.3 ± 10.3	67.0 ± 10.7
Promedio	55.2	65.1

¹Promedio ± desviación estándar.

La aplicación inicial de fertilizante químico y ocasionalmente el abono orgánico mostró efecto significativo y negativo sobre la altura de planta y diámetro de roseta en plantaciones comerciales de maguey cenizo (Figuras 1 y 2). Dicha respuesta, fue



más evidente en algunos de los muestreos iniciales y luego de 1,130 días no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización inicial. En el último muestreo se observó que el testigo sin fertilización registró el nivel mayor de altura de planta (59.3 cm) y fue seguido por la aplicación de composta (56.9 cm). Situación similar se observó en el diámetro de roseta donde la aplicación de composta (68.4 cm) y el testigo sin fertilización (67.0 cm) registraron los valores más altos. En ambos casos sin registrarse significancia estadística entre los tratamientos de fertilización incluidos en el estudio.

Los resultados obtenidos mostraron que, en plantaciones de maguey cenizo derivadas de poblaciones silvestres de Durango, registraron efecto limitado de la aplicación temprana de fertilizantes y abono orgánico sobre el crecimiento, medido con base en la altura de la planta y diámetro de roseta.

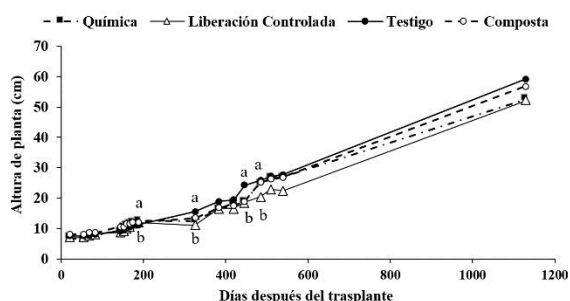


Figura 1. Incremento en altura de la planta en maguey cenizo cultivado con diferentes tratamientos de fertilización durante su establecimiento.

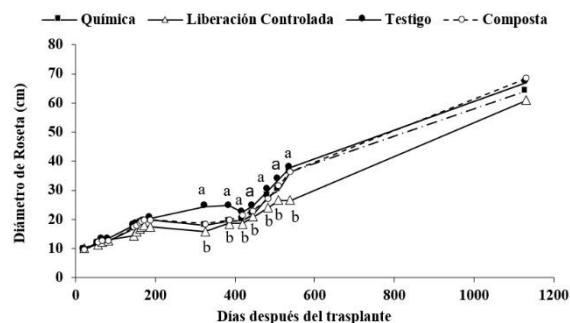


Figura 2. Incremento en diámetro de roseta en maguey cenizo cultivado con diferentes tratamientos de fertilización durante su establecimiento.

Contenido de azúcares

Las diferencias entre condiciones del tejido del maguey cenizo (crudo o cocido) no fueron significativas; mientras que, cuando se compararon los tratamientos de fertilización dichas diferencias fueron estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) (Cuadros 3 y 4). La mayoría de los tratamientos de fertilización mostraron valores estadísticamente iguales, con 9.5 °Bx en fertilización química y 7.4 °Bx en el tratamiento con abono orgánico. En contraste, las plantas en las que se aplicó fertilizante químico de liberación controlada mostraron un valor estadísticamente inferior (7.2 °Bx). En tejido cocido se observó el valor más alto para el contenido de azúcares (9.5 °Bx) en plantas con fertilización química, el cual resultó estadísticamente igual al registrado en las cultivadas sin aplicación de fertilizante (8.4 °Bx). Las plantas cultivadas en el tratamiento con fertilizante de liberación controlada (6.8 °Bx) y con abono orgánico (7.0 °Bx) presentaron contenido significativamente inferior de azúcares.

Cuadro 3. Análisis de varianza para el contenido de azúcares en tejido crudo y cocido de maguey cenizo cultivado en diferentes tratamientos de fertilización.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Grados Brix (°Bx)
Repetición	1	1.3
Condición (C)	1	0.5 N. S.
Fertilización (F)	3	5.5*
C x F	3	0.3 N. S.
Error	8	0.8
Promedio		8.1
C. V. (%)		10.9

N. S. = no significativo, *significativo ($p \leq 0.05$), C. V. = coeficiente de variación.

Se apreció que, en todos los tratamientos se redujo el valor de los °Bx luego de la cocción de los tejidos, debido principalmente al efecto de dilución, favorecido por el agua presente al momento de la toma y cocción de la muestra. Los resultados



obtenidos mostraron que las condiciones de cocción, utilizadas en el presente estudio, influyeron de manera limitada sobre el contenido de azúcares en el tejido de maguey cenizo cultivado en plantaciones comerciales. Con base en lo anterior, se estableció que es posible determinar esta variable en piñas crudas y con ello, evitar el uso de equipo especializado y tiempo adicional de proceso, lo cual genera costos adicionales.

Cuadro 4. Valores promedio para el contenido de azúcares en tejido crudo y cocido de maguey cenizo cultivado en diferentes tratamientos de fertilización.

Fertilización	¹ Bx Crudo	² Bx Cocido
Química	9.1 ± 1.6a	9.5 ± 0.6a
Química Lib. Cont.	7.2 ± 0.92b	6.8 ± 1.0b
Orgánica	7.5 ± 0.35ab	7.0 ± 1.3b
Sin Fertilización	9.4 ± 0.01a	8.4 ± 0.7ab
Promedio	8.3	7.9
² C. V. (%)	11.1	11.7

¹Bx = Grados Brix; ²C. V. = coeficiente de variación. Las letras en cada columna representan diferencias significativas entre tratamientos de fertilización (a-b) de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Se observó que la fertilización química y orgánica mostraron un efecto bajo sobre el crecimiento inicial del maguey cenizo, medido con base en dos variables morfológicas importantes en esta planta de importancia industrial. Al mismo tiempo se observó incremento de los costos, derivados de la adquisición del producto y aplicación en campo del fertilizante. Existen resultados contradictorios para los requerimientos de fertilización en maguey y se ha establecido que las plantas establecidas no requieren fertilización, aunque se recomiendan niveles bajos de aplicación de fertilizante en plantas pequeñas para favorecer el establecimiento y mejorar la tasa de crecimiento (Knox, 2016).

Se ha demostrado que la aplicación de fertilizantes en el hábitat natural de plantas silvestres favoreció la producción de semillas y se observó que la selección de plantas elite, con productividad alta, fortaleció las posibilidades de la mejora genética de la especie (Prehn et al., 2013). Con base en lo anterior, se

puede decir que existen posibilidades de que a medida que se avance en la domesticación del maguey cenizo y en la selección de plantas de crecimiento rápido, se podrá incrementar la respuesta favorable del maguey cenizo a la adición complementaria de nutrientes al suelo.

Los niveles de azúcares obtenidos en el presente estudio fueron bajos en comparación con los reportados en otros estudios, en los cuales se obtuvieron valores entre 6.4-15.1 °Bx en maguey sacatoro, 18.9 °Bx maguey espadín y 17.7 °Bx en maguey papalote; además, en dichos trabajos se detectó contenido mayor en los tallos (piñas), en comparación con las hojas (pencas) (Barrientos, 2020). Los resultados se relacionaron con la etapa de desarrollo de las plantas y el sistema de producción, 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). Se debe considerar que en las piñas de esa especie se requiere un nivel mínimo de 24% de azúcares totales para que el precio de compra se mantenga (Martínez et al., 2012). En el presente estudio, influyó también el tiempo desde el trasplante (3 años) y el riego proporcionado durante la época seca del año, lo que redujo el contenido de sólidos solubles; aunque en otros experimentos se estableció que los °Bx no se modificaron por el fertilizante y el agua aplicada (Zúñiga et al., 2018).

En otros estudios se ha demostrado que la fertigación reduce los costos de producción y el tiempo para la jima; al mismo tiempo que se incrementa el rendimiento de piña y el contenido de azúcares reductores totales (Zúñiga, 2013). En el caso de plantas silvestres, se ha establecido que algunas de ellas responden a la aplicación de fertilizante de manera similar a cualquier especie cultivada (Amini et al., 2019), pero en otros estudios se demostró que las especies y variedades con tasas bajas de crecimiento responden de manera menos favorable a la aplicación de fertilizante en relación con las que muestran tasas altas (Mengel, 1983).



CONCLUSIONES

Los tratamientos de fertilización en etapas iniciales del establecimiento de maguey cenizo en condiciones de campo influyeron de forma reducida sobre el crecimiento de las plantas luego de tres años de plantación.

Se considera poco efectiva la fertilización temprana sobre el crecimiento del maguey cenizo, por lo que su omisión reduce costos sin efectos significativos sobre el crecimiento.

La fertilización temprana con productos químicos granulados, la falta de fertilización y en menor medida, la aplicación de abono orgánico incrementó el contenido de azúcares en tallos y bases foliares de hojas de maguey cenizo.

El uso de variables morfológicas, como altura de planta y diámetro de roseta, permiten la evaluación sencilla de la respuesta del maguey cenizo a diferentes tratamientos de fertilización.

Es recomendable evaluar el contenido de azúcares en tallos crudos de maguey cenizo, lo que evita el uso de tiempo y equipo adicional para la cocción.

El refractómetro es un instrumento que puede utilizarse en la selección individual de plantas de maguey cenizo sobresalientes por la acumulación de azúcares en etapas intermedias de crecimiento.

LITERATURA CITADA

- Amini, M., M. Kafi, and M. Parsa. (2019). Effects of macronutrient supplementation of physiological, qualitative and quantitative traits of *Salvia leriifolia* Benth. *Pakistani Journal of Botany* 51(6): 2053-2058. DOI: [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2019-6\(22\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2019-6(22))
- 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.
- 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_anexo/20060256_2900.pdf.
- Knox, G. W. (2016). *Agave and Yucca: tough plants for tough times*. University of Florida ENH 1159. Davie, FL. USA. 11 p.
- Martínez R., S., A. Trinidad S., C. Robles, A. Galvis S., T. M. Hernández M., J. A. Santizo R., G. Bautista S., y E. C. Pedro S. (2012). Crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. Inducidos por riego y fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(1): 61-68.
- 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.
- Mengel, K. (1983). Responses of various crop species and cultivars to fertilizer application. *Plant and Soil* 72: 305-319. DOI <https://doi.org/10.1007/BF02181970>
- Prehn, D., C. Bonomelli y R. San Martín. (2013). Efecto de la fertilización en *Guidilia trinervis* en su hábitat natural y en invernadero. *Bosque* 34(2): 243-252. DOI: 10.4067/S0717-92002013000200013
- 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 S. (2021). Crecimiento del maguey cenizo en condiciones de vivero



- establecido en dos sistemas de producción. Memoria de XXXIII Semana Internacional de Agronomía. Gómez Palacio, Dgo. 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.
- Zúñiga E., L. (2013). Nutrición de *Agave tequilana* y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (riego por goteo). INIFAP-CIRNE-Campo Experimental Las Huastecas. Villa Cuauhtémoc, Tamps. México. 46 p.
- Zúñiga E., L., E. Rosales R., M. de J. Yáñez M., C. Jacques H. (2018). Características y productividad de una planta MAC, *Agave tequilana* desarrollada con fertigación en Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 9(3): 553-564