

Respuesta de *Agave potatorum* Zucc a dos dosis de fertilizante de liberación lenta y reguladores de crecimiento

Response of *Agave potatorum* Zucc to two doses of slow-release fertilizer and growth regulators

Sánchez-Mendoza, S.¹ , Bautista-Cruz, A.² 

¹NovaUniversitas, Carretera Oaxaca a Puerto Ángel km 34.5. 71513 Ocotlán de Morelos, Oaxaca, México. ²Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Oaxaca, Hornos 1003, Xoxocotlan, 71230, Oaxaca, México



Please cite this article as/Como citar este artículo: Sánchez-Mendoza, S., Bautista-Cruz, A. (2024). Response of *Agave potatorum* Zucc to two doses of slow-release fertilizer and growth regulators. *Revista Bio Ciencias*, 11, e1661. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1661>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: April 13th 2024.

Accepted/Aceptado: August 07th 2024.

Available on line/Publicado: August 20th 2024.

RESUMEN

En Oaxaca (México), el *Agave potatorum* Zucc, una especie silvestre, es intensamente aprovechada para la producción de mezcal. Este estudio evaluó el efecto de la aplicación de dos dosis (5 y 10 g planta⁻¹) del fertilizante de liberación lenta (SRF) Osmocote plus (OS) y de reguladores de crecimiento (GR) Biozyme TF[®] (BI) y Agromil Plus[®] (AG) sobre el crecimiento y acumulación de sólidos solubles totales en el tallo (TSS) de plantas de *A. potatorum* Zucc en condiciones de vivero. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial 3×3. Después de 12 meses se determinó altura de planta (PH), número de hojas desplegadas (ULN), diámetro de tallo (SD), longitud radicular (RL), volumen radicular (RV), densidad radicular (RD), peso fresco de hojas (FWL), tallo (FWS) y raíz (FWR) así como TSS. Con relación al control, OS 10 g incrementó 40.1 % PH, 17.7 % SD, 58.8 % FWL, 43.2 % FWS, 43.7 % FWR, 33.3 % RD y 25.3 % TSS. OS 5 g incrementó 24.4 % PH, 19.3 % SD, 49.0 % FWL, 61.1 % FWS y 22.6 % TSS. BI aumentó 9.7 % AP, 19.6 % SD, 77.3 % FWS, 50.0 % FWR, 72.2 % RV y 18.6 % TSS. AG incrementó 23.8 % ULN, 24.5 % SD y 101.7 % FWS. OS 5 g + BI incrementó 43.0 % PH, 81.6 % SD, 144.2 % FWL, 332.2 % FWS, 137.1 % RV y 75.8 % TSS. OS 5 g + AG incrementó 52.3 % ULN y 136.1 % RV. OS 10 g + sin GR (NGR) incrementó 141.1 % FWL. OS 10 g + BI aumentó 43.7 % PH, 129.8 % FWR y 75.0 % TSS. OS 10 g + AG incrementó 46.1 % RD. La aplicación individual o combinada de SRF y GR favoreció el crecimiento y TSS en plantas de *A. potatorum* Zucc. Se sugiere seguir evaluando la aplicación de SRF y GR en etapas más avanzadas del crecimiento de *A. potatorum* Zucc bajo condiciones de campo abierto.

PALABRAS CLAVE: Agave silvestre, Crecimiento vegetal, Fito hormonas, Nutrición vegetal, Osmocote.

*Corresponding Author:

Angélica Bautista-Cruz. Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Oaxaca, Hornos 1003, Xoxocotlan, 71230, Oaxaca, México.
Telefono: (+52) 951 5170610. E-mail: mbautistac@ipn.mx

ABSTRACT

In Oaxaca, Mexico, *Agave potatorum* Zucc, a wild species, is extensively harvested for mezcal production. This study evaluated the effects of applying two doses (5 and 10 g plant⁻¹) of the slow-release fertilizer (SRF) Osmocote Plus (OS) and growth regulators (GR) Biozyme TF[®] (BI) and Agromil Plus[®] (AG) on the growth and accumulation of total soluble solids in the stem (TSS) of *A. potatorum* Zucc plants under nursery conditions. A completely randomized design with a 3×3 bifactorial arrangement was employed. After 12 months, measurements were taken for plant height (PH), unfolded leaves number (ULN), stem diameter (SD), root length (RL), root volume (RV), root density (RD), fresh weight of leaves (FWL), stem (FWS), and roots (FWR), as well as TSS. Relative to the control, OS 10 g increased by 40.1 % PH, 17.7 % SD, 58.8 % FWL, 43.2 % FWS, 43.7 % FWR, 33.3 % RD, and 25.3 % TSS. OS 5 g increased 24.4 % PH, 19.3 % SD, 49.0 % FWL, 61.1 % FWS, and 22.6 % TSS. BI increased PH by 9.7 %, SD by 19.6 %, FWS by 77.3 %, FWR by 50.0 %, RV by 72.2 %, and TSS by 18.6 %. AG increased ULN by 23.8 %, SD by 24.5 %, and FWL by 101.7 %. OS 5 g + BI increased PH by 43.0 %, SD by 81.6 %, FWS by 144.2 %, FWR by 332.2 %, RV by 137.1 %, and TSS by 75.8 %. OS 5 g + AG increased ULN by 52.3 % and RV by 136.1 %. OS 10 g + no GR (NGR) increased FWL by 141.1 %. OS 10 g + BI increased PH by 43.7 %, FWR by 129.8 %, and TSS by 75.0 %. OS 10 g + AG increased RD by 46.1 %. The individual or combined application of SRF and GR significantly enhanced growth and TSS accumulation in *A. potatorum* Zucc plants. Further research is recommended to evaluate the application of SRF and GR in more advanced growth stages of *A. potatorum* Zucc under open field conditions.

KEY WORDS : Wild agave, Plant growth, Phytohormones, Plant nutrition, Osmocote.

Introducción

Los agaves han sido de gran importancia para las culturas indígenas americanas debido a los diversos usos que se le han dado desde hace aproximadamente 10, 000 años. México es considerado como centro de origen y diversificación de especies del género *Agave*, las cuales poseen gran relevancia ecológica, cultural y económica (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017). En este país se concentra el 75 % del total de especies de agave existentes en el mundo (García-Mendoza, 2007), muchas de ellas son de interés económico para el estado de Oaxaca, ya que constituyen la materia prima para la producción de mezcal, una bebida alcohólica tradicional (García-Mendoza, 2010). Debido a la producción intensiva de mezcal se ha generado una sobreexplotación que trae como consecuencia que las poblaciones naturales de agave, también llamados magüeyes, se vean seriamente amenazadas (García-Mendoza, 2007), por lo que

es necesario realizar investigaciones enfocadas a su manejo agronómico. El problema de la sobreexplotación se agudiza en *Agave potatorum* Zucc, coloquialmente conocido como maguey tobalá o papalomé, por ser de las especies silvestres mayormente explotadas, a diferencia de la mayoría de los agaves su propagación asexual es casi nula y depende de sus semillas para sobrevivir (García-Mendoza, 2010; Aguirre-Dugua & Eguiarte, 2013; Delgado-Lemus *et al.*, 2014). Los agaves son plantas resistentes, capaces de crecer y reproducirse en suelos poco profundos donde otros cultivos no prosperan, con baja fertilidad, pendientes pronunciadas y poca agua durante varios meses del año (Verduzco-Martínez *et al.*, 2009). Aun cuando los agaves presentan una gran capacidad de adaptación a condiciones restrictivas, diversos estudios realizados en estas especies han demostrado que responden de manera favorable en su crecimiento y acumulación de azúcares en tallo cuando son fertilizadas orgánica e inorgánicamente (Sánchez-Mendoza *et al.*, 2020; Enríquez del Valle *et al.*, 2018; García Martínez *et al.*, 2020). Sin embargo, debido a la gran diversidad y al ciclo de cultivo tan largo de las especies existentes, hoy en día se desconocen las necesidades nutrimentales para cada una de ellas (Torres *et al.*, 2016). El uso de fertilizantes sintéticos convencionales es la alternativa más utilizada para aportar nutrientes a las plantas de agave, sin embargo, se presentan grandes pérdidas por lixiviación, volatilización y fijación, lo que ha generado serios problemas de contaminación ambiental y enfermedades en seres humanos. Una alternativa viable para sustituir los fertilizantes convencionales es el uso de fertilizantes de liberación lenta (SRF), los cuales son altamente eficientes en su aprovechamiento, debido a que se liberan de forma paulatina en el suelo, de esta manera se generan menos pérdidas y se disminuye considerablemente la contaminación ambiental y los problemas a la salud humana (Kiplangat *et al.*, 2019). Gran parte de las investigaciones sobre el efecto de SRF en la promoción del crecimiento vegetal se han desarrollado en especies forestales, en la mayoría de los casos representan una opción viable para las plantas durante su desarrollo y se pueden suministrar en una sola aplicación (Aguilera *et al.*, 2016).

Además del uso de SRF en plantas del género *Agave*, es importante explorar otras alternativas que permitan promover su crecimiento y acumulación de azúcares en el tallo. Una opción viable puede ser el uso de reguladores de crecimiento (GR) (auxinas, giberelinas y citocininas), los cuales son compuestos sintetizados químicamente u obtenidos de otros organismos. Hoy en día los GR se han convertido en los primeros insumos capaces de controlar el crecimiento y la actividad bioquímica de las plantas por lo que su uso ha aumentado en los últimos años, desafortunadamente la investigación en especies del género *Agave* es escasa (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019; Borjas-Ventura *et al.*, 2020). Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz (2022) evaluaron el efecto de la aplicación de dos GR (Biozyme TF® y Agromil plus®) en plantas de *A. angustifolia* Haw. y encontraron que la aplicación de estos productos no generó una respuesta positiva en el crecimiento ni en el contenido de azúcares en el tallo de este agave. Algunos otros estudios se enfocan principalmente en evaluar el efecto de GR en plantas de agave cultivadas *in vitro* (Barreto *et al.*, 2010; Cancino-García *et al.*, 2020; Reyes-Zambrano *et al.*, 2016).

El estudio del contenido de azúcares en los tallos, o “piñas” (tallos deshojados) del agave, es crucial debido a que el nivel de alcohol producido durante la fermentación está directamente relacionado con la cantidad de azúcares reductores presentes. En la producción de tequila y mezcal, se llevan a cabo dos análisis principales: la medición de grados Brix (°Bx) y la

determinación de azúcares reductores mediante el uso del reactivo de Fehling. Los grados Brix se utilizan para medir la densidad de soluciones azucaradas, correspondiendo a la proporción en peso de sólidos solubles, principalmente azúcares, en una muestra. Por ejemplo, para que las piñas de *A. tequilana* sean consideradas de alta calidad, deben contener al menos un 24 % de azúcares totales (Bautista-Justo *et al.*, 2001).

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos dosis de SRF y GR en el crecimiento y acumulación de sólidos solubles totales en el tallo (TSS) de plantas de *A. potatorum* Zucc en condiciones de vivero.

Material y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en Ocotlán de Morelos (16° 48' N, 96° 40' O), Oaxaca, México, a 1 523 m de altitud, temperatura media anual de 20.5 °C y precipitación media anual de 695 mm. Se colectaron semillas de *A. potatorum* Zucc en el Municipio de Santa Catarina Minas perteneciente al distrito de Ocotlán de Morelos. Se seleccionaron plantas sanas que presentaron la mayor altura y diámetro de tallo. Se colectaron frutos (cápsulas) vigorosos y libres de plagas, de cada fruto se seleccionaron semillas sanas las cuales se almacenaron en bolsas de papel kraft de 30.5 × 13 cm (calibre 60 g).

Siembra, fertilización y aplicación de reguladores de crecimiento

Las semillas se colocaron en charolas germinadoras de poliestireno de 200 cavidades, como sustrato se utilizó cosmopeat®. Se aplicaron riegos en intervalos de dos a cuatro días, periodo en el cual visiblemente se apreció que el sustrato disminuyó su contenido de humedad. Después de dos meses de crecimiento de las plántulas de agave en charolas germinadoras en un vivero (malla sombra 25 %) de 8 × 20 m, se trasplantaron a bolsas de polietileno de 20 × 25 cm, las cuales se llenaron con 9 kg de suelo, las características físicas y químicas del suelo empleado se muestran en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del suelo donde se estableció el experimento.

Textura	FC	PWP	SP	TC	OM	BD (g cm ⁻³)	pH
	(%)						
Arena: 55.48 %							
Limo: 17.28 %							
Arcilla: 27.24 %	42.40	22.10	56.20	0.70	2.37	1.0	6.9
Franco arcillo arenoso							

FC, capacidad de campo; PWP, punto de marchitez permanente; SP, punto de saturación; TC, carbonatos totales; OM, materia orgánica; BD, densidad aparente.

Tabla 2. Contenido nutrimental del suelo donde se estableció el experimento.

N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu
----- ppm -----									
125.99	7.45	127.08	2848.00	310.80	70.22	61.00	3.44	64.33	6.89

N, nitrógeno inorgánico; P, fósforo disponible (Bray); K, potasio disponible; Ca, calcio disponible; Mg, magnesio disponible; Na, sodio disponible; Fe, hierro; Zn, zinc; Mn, manganeso; Cu, cobre.

La fertilización se realizó 45 días después del trasplante con la finalidad de que las plantas estuvieran sin estrés posterior al trasplante y mejor adaptadas a los contenedores con suelo. El SRF utilizado fue Osmocote plus® marca ICL (OS) (15 % N, 9 % P₂O₅, 12 % K₂O, 6 % SO₄, 0.02 % B, 0.05 % Cu, 0.46 % Fe, 0.06 % Mn, 0.02 % Mo, 0.05 % Zn) con un periodo de liberación de 8-9 meses. Las dosis evaluadas para el SRF se propusieron tomando como referencia la recomendación de Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz (2022) para plantas de *A. angustifolia* Haw., estos autores aplicaron 19 g del SRF Osmocote plus por planta. Sin embargo, con la finalidad de reducir costos y considerando el porte más pequeño de las especies evaluadas en este experimento se optó por reducir las dosis a 5 y 10 g planta⁻¹. El fertilizante se aplicó en forma circular a 5 cm de separación del tallo y 5 cm de profundidad. Los GR evaluados fueron: 1) Biozyme TF® (BI) (Extractos de origen vegetal y fitohormonas biológicamente activas 78.87, giberelinas 32.2 ppm, ácido indolacético 32.2 ppm, zeatina 83.2 ppm, 0.14 % Mg, 0.44 % S, 0.30 % B, 0.49% Fe, 0.12 % Mn, 0.37 % Zn, diluyente y acondicionadores 19.27 %) y 2) Agromil

plus® (AG) [Citocininas 0.204 % p/v, diluyentes y acondicionadores (cantidad suficiente para completar un litro de producto) 100 % p/v]. Los GR comerciales no presentan recomendaciones técnicas en cuanto a la dosis para agaváceas, por lo que se utilizó la dosis sugerida para especies perennes con metabolismo ácido de las crasuláceas, la dosis evaluada en ambos productos fue 2.5 ml L⁻¹, se aplicaron de forma asperjada al follaje 25 ml por planta. Para una mayor eficiencia en la aplicación, en cada dilución se adiciono el adherente comercial Prolux® a una dosis de 0.75 ml L⁻¹. Se aplicaron riegos semanales, la cantidad de agua aplicada por planta fue 1 L. Al no contar con información sobre la frecuencia de aplicación de fitohormonas, se definió realizar tres aplicaciones foliares durante el periodo de evaluación, la primera aplicación se realizó a los tres meses después del trasplante, periodo en el cual las plantas ya estaban adaptadas y desarrollando hojas nuevas, la segunda y tercera aplicación se realizó a los 6 y a los 9 meses, respectivamente.

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial donde los factores evaluados fueron: 1) dosis de Osmocote plus® (0, 5 y 10 g planta⁻¹) y 2) GR (Biozyme TF® y Agromil plus®), se incluyó también un control sin la aplicación de GR (NGR), en total se evaluaron 9 tratamientos y 10 repeticiones para cada uno. Por tratarse de una especie perenne se utilizó una maceta con una planta de agave como unidad experimental (Martínez-Ramírez *et al.*, 2012). Los tratamientos evaluados fueron: 1) sin SRF (NSRF) + NGR, 2) NSRF + BI, 3) NSRF + AG, 4) OS 5 g+ NGR, 5) OS 5 g + BI, 6) OS 5 g + AG, 7) OS 10 g + NGR, 8) OS 10 g + BI, 9) OS 10 g + AG. Después de 12 meses de evaluación bajo condiciones de vivero y de acuerdo con Enríquez del Valle *et al.* (2018) se cosecharon al azar 7 plantas de las 10 que incluía cada tratamiento, esto es 63 plantas en total. A estas plantas se le determinó altura (PH); número de hojas desplegadas (ULN); diámetro de tallo (SD) con un vernier digital marca Maxwell; longitud radicular (RL), con un flexómetro se determinó la longitud de la raíz más larga; volumen radicular (RV) en una probeta de 250 ml con un volumen conocido de agua se introdujeron las raíces y se midió el volumen de agua desplazado; densidad radicular (RD) por medio de la relación masa-volumen; peso fresco de hoja (FWL), tallo (FWS) y raíz (FWR); el contenido de TSS se determinó con un refractómetro portátil RHB-32 ATC.

Análisis estadístico

Los datos de cada variable se sometieron a la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (Moraguz-Iglesias *et al.*, 2017), también se determinó la homogeneidad de varianza mediante la prueba de Bartlett (Bartlett, 1937). Las variables que no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad se transformaron a $\log_{10}(x)$. Finalmente se realizó un análisis de varianza de dos vías y pruebas múltiples de separación de medias de Tukey con nivel de significancia $p \leq 0.05$, mediante el software estadístico SAS v. 9.1 (SAS Institute, 2004).

Resultados y Discusión

La aplicación de SRF y GR de manera individual o combinada promovió el crecimiento de las plantas de *A. potatorum* Zucc. Con relación a las plantas control, la aplicación de OS 10 g incrementó 40.1 % la PH, 17.7 % el SD, 58.8 % el FWL, 43.2 % el FWS, 43.7 % el FWR, 33.3 % la RD y 25.3 % los TSS. La aplicación de OS 5 g incrementó 24.4 % la PH, 19.3 % el SD, 49.0 % el FWL, 61.1 % el FWS y 22.6 % los TSS (Tabla 3). Biozyme TF[®] aumentó 9.7 % la PH, 19.6 % el SD, 77.3 % el FWS, 50.0 % el FWR, 72.2 % el RV y 18.6 % los TSS. Agromil plus[®] incrementó 23.8 % el ULN, 24.5 % el SD y 101.7 % el FWS (Tabla 3). OS 5 g + BI incrementó 43.0 % la PH, 81.6 % el SD, 144.2 % el FWL, 332.2 % el FWS, 137.1 % el RV y 75.8 % los TSS (Tabla 3). OS 5 g + AG incrementó 52.3 % el ULN y 136.1 % el RV. OS 10 g + NGR incrementó 141.1 % el FWL. OS 10 g + BI aumentó 43.7 % la PH, 129.8 % el FWR y 75.0 % los TSS (Tabla 4). OS 10 g + AG incrementó 46.1 % la RD (Tabla 4). Aun cuando la interacción SRF+ GR generó una respuesta positiva en los parámetros de crecimiento y acumulación de TSS, fueron los factores individuales (SRF y GR) los que generaron la mayor variación en estas variables, superando los niveles de variabilidad generados por la interacción (Tabla 5).

Los resultados obtenidos muestran el efecto positivo del OS en plantas de agave, la mayoría de los estudios realizados en aspectos de nutrición de agaves se enfocan en la fertilización sintética convencional. Similar a lo reportado en este estudio, Sánchez-Mendoza *et al.* (2020) encontraron que plantas de *A. angustifolia* Haw. cultivadas en campo y fertilizadas con el SRF Multigro 6[®], incrementaron significativamente la RL, FWL, FWS y SD en comparación con las plantas control. Sin embargo, no encontraron un incremento significativo en el contenido de TSS en el tallo de las plantas, resultado que difiere con lo reportado aquí para *A. potatorum* Zucc donde la aplicación de OS incrementó el contenido de TSS en el tallo. La piña del agave funciona como el principal órgano de reserva y allí se acumula la mayor cantidad de carbohidratos (Montañez-Soto *et al.*, 2011). De acuerdo con Téllez (1998) los azúcares reductores que están presentes en la piña de una planta adulta de agave constituyen entre 20 y 30 % del peso fresco. El contenido de azúcares en las plantas de agave también puede variar debido a factores extrínsecos y factores intrínsecos. Dentro de los factores extrínsecos se puede citar la etapa fisiológica de la planta (Arrizon *et al.*, 2010), el tipo de especie, el manejo del cultivo, las condiciones ambientales donde se desarrolla la planta, entre otros (Cruz-García *et al.*, 2013). Dentro de los factores intrínsecos está la porción del agave que se utiliza para el análisis, ya sea hojas o tallos, e incluso fracciones de éstas, así como el método utilizado para la cuantificación de los carbohidratos (Cruz-García *et al.*, 2013). Las plantas jóvenes de *A. tequilana*, por ejemplo, poseen niveles más altos de monosacáridos (p. e. glucosa, fructosa) que las plantas adultas, las cuales acumulan fructanos a partir de los 8-10 años de edad (Cedeño, 1995). La relación entre el peso fresco de la piña y la concentración de azúcares reductores se considera uno de los principales indicadores de la acumulación de biomasa en los agaves, aspecto de gran relevancia para los productores. Esto es debido a que recolectar piñas más pesadas podría incrementar la cantidad de azúcares reductores disponibles, lo cual es crucial para la elaboración de mezcal (Cruz-García *et al.*, 2013).

Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz (2022) indicaron que la aplicación de OS plus® promovió incrementos en ULN, PH, SD, FWL y FWS de plantas de *A. angustifolia* Haw. en condiciones de vivero. No obstante, no encontraron un incremento significativo en el contenido de TSS. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en este estudio para PH, SD, FWL y FWS, pero no para ULN ni TSS.

Castillejos-Reyes *et al.* (2023) evaluaron el efecto de la aplicación de los SRF OS plus® (15-09-12) y Multicote Agri® (18-06-12) en plantas de agave coyote (*Agave* spp.) en condiciones de campo y encontraron que con respecto a las plantas control, la PH incrementó 21.2 %, el ULN 28.4 %, el FWL 77.0 % y el FWS 62.8 %, con la aplicación de OS. Multicote aumentó 15.3 % la PH. Con excepción de lo reportado para el ULN, los resultados están acorde con los mostrados en este estudio.

Martínez-Ramírez *et al.* (2013) evaluaron en invernadero la influencia de cuatro dosis de fertilización sintética convencional con 0-0-0, 30-20-15, 60-40-30 y 90-60-45 kg de N-P-K ha⁻¹, en el crecimiento y producción de biomasa de plántulas de *A. angustifolia* Haw. y *A. potatorum* Zucc. Estos autores encontraron que con referencia a las plántulas control, las plántulas fertilizadas con cualquiera de las dosis de N-P-K aumentaron en diámetro de roseta, ULN y acumulación de biomasa, pero no en PH. Estos resultados coinciden con lo obtenido en este estudio para las variables de acumulación de biomasa (FWL, FWS y FWR), PH y SD. Díaz *et al.* (2011) reportaron un incremento en el ULN en plantas de *A. cocuy* fertilizadas con 0.5 g L⁻¹ de nitrato de amonio. Contrariamente, en este estudio las dosis aplicadas de OS no generaron una respuesta estadísticamente significativa en el ULN.

Zúñiga-Estrada *et al.* (2018) indicaron que plantas de *A. tequilana* con una fertilización de base (162-150-250 kg ha⁻¹ de N, P y K) + fertirrigación (315.3 g de N; 179.9 g de P₂O₅; 353.4 g de K₂O; 111 g de CaO y 89.1 g de MgO) mostraron un incremento de 18.8 % en PH, 201.4 % en ULN, 406.4 % en el peso fresco de la planta y 471.6 % en la biomasa seca. Por su parte, Enríquez del Valle *et al.* (2013) evaluaron la respuesta en el crecimiento de plantas de *A. americana* var. Oaxacensis fertirrigadas con solución nutritiva Steiner a diferentes concentraciones: 1, 25, 50, 75 y 100 %. La solución nutritiva Steiner al 100 % fue la que promovió un mayor incremento en el ULN, PH, SD, área foliar, número de raíces primarias y RV. Con excepción de los resultados para el ULN, estos hallazgos son consistentes con los obtenidos en este estudio donde la adición de OS promovió el crecimiento en las plantas de *A. potatorum* Zucc.

Enríquez del Valle *et al.* (2016) evaluaron la respuesta de diferentes concentraciones de la solución nutritiva Steiner (1, 20, 40, 60, 80 y 100 %) en plantas micropropagadas de *A. potatorum* Zucc. Sus resultados revelaron que las plantas fertirrigadas con 1 y 100 % de la solución nutritiva Steiner mostraron un incremento en el ULN, área foliar, SD, RV y peso seco de hoja. Similarmente, la adición de OS incrementó el SD en las plantas de *A. potatorum* Zucc. García-Martínez *et al.* (2020) evaluaron el efecto de diferentes dosis de P (0, 14.4, 29.0 y 43.5 mg kg⁻¹) en el crecimiento y contenido de TSS en tallos de *A. potatorum* Zucc y *Agave* spp. (agave coyote), y encontraron que con respecto a las plantas control la dosis de 43.5 mg kg⁻¹ de P en *A. potatorum* Zucc aumentó 13.2 % la PH, 34.9 % el FWL, 36.1 % el FWS, 21.5 % el SD y 20.4 % el RV. En agave

coyote la dosis de 29.0 mg kg⁻¹ de P aumentó 16.4 % la PH, 44.4 % el FWS y 18.6 % el SD; el contenido de TSS incrementó 40.0 % con 43.5 mg kg⁻¹ de P y el FWL 51.0 % con 14.4 mg kg⁻¹ de P. Resultados similares fueron obtenidos en este estudio en las plantas de *A. potatorum* Zucc fertilizadas con OS para PH, FWL, FWS, SD y TSS.

Tabla 3. Valor medio \pm error estándar del número de hojas desplegadas (ULN), altura de planta (PH), longitud radicular (RL), diámetro de tallo (SD), peso fresco de hojas (FWL), peso fresco de tallo (FWS), peso fresco de raíz (FWR), volumen radicular (RV), densidad radicular (RD) y sólidos solubles totales en el tallo (TSS) como respuesta a la aplicación de diferentes dosis de fertilizante de liberación lenta y reguladores de crecimiento en plantas de *Agave potatorum* Zucc en condiciones de vivero.

Factor	ULN	PH	RL	SD	FWL	FWS	FWR
		----- cm -----			----- g -----		
SRF Osmocote plus® (g planta ⁻¹)							
0	17.7 \pm 0.8a	14.7 \pm 0.4c	132.6 \pm 10.3a	6.2 \pm 0.2b	641.19 \pm 60.3b	119.7 \pm 13.1b	52.6 \pm 6.2b
5	18.7 \pm 1.1a	18.3 \pm 0.7b	135.3 \pm 7.3a	7.4 \pm 0.2a	955.9 \pm 75.7a	192.9 \pm 19.7a	65.4 \pm 6.0ab
10	20.5 \pm 0.8a	20.6 \pm 0.5a	125.1 \pm 7.5a	7.3 \pm 0.2a	1018.8 \pm 60.0a	171.5 \pm 16.9a	75.6 \pm 7.4a
GR							
NGR	16.8 \pm 0.8b	17.4 \pm 0.7ab	128.2 \pm 7.7a	6.1 \pm 0.2b	786.1 \pm 83.7a	100.9 \pm 11.4b	53.2 \pm 5.0b
Biozyme TF®	19.3 \pm 0.9ab	19.1 \pm 1.0a	138.7 \pm 9.4a	7.3 \pm 0.3a	960.3 \pm 76.9a	178.9 \pm 18.3a	79.8 \pm 8.3a
Agromil plus®	20.8 \pm 0.9a	17.1 \pm 0.5b	126.3 \pm 8.3a	7.6 \pm 0.2a	869.8 \pm 58.4a	203.6 \pm 15.2a	61.3 \pm 5.7ab

Continuación Tabla 3.

Factor	RV cm ⁻³	RD g cm ⁻³	TSS °Brix
SRF Osmocote plus® (g planta ⁻¹)			
0	42.5 \pm 5.2a	1.2 \pm 0.04b	15.0 \pm 0.7b
5	56.3 \pm 5.8a	1.2 \pm 0.09b	18.4 \pm 0.9a
10	47.7 \pm 6.2a	1.6 \pm 0.1a	18.8 \pm 0.9a
GR			
NGR	36.4 \pm 3.3b	1.4 \pm 0.08a	16.6 \pm 0.9b
Biozyme TF®	62.7 \pm 7.3a	1.3 \pm 0.08a	19.7 \pm 0.9a
Agromil plus®	47.7 \pm 5.0ab	1.3 \pm 0.11a	16.0 \pm 0.5b

SRF, fertilizante de liberación lenta; GR, regulador de crecimiento Biozyme TF® y Agromil plus®; NGR, sin regulador de crecimiento. Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey \leq 0.05).

Tabla 4. Valor medio \pm error estándar del número de hojas desplegadas (ULN), altura de planta (PH), longitud radicular (RL), diámetro de tallo (SD), peso fresco de hojas (FWL), peso fresco de tallo (FWS), peso fresco de raíz (FWR), densidad radicular (RD), volumen radicular (RV) y sólidos solubles totales en el tallo (TSS) como respuesta a la interacción de diferentes dosis de fertilizante de liberación lenta y reguladores de crecimiento en plantas de *Agave potatorum* Zucc en condiciones de vivero.

Tratamiento	ULN	PH	RL	SD	FWL	FWS	FWR
		cm			g		
NSRF + NGR (control)	14.7 \pm 1.2b	15.1 \pm 0.8cd	114.6 \pm 18.3a	4.9 \pm 0.4d	493.3 \pm 98.5c	64.2 \pm 18.0d	40.5 \pm 7.2b
NSRF + BI	18.7 \pm 1.0ab	14.4 \pm 1.1d	137.6 \pm 19.9a	6.5 \pm 0.2cd	664.9 \pm 84.6bc	132.2 \pm 12.2cd	66.5 \pm 13.4ab
NSRF + AG	19.7 \pm 1.4ab	14.6 \pm 0.6d	145.4 \pm 15.8a	7.2 \pm 0.3bc	765.4 \pm 115.1abc	162.5 \pm 20.1bc	50.8 \pm 9.6ab
OS 5 g + NGR	15.4 \pm 1.3b	16.3 \pm 0.8de	131.8 \pm 12.5a	6.3 \pm 0.1cd	675.6 \pm 107.0bc	113.0 \pm 11.7cd	50.4 \pm 7.5ab
OS 5 g + BI	18.1 \pm 2.2ab	21.6 \pm 1.4a	155.7 \pm 12.5a	8.9 \pm 0.3a	1204.7 \pm 115.0a	277.5 \pm 28.4a	79.8 \pm 13.9ab
OS 5 g + AG	22.4 \pm 1.3a	17.4 \pm 0.7bcd	121.5 \pm 11.2a	7.2 \pm 0.3bc	1023.0 \pm 91.4ab	200.4 \pm 27.0abc	68.1 \pm 7.8ab
OS 10 g + NGR	20.2 \pm 1.0ab	21.0 \pm 0.6ab	138.2 \pm 7.4a	7.2 \pm 0.3bc	1189.6 \pm 73.8a	125.4 \pm 22.2cd	68.7 \pm 8.7ab
OS 10 g + BI	21.0 \pm 1.5ab	21.7 \pm 0.9a	125.2 \pm 15.2a	6.6 \pm 0.3c	1046.3 \pm 112.1ab	141.1 \pm 17.8cd	93.1 \pm 15.9a
OS 10 g + AG	20.2 \pm 1.9ab	19.2 \pm 0.8abc	112.0 \pm 14.8a	8.3 \pm 0.3ab	821.0 \pm 80.4abc	248.0 \pm 24.1ab	65.1 \pm 12.1ab

Continuación Tabla 4.

Tratamiento	RD	RV	TSS
	g cm ⁻³	cm ³	°Brix
NSRF + NGR (control)	1.3 \pm 0.07abc	28.8 \pm 4.3b	12.4 \pm 1.2c
NSRF + BI	1.1 \pm 0.06bc	56.2 \pm 11.5ab	15.8 \pm 1.1bc
NSRF + AG	1.1 \pm 0.06bc	42.4 \pm 7.7ab	17.0 \pm 0.9abc
OS 5 g + NGR	1.5 \pm 1.2abc	34.2 \pm 5.9ab	17.0 \pm 2.0abc
OS 5 g + BI	1.1 \pm 0.09bc	68.3 \pm 10.5a	21.8 \pm 1.2a
OS 5 g + AG	1.0 \pm 0.02c	68.0 \pm 8.2a	16.8 \pm 0.8abc
OS 10 g + NGR	1.4 \pm 0.08abc	46.2 \pm 5.6ab	20.4 \pm 0.5ab
OS 10 g + BI	1.6 \pm 0.1ab	64.2 \pm 16.2ab	21.7 \pm 1.6a
OS 10 g + AG	1.9 \pm 0.2a	32.7 \pm 3.5ab	14.2 \pm 0.8c

NSRF, sin fertilizante de liberación lenta; NGR, sin regulador de crecimiento; OS 0 g, OS 5 g, OS 10 g, gramos de Osmocote plus® aplicado por planta; BI, Biozyme TF®; AG, Agromil plus®; Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey \leq 0.05).

Tabla 5. Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables número de hojas desplegadas (ULN), altura de planta (PH), longitud radicular (RL), diámetro de tallo (SD), peso fresco de hojas (FWL), peso fresco de tallo (FWS), peso fresco de raíz (FWR), densidad radicular (RD), volumen radicular (RV) y sólidos solubles totales en el tallo (TSS) como respuesta a la interacción de diferentes dosis de fertilizante de liberación lenta y reguladores de crecimiento en plantas de *Agave potatorum* Zucc en condiciones de vivero.

S.V.	D.F.	ULN	PH	RL	SD	FWL	FWS	FWR	RD	RV	TSS
SRF	2	42.66	185.25*	575.34	9.22*	856450.94*	29267.86*	2788.40*	1.30*	987.31	86.92*
GR	2	85.87*	24.69*	944.15	12.41*	163142.95	60849.22*	3806.81*	0.13	3647.14*	80.58*
SRF × GR	4	25.63*	18.90*	2011.75	6.89*	343756.97*	16018.41*	227.45*	0.46*	1017.47*	59.75*
Error	53	15.19	5.74	1497.80	0.81	66496.07	2956.76	844.58	0.13	558.84	10.80
C.V. (%)		20.53	13.39	29.54	12.84	29.61	33.79	45.00	25.98	48.5	18.86

S.V., fuentes de variación; SRF, fertilizante de liberación lenta; GR, regulador de crecimiento; C.V., coeficiente de variación; D.F., grados de libertad; *, Significativo ($p \leq 0.05$).

Aun cuando los estudios donde se ha evaluado el SRF OS plus en plantas de agave son escasos, se ha demostrado su efecto positivo en otras especies vegetales. Por ejemplo, Escamilla-Hernández *et al.* (2015) evaluaron el efecto de tres sustratos (vermiculita, agrolita y “peat moss”) mezclados con los SRFs Basacote® (16 N-8 P-12 K) (periodo de liberación de 9 meses), Osmocote® (15 N-9 P-12 K) (periodo de liberación de 12 meses) y Multicote® (18 N-6 P-12 K) (periodo de liberación de 8 meses), en tres dosis cada uno: 10 (baja), 20 (media) y 30 kg m⁻³ (alta), más un control sin fertilización, sobre el crecimiento de plantas de teca (*Tectona grandis* L. f.) cultivadas en tubetes de polietileno expandido. Estos autores encontraron que las plantas fertilizadas con OS en las dosis media y alta presentaron el mayor incremento en todas las variables de crecimiento evaluadas (SD, altura del cuello, biomasa aérea y biomasa radicular). En la actualidad existen escasos trabajos donde se evalúe el efecto de la aplicación simultánea de SRF y GR o el efecto individual de GR en el crecimiento de agaves en condiciones de vivero. La mayoría de los estudios donde se realizan evaluaciones del efecto de GR en agaváceas son ensayos de propagación *in vitro* (Barreto *et al.*, 2010; Cancino-García *et al.*, 2020; Reyes-Zambrano *et al.*, 2016). Sánchez-Mendoza & Bautista-Cruz (2022) evaluaron el efecto combinado de la aplicación de OS plus® y Basacote plus® con los GR comerciales Biozyme TF® y Agromil plus® en plantas de *A. angustifolia* Haw. y encontraron una respuesta positiva en las variables PH y FWL con la combinación de OS plus + Biozyme TF. Estos resultados concuerdan con lo obtenido en este estudio donde la combinación de OS plus + Biozyme TF incrementó la PH, ULN, SD, FWL, FWS, FWR, RV y TSS en las plantas de *A. potatorum* Zucc. Garnica-García *et al.* (2020) evaluaron el crecimiento de hijuelos apomícticos de *A. angustifolia* Haw. cultivados en

diferentes mezclas de sustratos elaborados con arena, suelo y estiércol bovino, también evaluaron diferentes tipos de irrigación: a) agua corriente, b) solución nutritiva Steiner al 50 % y c) solución nutritiva Steiner al 50 % + 25 mg L⁻¹ de benzilaminopurina (citocinina comercial). Después de 14 meses de evaluación encontraron que las plantas irrigadas con solución nutritiva Steiner al 50 % y solución nutritiva Steiner al 50 % + 25 mg L⁻¹ de benzilaminopurina incrementaron la longitud de hoja, ULN y SD. Estos resultados coinciden con lo obtenido en este estudio donde la combinación de OS + BI y OS + AG aumentó la PH y SD, OS 5 g + AG favoreció el ULN en plantas de *A. potatorum* Zucc.

Los resultados obtenidos muestran que independientemente de las adaptaciones que presentan los agaves para crecer en suelos pobres en nutrientes y materia orgánica, pueden responder positivamente a la aplicación de SRF y GR. De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000) los resultados del análisis de suelo indican muy alto contenido de N, Fe, Mn y Cu, contenido moderadamente alto de Ca y Zn, contenido medio de Mg, bajos contenidos de P y K y una cantidad moderadamente alta de materia orgánica (Tabla 2). Posiblemente la adición de OS incrementó el contenido de P y K y de algunos micronutrientes como S, B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn en el suelo, generando con ello un mejor balance nutricional que favoreció la capacidad de sintetizar compuestos estructurales y metabólicos (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, fosfolípidos, ATP entre otros), lo que se tradujo en un mayor crecimiento en las plantas de agave (Enríquez del Valle *et al.*, 2013). Nobel *et al.* (1989) mencionó que una adecuada nutrición en las plantas de agave mejora la condición fisiológica incrementando la eficiencia de fijación de CO₂, acumulación de biomasa y productividad. Aun cuando los SRF contienen una amplia variedad de nutrientes en su composición química, las mayores concentraciones corresponden a los macronutrientes primarios como N, P y K, los cuales son mayormente demandados por la planta. En estudios previos realizados en especies del género *Agave* se ha encontrado que la adición de estos nutrientes favorece su crecimiento y contenido de TSS (García-Martínez *et al.*, 2020; Martínez-Ramírez *et al.*, 2013; Martínez-Ramírez *et al.*, 2012; Díaz *et al.*, 2011). De hecho, Zhong *et al.* (2017) mencionaron que plantas que tienen buena disponibilidad de N tienen una gran capacidad de sintetizar aminoácidos, proteínas, clorofila y ácidos nucleicos, además la capacidad fotosintética de las hojas está relacionada con el contenido de N, principalmente porque las proteínas del ciclo de Calvin y tilacoides representan la mayoría del N foliar (Latsague *et al.*, 2014). Además de un adecuado suministro de N, es esencial garantizar un buen suministro de P a la planta ya que si este nutriente se encuentra en cantidades deficientes se limita el crecimiento y la productividad de los cultivos debido a que el P en su forma inorgánica (Pi) está involucrado en el control de muchas reacciones enzimáticas, que regulan procesos metabólicos (Salinas *et al.*, 2013; Salinas *et al.*, 2012) tales como la fotosíntesis (Salinas *et al.*, 2012). El P también es constituyente de proteínas, componente estructural de fosfoproteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos, participa en la descomposición de los azúcares y la transferencia de energía y nutrientes (Lynch y Brown, 2008). La deficiencia de P se manifiesta en la reducción del número de hojas y la pérdida de la eficiencia fotosintética (Salinas *et al.*, 2012). El K es el tercer macronutriente esencial necesario en el crecimiento de las plantas, por lo cual su limitación afecta considerablemente la producción de los cultivos (Parmar & Sindhu, 2013; Gouda *et al.*, 2018). En las plantas, el K desempeña una función muy importante en procesos como la fotosíntesis, en la cual regula la apertura y el cierre estomático y por tanto la absorción de CO₂, además está

involucrado en la activación de enzimas, síntesis de proteínas, mantenimiento de la turgencia de las células, reducción de la respiración, transporte de azúcares y absorción de N, siendo de esta manera vital para un mejor desarrollo vegetal (Ahmad & Zargar, 2017).

Además de los SRFs, los GR también promovieron el crecimiento de *A. potatorum* Zucc, este efecto positivo en el crecimiento de las plantas de agave posiblemente se atribuye a la capacidad que tienen las auxinas para promover procesos de división, elongación y diferenciación celular (Garay-Arroyo *et al.*, 2014). George *et al.* (2008) considera a las auxinas como un tipo de morfógeno (molécula de naturaleza orgánica que es producida y secretada por un grupo de células y que puede difundir y actuar favoreciendo el desarrollo de células, tejidos y órganos) capaz de inducir la diferenciación celular de órganos como raíces, tallos y hojas, y así mismo, dar origen a ellos. Al igual que las auxinas, las giberelinas posiblemente estuvieron involucradas en el crecimiento y desarrollo de las plantas de *A. potatorum* Zucc debido a que tienen la capacidad de estimular la elongación de raíces y la formación de hojas jóvenes, además, también desempeñan una función importante en el alargamiento de los segmentos nodales ya que permiten estimular la elongación celular (Gupta *et al.*, 2013). Finalmente, las citocininas tienen la capacidad de estimular e inducir una alta proliferación y división celular, las citocininas suelen acompañarse de la presencia de auxinas debido a su alta complementariedad, en conjunto tienen la capacidad de estimular un incremento en la producción de raíces e inducir una mayor producción de brotes vegetales, en un sustrato adecuado podrían mejorar y acelerar el crecimiento vegetal (Salazar-Cerezo *et al.*, 2018; Ferraro, 2014).

Conclusiones

Las plantas de *Agave potatorum* Zucc respondieron positivamente a la adición individual y combinada de SRF y GR en condiciones de vivero. Con la aplicación de 5 g de Osmocote Plus® aumentó el SD, FWS y TSS. Con 10 g de Osmocote Plus® incrementó la PH, FWL, FWR, RD y TSS. La aplicación de Biozyme favoreció la PH, SD, FWS, FWR, RV y TSS. Con Agromil plus incrementó el ULN, SD y FWS. La aplicación de Osmocote Plus® 5 g + Biozyme promovió una mayor PH, SD, FWL, FWS, RV y TSS. Con Osmocote Plus® 5 g + Agromil plus® se incrementó el ULN y RV. Osmocote Plus® 10 g + Biozyme aumentó la PH, FWR y TSS. Finalmente, Osmocote Plus® 10 g + Agromil plus® incrementó la RD.

Se debe considerar la evaluación de más dosis de SRF (dosis menores a 5 g e intermedias entre 5 y 10 g) para tener una mayor certeza de la dosis adecuada para plantas de *A. potatorum* Zucc en condiciones de vivero. Es importante también evaluar la aplicación de GR directamente a la rizosfera considerando que la raíz es un órgano con mayor especialización en procesos de absorción. Finalmente, se sugiere seguir evaluando la aplicación de SRF y GR en etapas más avanzadas del crecimiento de *A. potatorum* Zucc bajo condiciones de campo abierto.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, adquisición de fondos, desarrollo de la metodología, análisis de resultados, escritura y preparación del manuscrito, S.S.M. Desarrollo de la metodología, análisis de resultados, escritura y preparación del manuscrito, A.B.C.

Financiamiento

El financiamiento para la compra de los insumos utilizados en el presente estudio fue proporcionado por NovaUniversitas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Sr. Isaac Arellanes de la comunidad de Santa Catarina Minas, Ocotlán de Morelos, Oaxaca (México), por el apoyo en la consecución de semilla de *Agave potatorum* Zucc. Gracias también Shirley, Leonardo, Aldrich, Pedro, Reyna y Félix por el apoyo en el análisis destructivo de las plantas.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Aguilera, R. M., Aldrete, A., Martínez, T., & Ordáz, V. M. C. (2016). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 7-19. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i34.79>
- Aguirre-Dugua, X., & Eguiarte, L.E. (2013). Genetic diversity, conservation and sustainable use of wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* extracted for mezcal production in Mexico. *Journal of Arid Environments*, 90, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.10.018>
- Ahmad, M. S., & Zargar, M. Y. (2017). Characterization of potassium solubilizing bacteria (KSB) in rhizospheric soils of apple (*Malus domestica* Borkh.) in temperate Kashmir. *Journal of Applied Life Sciences International*, 15(1), 1-7. <https://doi.org/10.9734/JALSI/2017/36848>
- Alcántara-Cortes, J. S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortes, J. D., & Sánchez-Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, 12(32), 109-129. <https://doi.org/10.25058/24629448.3639>
- Arrizon, J., Morel, S., Gschaedler, A., & Monsan, P. (2010). Comparison of the water-soluble carbohydrate composition and fructan structures of *Agave tequilana* plants of different ages. *Food Chemistry*, 122(1), 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.028>

- Barreto, R., Nieto-Sotelo, J., & Cassab, G. I. (2010). Influence of plant growth regulators and water stress on ramet induction, rosette engrossment, and fructan accumulation in *Agave tequilana* Weber var. Azul. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 103, 93–101. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9758-9>
- Bartlett, M.S. (1937). Properties of sufficiency and statistical test. *Proceedings of the Royal Society A*, 160, 268-282. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>
- Bautista-Justo, M., García-Oropeza L., Salcedo-Hernández R., & Parra-Negrete, L. (2001). Azúcares en agaves (*Agave tequilana* Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11(1), 33-38. <https://doi.org/10.15174/au.2001.325>
- 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. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200150>
- Cancino-García, V. H., Ramírez-Prado, J. H., & De la Peña, C. (2020). Auxin perception in agave is dependent on the species' auxin response factors. *Scientific Reports*, 10, 3860. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60865-y>
- Castillejos-Reyes, C., Bautista-Cruz, A., Sánchez-Mendoza, S., & Quiñones-Aguilar, E. E. (2023). Respuesta de agave coyote (*Agave* spp.) a la aplicación de fertilizantes de liberación lenta en condiciones de campo. *Revista Biociencias*, 10, e1431. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1431>
- Cedeño, M. C. (1995). Tequila production. *Critical Reviews in Biotechnology*, 15(1), 1-11. <https://doi.org/10.3109/07388559509150529>
- Colunga-GarcíaMarín, P., Torres-García, I., Casas, A., Figueredo-Urbina, C.J., Rangel-Landa, S., Delgado-Lemus, A., Vargas, O., Cabrera-Toledo, D., Zizumbo-Villarreal, D., Aguirre-Dugua, X., Eguiarte, L.E., & Carrillo-Galván, G. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. In Casas, A., Torres-Guevara, J., & Parra-Rondinel, F. Domesticación en el continente americano: investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo. Vol. 2. (pp. 273- 308). Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.researchgate.net/publication/316883938_Los_agaves_y_las_practicas_mesoamericanas_de_aprovechamiento_manejo_y_domesticacion_1
- Cruz García, H., Enríquez-del Valle, J. R., Velasco-Velasco, V. A., Ruiz Luna, J., Campos-Ángeles, G. V., & Aquino García, D. E. (2013). Nutrientes y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave karwinskii* Zucc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(14), 1161-1173.
- Delgado-Lemus, A., Torres, I., Blancas, J., & Casas, A. (2014). Vulnerability and risk management of *Agave* species in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10(1), 53. <http://doi.org/10.1186/1746-4269-10-53>
- Díaz, J. G., Rojas, G., Him de F, Y., Hernandez de B, N., Torrealba, E., & Rodríguez, Z. (2011). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento en vivero de Cocuy (*Agave cocui* Trelease). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 28(1), 264–272. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/2700>
- Enríquez del Valle, J. R., Estrada-Silias, A., Rodríguez Ortiz, G., Velasco-Velasco, V. A., & Campos-Ángeles, G. V. (2013). Sustrato y dosis de fertirriego en la aclimatización de vitroplantas de

- Agave americana* var. *oaxacensis*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Universidad Nacional de Cuyo, 45(2), 341–348.
- Enríquez del Valle, J. R., Alcaraz-Vázquez, S. E., Rodríguez-Ortiz, G., Miguel-Luna, M. E., & Manuel-Vázquez, C. (2016). Fertirriego en vivero a plantas de *Agave potatorum* Zucc micropropagadas-aclimatizadas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1167-1177.
- Enríquez del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Ruiz-Luna, J., Pacheco-Ramírez, A. J., & Vásquez-Vásquez, L. (2018). Crecimiento y condición nutrimental de plantas micropropagadas de *Agave angustifolia* abonadas y fertirrigadas en vivero. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(2), 106-115.
- Escamilla-Hernández, N., Obrador-Olán, J. J., Carrillo-Ávila, E., & Palma-López, D. J. (2015). Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 329-333.
- Ferraro, M. G. (2014). Revisión del *Aloe vera* (Barbadensis Miller) en la dermatología actual. *Revista Argentina de Dermatología*, 90(4), 218–23.
- Garay-Arroyo, A., de la Paz-Sánchez, M., García-Ponce, B., Álvarez-Buylla, E.R., & Gutiérrez, C. (2014). La Homeostasis de las Auxinas y su Importancia en el Desarrollo de *Arabidopsis thaliana*. *REB Revista de Educación bioquímica*, 33(1),13–22.
- García-Martínez, L. I., Sánchez-Mendoza, S., & Bautista-Cruz, A. (2020). Combinación de hongos micorrízicos y fertilización fosforada en el crecimiento de dos agaves silvestres. *Terra Latinoamericana*, 38, 771-780. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.702>
- García-Mendoza, A. J. (2010). Revisión taxonómica del complejo *Agave potatorum* Zucc. (Agavaceae): Nuevos taxa y neotipificación. *Acta Botánica Mexicana*, 91, 71–93. <https://doi.org/10.21829/abm91.2010.292>
- García-Mendoza, A. J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, 87, 14-23.
- 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>
- George, E. F., Hall, M. A., & Klerk, G. J. (2008). Plant Growth Regulators I: Introduction; Auxins, their Analogues and Inhibitors. In: *Plant Propagation by Tissue Culture* 3rd Edition. 2008. p. 1–501. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3_5
- Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, 206, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
- Gupta, R., & Chakrabarty, S. K. (2013). Gibberellic acid in plant: Still a mystery unresolved. *Plant Signal Behavior*, 8(9), e25504. <https://doi.org/10.4161/psb.25504>
- Kiplangat, R., Karuku, G. N., Mbui, D., Njomo, N., & Michira, I. (2019). Evaluating the effects of formulated nano-NPK slow release fertilizer composite on the performance and yield of maize, kale and capsicum. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(1), 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2019.05.010>
- Latsague, M., Sáez, P., & Mora, M. (2014). Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hookf. *Gayana Botánica*, 71(1), 37-42. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432014000100007>

- Lynch, J. P., & K. M. Brown. (2008). Root strategies for the acquisition of phosphorus. pp. 83-116. In: P. J. White and J. P. Hammond (eds.). The ecophysiology of plant-phosphorus interactions. *Plant Ecophysiology*, vol 7. Springer, Dordrecht, The Netherlands. Online ISBN: 978-1-4020-8435-5. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8435-5_5
- Martínez-Ramírez, S., Trinidad-Santos, A., Bautista-Sánchez, G., & Pedro-Santos, E.C. (2012). Crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. inducidos por riego y fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 61-68.
- Martínez-Ramírez, S., Trinidad-Santos, A., Bautista-Sánchez, G., & Pedro-Santos, E. C. (2013). Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 387-393. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.4.387>
- Montañez-Soto, J., Venegas-González, J., Vivar-Vera, M., & Ramos-Ramírez, E. (2011). Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del *Agave tequilana* Weber azul. *Bioagro* 23(3), 199-206. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612011000300007&lng=es&tling=es
- Moraguez-Iglesias, A., Espinosa-Torres, M.P., & Morales-Peralta, L. (2017). La prueba de hipótesis Kolmogorov-Smirnov para dos muestras grandes con una cola. *Luz*, 16(3), 80-92. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=589166504009>
- Nobel, P. S., Quero, E., & Linares, H. (1989). Root versus shoot biomass: Responses to water, nitrogen, and phosphorus applications for *Agave lechuguilla*. *Botanical Gazette*, 150(4), 411-6. <https://doi.org/10.1086/337787>
- Parmar, P., & Sindhu, S. S. (2013). Potassium solubilisation by Rhizosphere Bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. *Journal of Microbiology Research*, 3(1), 25-31. <https://doi.org/10.5923/j.microbiology.20130301.04>
- Reyes-Zambrano, S. J., Lecona-Guzmán, C. A., Barredo-Pool, F. A., Ambrosio-Calderón, J. D., Abud-Archila, M., & Rincón-Rosales, R. (2016). Optimización de los reguladores de crecimiento para maximizar el número de brotes en *Agave americana* L. por organogénesis indirecta. *Gayana Botánica*, 73(1), 120-129. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432016000100014>
- Salazar-Cerezo, S., Martínez-Montiel, N., García-Sánchez, J., Pérez-y-Terrón, R., & Martínez-Contreras, R.D. (2018) Gibberellin biosynthesis and metabolism: A convergent route for plants, fungi and bacteria. *Microbiological Research*, 208, 85-98. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.01.010>
- Salinas, R., Sánchez, E., Ruíz, J. M., Lao, M. T., & Romero, L. (2012). Producción de biomasa y rendimiento en judía verde (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Strike en respuesta a la fertilización fosforada. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*, 81, 35-39.
- Salinas, R., Sánchez, E., Ruíz, J. M., Lao, M. T., & Romero, L. (2013). Phosphorus levels influence plasma membrane H⁺-ATPase activity and K⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺ assimilation in green bean. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44, 456-464. <https://doi.org/10.1080/0103624.2013.744127>
- Sánchez-Mendoza, S., Bautista-Cruz, A., Robles, C., & Rodríguez-Mendoza, M. N. (2020). Irrigation and slow-release fertilizers promote the nutrition and growth of *Agave angustifolia* Haw. *Journal of Plant Nutrition*, 43(5), 699-708. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1701025>
- Sánchez-Mendoza, S., & Bautista-Cruz, A. (2022). Efecto de fertilizantes de liberación lenta

- y fitohormonas en el crecimiento de *Agave angustifolia* Haw. *Entreciencias*, 10(24), 1-11. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.82738>
- SAS Institute. (2004). SAS 9.1 SQL Procedure User's Guide. Cary, NC, USA.
- Téllez, M. P. (1998). El cocimiento, una etapa importante en la producción del tequila. *Bebidas Mexicanas*, 7(1), 19-20.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2000). NOM-021-RECNAT-2000 (NORMA Oficial Mexicana. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. México, D. F.
- Torres, I., Casas, A., Delgado-Lemus, A., & Rangel-Landa, S. (2016). Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México: Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable. *Zonas Áridas*, 15(1), 92–109. <https://doi.org/10.21704/ZA.V15I1.110>
- Verduzco-Martínez, J., Pedro-Rojas, C., & Mercado-Hernández, R. (2009). Caracterización e identificación taxonómica del maguey. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 2, 75-76.
- Zhong, H., Kim, Y. N., Smith, C., Robinson, B., & Dickinson, N. (2017). Seabird guano and phosphorus fractionation in a rhizosphere with earthworms. *Applied Soil Ecology*, 120, 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.006>
- Zúñiga-Estrada, L., Rosales, E.R., Yáñez-Morales, M.J., & Jacques-Hernández, C. (2018). Características de una planta MAC, *Agave tequilana* desarrollada con fertigación en Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 553-564. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1214>